

# NASCITA E SVILUPPO DELL'INGEGNERIA ALL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA


*a cura di*

**Ezio Mesini**

**Domenico Mirri**

**Paolo Macini**

Bononia University Press

The cover image is a photograph of a building. On the left, there is a tall brick wall with three small, dark, rectangular windows. On the right, there is a modern architectural structure with a light-colored, possibly stone or concrete, facade. This structure features a series of vertical, rectangular columns that create a series of deep, dark shadows, giving it a rhythmic, geometric appearance. The sky is a clear, bright blue.





# **NASCITA E SVILUPPO DELL'INGEGNERIA ALL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

a cura di

Ezio Mesini  
Domenico Mirri  
Paolo Macini

Bononia University Press

Volume realizzato con il contributo dell'Università di Bologna – Biblioteca di Ingegneria  
“Gian Paolo Dore”.



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Bononia University Press  
Via Ugo Foscolo 7, 40123 Bologna  
tel. (+39) 051 232 882  
fax (+39) 051 221 019

[www.buonline.com](http://www.buonline.com)  
email: [info@buonline.com](mailto:info@buonline.com)

© 2019 Bononia University Press

ISBN: 978-88-6923-449-1

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento totale o parziale, con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.  
L'Editore resta a disposizione per qualsiasi eventuale ulteriore obbligo in relazione alle immagini riprodotte.

In copertina: Prospetto principale della Scuola di Ingegneria di Bologna, viale del Risorgimento (particolare).

In quarta di copertina (dall'alto in basso): a) Ingresso principale della Scuola di Ingegneria a Bologna, via Terracini; b) Sede della Scuola di Ingegneria di Forlì, via Fontanelle; c) Visione aerea del nuovo complesso di Ingegneria e Architettura della sede di Cesena, via dell'Università; d) Sede del complesso di Ingegneria e Architettura di Ravenna, via Tombesi dall'Ova.

Progetto grafico e impaginazione: Doppioclickart - S. Lazzaro di S. (Bo)

Prima edizione: settembre 2019

# SOMMARIO

PRESENTAZIONE	15
<i>Francesco Ubertini – Magnifico Rettore Università di Bologna</i>	
INTRODUZIONE	17
<i>Ezio Mesini, Domenico Mirri, Paolo Macini</i>	
1. CRONOLOGIA DELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA	31
2. GLI INSEGNAMENTI	41
2.1. Elettrotecnica e Comunicazioni elettriche nell'Università di Bologna: dal 1800 al 1950	43
<i>Dino Zanobetti</i>	
2.1.1. La nascita dell'Elettrotecnica	43
2.1.2. I precedenti	44
2.1.3. L'abilitazione degli ingegneri a Bologna all'inizio dell'Ottocento	45
2.1.4. L'inizio dell'insegnamento dell'Elettricità tecnica	48
2.1.5. L'abilitazione degli ingegneri a Bologna segue i tempi	50
2.1.6. La nascita delle Comunicazioni elettriche e la crescente importanza dell'Elettrotecnica	57
2.1.7. La crescente importanza delle Comunicazioni elettriche	60
2.1.8. Gli anni fino al 1950	62
2.2. L'insegnamento della Meccanica applicata alle macchine nell'Università di Bologna	65
<i>Umberto Meneghetti</i>	
2.2.1. Introduzione	65
2.2.2. La Meccanica applicata alle macchine prima della Meccanica applicata alle macchine	69
2.2.3. La Meccanica applicata alle macchine nella Scuola d'Applicazione per Ingegneri	76
2.2.4. La Meccanica applicata alle macchine nella Facoltà di Ingegneria	81
2.2.5. Conclusioni	91

2.3. Discipline storiche e formazione degli architetti e ingegneri all'Università di Bologna tra Otto e Novecento	95
<i>Francesco Ceccarelli</i>	
2.3.1. Premessa storica	95
2.3.2. Storia e stili architettonici negli anni post-unitari	100
2.3.3. L'insegnamento della Storia dell'Architettura nel secondo dopoguerra	111
2.3.4. Prospettive recenti	114
2.4. Cenni storici sul Disegno Tecnico	116
<i>Luca Piancastelli</i>	
2.4.1. Premessa	116
2.4.2. Il Disegno nell'antichità	118
2.4.3. Da Leonardo al XVIII secolo	119
2.4.4. Monge, Napoleone a Bologna, l'era moderna e il Corso di Disegno di Macchine 1810 (ora Disegno Tecnico Industriale)	120
2.4.5. L'era digitale e il Corso di Disegno Assistito dal Calcolatore	121
2.5. La Fisica Tecnica e il suo Gabinetto nell'Ateneo bolognese: le origini, la struttura, le ricerche, gli uomini	125
<i>Alessandro Cocchi</i>	
2.5.1. Premessa	125
2.5.2. Le probabili origini dei contenuti della disciplina	125
2.5.3. I primi passi della didattica della disciplina	133
2.5.4. Conclusioni	143
2.6. Il corso di Strade nell'Università di Bologna	145
<i>Alberto Bucchi, Francesco Mazzotta</i>	
2.6.1. Cenni storici	145
2.6.2. I docenti	146
2.6.3. Il laboratorio	158
2.6.4. La tecnica stradale attuale e le ricerche	159
2.7. L'insegnamento dell'Elettrotecnica nella Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri e nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna dalle origini al 2000	163
<i>Ugo Reggiani</i>	
2.7.1. La nascita dell'insegnamento di Elettrotecnica	163
2.7.2. I docenti	165
2.7.3. Conclusioni	190
2.8. L'insegnamento dell'Analisi Matematica nella Facoltà di Ingegneria di Bologna	192
<i>Enrico Obrecht</i>	
2.8.1. Dal 1935 al 1960	192
2.8.2. Dal 1960 al 2001	197

2.8.3. Dal 2001 al 2007	205
2.8.4. Dal 2007 al 2015	208
2.8.5. Dal 2015 al 2018	210
2.8.6. Conclusioni	212
2.9. La Meccanica Razionale e la Matematica Applicata nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna	213
<i>Tommaso Ruggeri</i>	
2.9.1. Breve storia dell'insegnamento della Meccanica Razionale nella Facoltà di Ingegneria	213
2.9.2. La nascita dell'Istituto di Matematica Applicata	214
2.9.3. Il Centro Interdipartimentale per le Applicazioni della Matematica - CIRAM	217
2.9.4. Chiusura del CIRAM e creazione del Centro di Matematica Applicata Alma Mater AM <sup>2</sup>	220
2.10. Alcuni cenni sul fruttuoso incrocio tra matematici e ingegneri nella costruzione dell'Ingegneria moderna	222
<i>Guido Masetti</i>	
2.10.1. Introduzione	222
2.10.2. Il modello di ingegneria di Monge in Francia	222
2.10.3. Maria Teresa d'Austria e il caso della Ingegneria di Pavia	227
2.10.4. Il Regno d'Italia e la legge Casati	229
2.10.5. Il caso dell'Ingegneria di Bologna e dei suoi primi tribolati anni	231
2.10.6. Cenni sulla Riforma Gentile (e il Ventennio)	236
2.10.7. Il ritorno alla normalità nell'Ingegneria di Bologna	239
2.11. Evoluzione dell'insegnamento della Scienza delle Costruzioni a Bologna	245
<i>Angelo Di Tommaso</i>	
2.11.1. Scenari dell'Ingegneria civile strutturale alla fine del 1800	245
2.11.2. Albori della Scienza delle Costruzioni a Bologna	247
2.12. Le discipline idrauliche nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna	259
<i>Giambattista Scarpi</i>	
2.12.1. Premessa	259
2.12.2. I tre pilastri	262
2.12.3. Qualche <i>flash</i> sul "dopo"	270
2.13. La Costruzione di Macchine nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna	273
<i>Pier Gabriele Molari</i>	
2.13.1. Le date e i protagonisti	273
2.13.2. La materia Costruzione di Macchine	273
2.13.3. Divisione C.M.-Disegno, inclusione C.M.-Scienza dei metalli	284



2.13.4. Considerazioni personali	285
2.13.5. Futuri indirizzi	285
2.13.6. Conclusioni	287
2.14. Storia e cronaca della Meccanica calda	289
<i>Piero Pelloni</i>	
2.14.1. Premessa	289
2.14.2. Gli anni della memoria	289
2.14.3. Gli anni Sessanta e Settanta	290
2.14.4. Gli anni dell'espansione	293
2.14.5. Gli anni Duemila	294
2.14.6. I docenti	295
2.15. La disciplina Trasporti nella Scuola-Facoltà di Ingegneria di Bologna	302
<i>Federico Rupi, Giannino Praitoni</i>	
2.15.1. Introduzione	302
2.15.2. Le origini	304
2.15.3. La formazione di una disciplina autonoma	305
2.15.4. L'approccio analitico-sistemico	310
2.16. La didattica dell'Elettromagnetismo applicato	314
<i>Gabriele Falciasecca, Carlo Giacomo Sameda</i>	
2.16.1. I primi passi	314
2.16.2. Il Centro Onde Millimetriche	316
2.16.3. Le ricerche sui radioaiuti al controllo del traffico aereo	318
2.16.4. Ottica e telecomunicazioni ottiche	319
2.16.5. I sistemi radiomobili	324
2.17. Il contributo del Laboratorio di Comunicazioni Wireless alla Facoltà di Ingegneria: il ruolo della sperimentazione nelle telecomunicazioni	326
<i>Oreste Andrisano</i>	
2.17.1. La Facoltà di Ingegneria e i dimostratori del WiLab	327
2.17.2. Le comunicazioni wireless: spinta per l'economia del Paese	329
2.17.3. Le Telecomunicazioni presso la Facoltà di Ingegneria. Alcuni passi significativi nella sperimentazione	330
2.17.4. Sistemi immersivi e <i>smart mobility</i>	339
2.17.5. Le reti eterogenee per le <i>smart cities</i>	341
2.17.6. Il <i>testbed</i> permanente nell'area di Ingegneria - <i>smart lighting</i> e 5G per nuovi servizi	346
2.17.7. Conclusioni	348
2.18. Esordio e sviluppo delle discipline e dei servizi informatici nella Facoltà di Ingegneria	352
<i>Maurelio Boari</i>	

2.18.1. Introduzione	352
2.18.2. Facoltà di Ingegneria: i primi passi	353
2.18.3. L'anno zero dell'informatica italiana	356
2.18.4. Il primo calcolatore elettronico digitale presso la Facoltà	359
2.18.5. Lo sviluppo negli anni Sessanta e Settanta	360
2.18.6. Sviluppo della didattica nell'area informatica	362
2.18.7. La unificazione degli informatici a livello di Ateneo	365
2.19. Per una storia dell'insegnamento della Fisica nell'Università di Bologna. Gli insegnamenti nel biennio di Ingegneria	368
<i>Giorgio Dragoni, Paolo Cinti</i>	
2.19.1. Introduzione	368
2.19.2. Il Settecento: dalla filosofia naturale alla fisica sperimentale	374
2.19.3. L'Ottocento. Dal trionfo della Fisica classica alla sua crisi ai primi del Novecento	386
2.19.4. Il Novecento. I primi cinquanta anni, tra due Guerre mondiali	395
2.19.5. Considerazioni conclusive	408
2.20. Ricerca e didattica dei titolari d'insegnamenti di Fisica alla Facoltà d'Ingegneria dalla fine degli anni Cinquanta a oggi	413
<i>Antonio Bertin, Gianni Vannini</i>	
2.20.1. Premessa	413
2.20.2. Gli insegnamenti	414
2.20.3. La presenza nelle istituzioni	417
2.20.4. La ricerca	417
2.20.5. Considerazioni conclusive	436
2.21. Il ruolo dell'Analisi Sperimentale delle Tensioni nella formazione dell'ingegnere. Storia di una esperienza didattica e umana	441
<i>Alessandro Freddi</i>	
2.21.1. Introduzione	441
2.21.2. Il fondamento teorico dell'Analisi Sperimentale delle Tensioni	442
2.21.3. Misura delle deformazioni e Analisi delle Tensioni nei modelli fisici	443
2.21.4. L'Analisi Sperimentale delle Tensioni nello studio del comportamento dei materiali	448
2.21.5. La sperimentazione nelle reali condizioni di servizio	453
2.21.6. La costruzione di attrezzature sperimentali	456
2.22. La nascita del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale nelle sedi universitarie di Bologna e di Reggio Emilia	462
<i>Arrigo Pareschi</i>	
2.22.1. Introduzione	462
2.22.2. Cenni storici sull'attivazione del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale a Bologna e Reggio Emilia	464

2.22.3. Il profilo dell'ingegnere gestionale	467
2.22.4. Piano degli studi del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale alla prima attivazione - A.A. 1993/94	469
2.22.5. Risorse di spazi, strutture e docenza per l'attivazione del nuovo Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale - Reggio Emilia - A.A. 1993/94	476
2.22.6. Sviluppi e attualità sul Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale nelle sedi di Bologna e Reggio Emilia	477
2.23. Il corso di Teoria dei Sistemi a Bologna	482
<i>Roberto Guidorzi</i>	
2.23.1. I modelli nella scienza e nella tecnologia	482
2.23.2. I modelli astratti e la nascita della Teoria dei Sistemi	485
2.23.3. Il corso di Teoria dei Sistemi alla Facoltà di Ingegneria di Bologna	487
2.23.4. Gli strumenti offerti dalla Teoria dei Sistemi: l'identificazione dei modelli	488
2.23.5. Alcune note conclusive	490
2.24. La disciplina dell'Architettura Tecnica nella Scuola di Ingegneria di Bologna	494
2.24.1. Premessa	494
<i>Riccardo Gulli</i>	
2.24.2. Architettura-Tecnica: la ricerca di una sintesi	498
2.24.2a. Gli esordi: dalla fondazione della Scuola di Applicazione per Ingegneri alla Seconda guerra mondiale. Tradizione compositiva e nuove tecniche costruttive	499
<i>Maria Beatrice Bettazzi</i>	
2.24.2b. La ricostruzione postbellica e il boom economico (1945-65)	504
<i>Luca Guardigli</i>	
2.24.2c. Dalla fine degli anni Sessanta agli anni Novanta: industrializzazione edilizia, metodi sistematici di progettazione, cambiamenti dei paradigmi civili, economici e industriali	507
<i>Andrea Guidotti</i>	
2.24.2d. Architettura, tecnica costruttiva e processo tipologico	514
<i>Adolfo Cesare Dell'Acqua</i>	
2.24.2e. Gli ambiti del recupero edilizio e della storia della costruzione	517
<i>Giovanni Mochi</i>	
2.24.2f. L'assetto disciplinare e gli orientamenti culturali del restauro architettonico	519
<i>Claudio Galli</i>	
2.24.2g. Gli ambiti della riqualificazione ambientale e della sostenibilità nel progetto e nella costruzione	521
<i>Annarita Ferrante</i>	

2.25. La storia dell'Automatica come disciplina scientifica a Bologna. Dalla sua nascita ai giorni nostri <i>Claudio Melchiorri</i>	526
2.25.1. Definizione di "Automatica"	526
2.25.2. Una breve storia dello sviluppo dell'Automatica	527
2.25.3. Prime attività a Bologna	528
2.25.4. Le tematiche di ricerca	530
2.25.5. Conclusioni	533
2.26. Il contributo del professor Evangelisti: l'Automatica e il Centro di Calcolo <i>Giovanni Marro</i>	535
2.26.1. La persona	535
2.26.2. I primi lavori sulla regolazione	536
2.26.3. La Sala Calcoli	538
2.26.4. Il Centro Calcoli e Servomeccanismi	545
2.27. L'opera di Ercole De Castro per lo sviluppo del settore elettronico nell'Università di Bologna <i>Giorgio Baccarani</i>	551
2.27.1. Premessa	551
2.27.2. Azioni rivolte alla diffusione della Microelettronica in Italia: fondazione del Laboratorio CNR-LAMEL	552
2.27.3. Stesura del volume <i>Fondamenti di Elettronica: Fisica Elettronica ed Elementi di Teoria dei Dispositivi</i>	553
2.27.4. L'offerta formativa per gli studenti del corso di laurea in Ingegneria Elettronica	555
2.27.5. Alcuni aspetti della personalità di Ercole De Castro	563
2.27.6. L'eredità di Ercole De Castro	564
2.28. Vittorio Gori ed Ercole De Castro, Lincei: esordio e sviluppo della disciplina delle Comunicazioni Elettriche nella Facoltà di Ingegneria di Bologna <i>Leonardo Calandrino</i>	574
2.28.1. La Facoltà di Ingegneria di Bologna e l'insegnamento di Comunicazioni Elettriche	574
2.28.2. Vittorio Gori e l'insegnamento di Comunicazioni Elettriche. L'Istituto di Elettrotecnica e delle Comunicazioni Elettriche "Guglielmo Marconi"	577
2.28.3. Ercole De Castro e gli ultimi anni del corso di laurea in Ingegneria Industriale (Sottosezione Elettrotecnica). Ricordo di Stefano Basile	583
2.28.4. Ercole De Castro: transizione dal corso di laurea in Ingegneria Industriale (Sottosezione Elettrotecnica) al corso di laurea in Ingegneria Elettronica. L'Istituto di Elettronica	585
2.28.5. Ercole De Castro e la Microelettronica	591

2.29. Nascita e sviluppo dell'Ingegneria Biomedica presso l'Università di Bologna: i primi cinquant'anni <i>Guido Avanzolini</i>	594
2.29.1. Un poco di storia	594
2.29.2. Il contesto accademico internazionale nel secondo dopoguerra	600
2.29.3. I padri dell'Ingegneria Biomedica italiana	601
2.29.4. Lo sviluppo dell'Ingegneria Biomedica a Bologna: le principali fasi	601
2.29.5. Il ricordo di un maestro	609
2.30. L'Ingegneria Chimica a Bologna... e non solo <i>Francesco Santarelli</i>	613
2.30.1. Introduzione	613
2.30.2. Nascita dell'ingegneria chimica	614
2.30.3. L'industria chimica in Italia	618
2.30.4. Ingegneria e Ingegneria Chimica in Italia	618
2.30.5. L'Ingegneria Chimica a Bologna	621
2.31. L'Ingegneria mineraria all'Università di Bologna <i>Paolo Macini, Ezio Mesini</i>	625
2.31.1. Ingegneria e cultura mineraria in Italia tra Sette e Ottocento	625
2.31.2. L'istruzione degli ingegneri a Bologna dopo il 1861	629
2.31.3. L'istituzione della laurea in Ingegneria mineraria nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna	631
2.32. Le Misure Elettriche nella Facoltà di Ingegneria di Bologna <i>Domenico Mirri</i>	640
2.32.1. La fase iniziale delle Misure Elettriche con Stefano Basile	640
2.32.2. L'epoca di Vittorio Mòdoni e Gian Paolo Dore	642
2.32.3. L'epoca degli allievi di Vittorio Mòdoni e Gian Paolo Dore	647
2.32.4. L'epoca moderna	653
2.32.5. Il ruolo delle Misure Elettriche	658
2.33. Piero Pozzati. Un Maestro dell'Ingegneria <i>Pier Paolo Diotallevi</i>	660
2.33.1. Percorso accademico	660
2.33.2. Il pensiero scientifico	662
2.33.3. Il docente	663
2.33.4. L'attività scientifica e le pubblicazioni	664
2.33.5. L'ingegnere e le sue realizzazioni	667
3. I CORSI DI LAUREA	669
3.1. Il Corso di Studi in Ingegneria Biomedica nell'Università di Bologna <i>Guido Avanzolini, Gianni Gnudi</i>	671

3.2. Il Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica nell'Università di Bologna <i>Massimo Rudan</i>	684
3.3. Il Corso di Ingegneria Informatica nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna <i>Anna Ciampolini</i>	693
3.4. Il Corso di Ingegneria delle Telecomunicazioni nell'Università di Bologna <i>Carla Raffaelli</i>	702
3.5. I Corsi di Ingegneria Informatica presso la sede di Cesena dell'Università di Bologna <i>Mirko Viroli, Antonio Natali</i>	706
3.6. Il Corso di Ingegneria Elettronica a Cesena nella Facoltà di Ingegneria e nella Scuola di Ingegneria e Architettura dell'Università di Bologna <i>Alberto Bellini</i>	714
3.7. Il Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna <i>Carlo Alberto Nucci, Ugo Reggiani</i>	729
3.8. Il Corso di Ingegneria Meccatronica nella Scuola di Ingegneria e Architettura dell'Università di Bologna <i>Lorenzo Marconi</i>	747
3.9. Il Corso di Ingegneria dell'Automazione nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna <i>Lorenzo Marconi</i>	749
3.10. Il Corso di <i>Advanced Automotive Electronic Engineering</i> nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna <i>Riccardo Rovatti</i>	757
3.11. Il Corso di <i>Advanced Automotive Engineering</i> nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna <i>Nicolò Cavina</i>	760
3.12. Il Corso di Ingegneria Aerospaziale nella sede di Forlì <i>Fabrizio Giulietti, Paolo Tortora, Alessandro Talamelli, Enrico Troiani</i>	768
3.13. Il Corso di Ingegneria Meccanica nell'Università di Bologna <i>Umberto Meneghetti</i>	775
3.14. Il Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare nell'Università di Bologna <i>Domiziano Mostacci</i>	782

3.15. Il Corso di Ingegneria Energetica nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna <i>Enzo Zanchini</i>	788
3.16. Il Corso di Ingegneria Chimica nell'Università di Bologna <i>Francesco Santarelli</i>	798
3.17. Il Corso di Ingegneria Civile nell'Università di Bologna <i>Andrea Simone</i>	810
3.18. Educare alle culture del progetto: la nascita dei Corsi in Design del Prodotto Industriale e Advanced Design dei Processi e dei Servizi all'Università di Bologna <i>Flaviano Celaschi</i>	817
3.19. Il Corso di Studi in Ingegneria Edile - Architettura nell'Ateneo bolognese <i>Giovanni Mochi</i>	821
3.20. Ingegneria dei Processi e dei Sistemi Edilizi <i>Ernesto Antonini</i>	831
3.21. L'Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio <i>Paolo Macini, Ezio Mesini</i>	834
3.22. Il Corso di Ingegneria Meccanica nella sede di Forlì <i>Alessandro Rivola</i>	844
4. RECENSIONI DI LIBRI PUBBLICATI DAI DOCENTI	855
5. IL RUOLO NELLA SOCIETÀ CIVILE DEI DOCENTI	919
6. LA LEGISLAZIONE UNIVERSITARIA <i>Paolo Gianni</i>	927
7. LE CONFERENZE DI FACOLTÀ	941
INDICE DEGLI AUTORI	951

## PRESENTAZIONE

Gli insegnamenti e la ricerca nell'ambito dell'Ingegneria all'Università di Bologna hanno una tradizione lunga e consolidata, e si sono innestati con continuità nel robusto tessuto culturale dell'*Alma Mater* nella seconda metà del XIX secolo, quando cominciò a configurarsi la nuova figura professionale dell'ingegnere, tecnico e uomo di scienza capace di sovrintendere alla realizzazione delle opere pubbliche. Dal 1875, anno di istituzione di una Scuola d'applicazione per Ingegneri a Bologna come parte integrante della Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, poi divenuta Facoltà di Ingegneria nel 1935, fino all'attuale Scuola di Ingegneria, l'insegnamento si è sviluppato nelle sedi universitarie cittadine, per poi espandersi, in tempi recenti, anche nelle sedi romagnole dell'Ateneo, Ravenna, Forlì e Cesena.

Questo variegato cammino, ancorché unitario nei suoi fini culturali, sociali ed educativi, è stato segnato dai molteplici nessi con la storia civile e politica del Paese, dalle vicende legate alla definizione del profilo professionale dell'ingegnere, dall'evoluzione dell'Università italiana, nonché dalla storia scientifica e umana delle persone che hanno costruito questa Istituzione, che oggi si presenta con un profilo sempre più internazionale: gli studenti, i professori, i tecnici, gli amministrativi e, non ultimi, i bibliotecari.

Rintracciare la nascita e ripercorrere lo sviluppo dell'Ingegneria nell'Università di Bologna è un compito tanto affascinante quanto complesso, perché lo si può affrontare secondo diversi approcci, come quello della riflessione storiografica, del dialogo con le altre scienze, del significato epistemologico dei prodotti della ricerca, dell'evoluzione della tecnica rispetto allo sviluppo della complessità sociale, della ricerca storica sui metodi e le contaminazioni disciplinari, o della tradizione degli insegnamenti, solo per citarne alcuni. Ciononostante, non è possibile prescindere dagli insegnamenti dei Professori che hanno dedicato la loro vita all'*Alma Mater*. Su questa linea, i curatori del volume hanno sollecitato i colleghi di Facoltà ad illustrare la storia dei principali insegnamenti, delle aree disciplinari cui si sentivano più legati, dell'istituzione dei vari Corsi di Laurea, o di delineare i contributi spesso internazionali delle opere dei tanti Maestri, secondo un'ipotesi di lavoro che coltiva l'ambizione di raccontare una storia che punta sia sui progressi delle varie discipline, sia sulle loro interconnessioni, sui loro intrecci, sulle loro analogie disciplinari e le innumerevoli contaminazioni culturali. Ripercorrere la storia della



Scuola significa non solo rivivere le idee, gli ideali che hanno portato alla sua istituzione, ma anche ammirare la lungimiranza, la perseveranza e la determinazione di quegli uomini che l'hanno fatta crescere, ed in questo ritrovare l'orgoglio della nostra tradizione, e dell'impegno profuso a beneficio delle generazioni future.

Francesco Ubertini  
*Rettore Alma Mater Studiorum – Università di Bologna*

## INTRODUZIONE

Presentare la nascita e lo sviluppo dell'Ingegneria nell'Università di Bologna è un argomento notevolmente complesso, perché può essere affrontato da molteplici punti di vista e richiede il contributo dei professori appartenenti ai diversi raggruppamenti disciplinari. L'Ingegneria all'Università di Bologna si è sviluppata nel tempo in diverse sedi (a Bologna che è la sede principale, e recentemente a Ravenna, Forlì, Cesena) e la struttura che la rappresenta ha assunto nel tempo nomi diversi: Scuola di Applicazione per Ingegneri (dal 1877 al 1935), Facoltà di Ingegneria (dal 1935 al 2012), Scuola di Architettura e Ingegneria (dal 2012 al 2018); a partire dall'Anno Accademico 2018/19 viene attivata la Scuola di Ingegneria, a cui afferiscono sei dipartimenti esclusi i dipartimenti di Ingegneria civile, chimica, ambientale e dei Materiali (DICAM) e di Architettura (DA), che, pur mantenendo uno stretto collegamento con la Scuola, tuttavia non afferiscono ad essa.

In ogni caso, la Facoltà/Scuola ha mantenuto nel tempo una sua precisa identità culturale alla quale si possono ricondurre i molteplici insegnamenti che attualmente la costituiscono, come risulta evidente dai diversi saggi che compaiono in questo volume: essa è caratterizzata da un approccio razionale allo studio del mondo fisico, dalla ricerca delle leggi matematiche che caratterizzano i modelli che lo rappresentano, dall'uso di queste leggi per la realizzazione degli oggetti richiesti dalla società civile nel suo sviluppo storico (oppure che vengono da essa proposti) accompagnandone la loro descrizione mediante opportuni modelli. La Facoltà ha un insieme di competenze ad elevato livello culturale in molti ambiti dell'organizzazione della società civile e in molte delle esigenze che la caratterizzano sul piano tecnico; competenze che possono essere di grande aiuto ad essa, perché consentono di avere un approccio culturale a cui consegue una migliore consapevolezza delle molteplici soluzioni, ciascuna con i suoi aspetti positivi e negativi, ai complessi problemi che la caratterizzano.

Il volume inizia con un capitolo contenente una sommaria Cronologia della Scuola prima, poi diventata Facoltà di Ingegneria ed infine di nuovo Scuola, nella quale vengono riassunti in maniera sintetica i principali avvenimenti relativi al suo sviluppo. Una più esaustiva presentazione dell'argomento, specialmente nella sua fase iniziale, si può trovare nel saggio di Pier Paolo Diotallevi dal titolo *Una Facoltà tra due Scuole. La Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna (1935-2012)* che ne illustra i suoi aspetti essenziali<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Questo saggio si trova nel volume *Scienza e tecnica nel Settecento e nell'Ottocento. La Rivoluzione industriale vista dagli ingegneri*, a cura di E. Mesini e D. Mirri, CLUEB, Bologna, 2012.

Nel capitolo 2 vengono illustrate molteplici discipline nella loro evoluzione storica (non essendo ovviamente possibile affrontare in maniera esaustiva l'argomento, si è cercato di offrire un panorama il più possibile completo).

Il primo ampio saggio è quello di Dino Zanobetti (professore emerito della nostra Università), dal titolo *Elettrotecnica e Comunicazioni Elettriche nell'Università di Bologna: dal 1800 al 1950*, che inizia con una introduzione storica della elettrotecnica a partire dall'invenzione della pila da parte di Volta per poi proseguire con una indagine su come è iniziato a Bologna lo studio della fisica sperimentale e, successivamente, come è avvenuta l'introduzione della nuova tecnica elettrica; questa ampia indagine storica prosegue con le modalità con cui è nata la figura dell'ingegnere a Bologna, prestando una particolare attenzione allo sviluppo dell'Elettrotecnica e delle Comunicazioni Elettriche fino alla prima metà del secolo scorso.

Segue il saggio di Umberto Meneghetti su *L'insegnamento della Meccanica applicata alle macchine nell'Università di Bologna*, che introduce l'argomento illustrando sinteticamente lo sviluppo storico della Meccanica a partire dall'antichità, mettendo in particolare evidenza il suo sviluppo iniziale come tecnica, la nascita nel Rinascimento della Meccanica come scienza e l'incontro tra scienza e tecnica che determinò, a cavallo fra il XVIII e il XIX secolo, la rivoluzione industriale, e con essa la nascita della moderna ingegneria, ossia anche della Meccanica applicata alle macchine. Viene inoltre descritta la nascita della figura professionale dell'Ingegnere a partire dallo stato pontificio.

Una dettagliata introduzione storica, a partire dal Settecento, è presente anche nel saggio di Francesco Ceccarelli *Discipline storiche e formazione degli architetti ingegneri all'Università di Bologna tra Otto e Novecento*, che mette in evidenza la correlazione esistente a Bologna (a partire dal settecento) tra periodo storico (distinguendo tra illuminismo, epoca napoleonica, restaurazione ossia di nuovo lo Stato Pontificio, nascita della Scuola di Applicazione per gli ingegneri) e ordinamento degli studi per gli ingegneri architetti, per poi illustrare, a partire dal secondo dopoguerra, l'evoluzione nel tempo dell'insegnamento di Storia dell'Architettura.

Nella premessa del saggio dedicato a *La disciplina dell'Architettura Tecnica nella Scuola di Ingegneria di Bologna* Riccardo Gulli illustra, con ampi riferimenti storici, il ruolo fondamentale di questa disciplina nell'area civile come «cerniera tra due mondi, quello dell'ideazione e quello della fattibilità»; nel secondo paragrafo, dal titolo *Architettura-Tecnica: la ricerca di una sintesi*, seguono i saggi di Maria Beatrice Bettazzi, Luca Guardigli, Andrea Guidotti, Adolfo Cesare Dell'Acqua, Giovanni Mochi, Claudio Galli e Annarita Ferrante che mettono in evidenza come si sia sviluppata nel tempo la dialettica tra il binomio Architettura-Tecnica e gli insegnamenti che la circondano nei diversi corsi di laurea dell'area civile.

Nel saggio di Luca Piancastelli (*Cenni storici sul Disegno Tecnico*) viene presentato sinteticamente lo sviluppo storico del Disegno Tecnico dall'antichità fino ai nostri giorni, con la nascita nella nostra Facoltà del Corso Assistito dal Calcolatore (CAD).

Agli inizi della Scuola di Applicazione per Ingegneri risultano presenti nel 1881 i gabinetti scientifici di tre discipline che manterranno invariato nel tempo il loro

nome: Meccanica Applicata alle Macchine, Fisica Tecnica e Idraulica. Come viene messo in evidenza nel saggio di Alessandro Cocchi che presenta un'ampia introduzione storica (*La Fisica Tecnica ed il suo Gabinetto nell'Ateneo bolognese: le origini, la struttura, le ricerche, gli uomini*), la Fisica Tecnica è l'unica disciplina che peculiarmente non mette in evidenza in forma esplicita l'argomento che viene trattato.

L'insegnamento di Strade, come viene illustrato da Alberto Bucchi e Francesco Mazzotta nel saggio *Il corso di Strade nell'Università di Bologna*, che contiene una breve introduzione storica, ha inizio con Giulio Stabilini nel 1877; segue una dettagliata presentazione dei docenti che si sono succeduti nel tempo e si conclude con una breve descrizione dell'attuale tecnica stradale e dell'attività di ricerca ad essa collegata.

Come ricorda Ugo Reggiani nel saggio *L'insegnamento dell'Elettrotecnica nella Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri e nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna dalle origini al 2000*, l'insegnamento dell'Elettrotecnica, che inizialmente faceva parte del corso di Fisica Tecnica, fu tenuto in modo autonomo a partire dall'anno accademico 1904/05 dallo stesso professore di Fisica Tecnica, Luigi Donati; il saggio prosegue con una dettagliata descrizione dei docenti che si sono succeduti nel tempo in questo insegnamento, con precisi riferimenti anche alla loro attività scientifica.

Nel saggio di Piero Pelloni *Storia e cronaca della Meccanica calda* viene ripercorso lo sviluppo di questa disciplina anche con ricordi personali; segue una presentazione dei docenti di questa disciplina.

Nel saggio di Pier Gabriele Molari *La Costruzione di Macchine nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna* viene descritta la storia di questa disciplina dalla sua istituzione, avvenuta nel 1928, fino al 2013 con una approfondita riflessione sulla sua identità culturale.

Nel saggio di Federico Rupi e Giannino Praitoni, che riguarda *La disciplina Trasporti nella Scuola-Facoltà di Ingegneria di Bologna*, vengono illustrati i mezzi di trasporto nel loro sviluppo storico mettendo in evidenza che, in tempi recenti, la disciplina Trasporti ha avuto una profonda trasformazione perché, nella moderna concezione, riguarda l'analisi e il governo di un fenomeno di grande attualità e rilevanza: il trasporto delle persone e delle merci.

Nel saggio dal titolo *L'Ingegneria mineraria all'Università di Bologna* Paolo Macini ed Ezio Mesini ripercorrono le tappe che, a partire dai primi anni Quaranta del secolo scorso con l'istituzione della laurea in Ingegneria mineraria, cogliendo i frutti della cultura mineraria italiana ed europea maturati tra Sette e Ottocento, ne hanno visto la sua nascita ed evoluzione sino alla fine degli anni Novanta.

La trattazione di numerosi saggi inizia, invece, a partire dalla nascita della Facoltà di Ingegneria (1935). Il saggio di Enrico Obrecht su *L'insegnamento dell'Analisi Matematica nella Facoltà di Ingegneria di Bologna* descrive in dettaglio l'evoluzione nel tempo di questo insegnamento mettendo in evidenza l'ordinamento didattico dei primi due anni, i programmi dell'analisi ed il numero di allievi; vengono inoltre sinteticamente illustrate le modifiche nel tempo dell'attività didattica della intera facoltà con precisi riferimenti temporali.

La necessità di proseguire nello studio della matematica, per potere comprendere i molteplici aspetti dello sviluppo delle scienze ingegneristiche, ha dato origine ad una scuola di Matematica Applicata, che viene illustrata con ricordi personali da Tommaso Ruggeri nel suo saggio *La Meccanica Razionale e la Matematica Applicata nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna*.

Una dettagliata ed esaustiva riflessione storica sul ruolo della matematica nella ingegneria dalla rivoluzione francese fino ai nostri giorni è quella trattata nel saggio di Guido Masetti *Alcuni cenni sul fruttuoso incontro tra matematici e ingegneri nella costruzione dell'Ingegneria moderna*.

Angelo Di Tommaso, nel suo saggio *Evoluzione dell'insegnamento della Scienza delle Costruzioni a Bologna*, descrive in maniera approfondita l'evoluzione della Scienza delle Costruzioni in Italia, con riferimento anche a quanto avveniva in Europa, a partire dalla nascita della Facoltà di Ingegneria a Bologna, tenendo presente soprattutto l'aspetto didattico, ma con ampi riferimenti anche all'attività professionale.

Giambattista Scarpi, nel suo saggio *Le discipline idrauliche nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna*, ricorda brevemente la fase iniziale dell'Idraulica per poi iniziare la trattazione a partire dalle tre figure della moderna idraulica: Umberto Puppini<sup>2</sup>, Giulio Supino, Giuseppe Evangelisti, mettendo in particolare evidenza l'attività di ricerca. È opportuno ricordare che professori di idraulica hanno tenuto anche corsi di Complementi di Matematica, come viene ricordato nel saggio di Enrico Obrecht; ciò derivava dalla convinzione che fosse opportuno collegare immediatamente il concetto matematico alla sua applicazione ingegneristica, utilizzando quindi soltanto come uno strumento di lavoro e trascurando le sue implicazioni teoriche. Lo studio della teoria della Probabilità è stato invece introdotto in Facoltà dal professore di Topografia Paolo Dore e proseguito subito dopo dal figlio, Gian Paolo (professore di Misure), nel corso Metodi e Osservazioni di Misura, per poi passare infine ai matematici applicati.

Nel saggio di Gabriele Falciasacca e Carlo Giacomo Someda *La didattica dell'Elettromagnetismo applicato* viene dettagliatamente illustrato lo sviluppo storico delle Telecomunicazioni nelle sue molteplici applicazioni. Nel saggio di Oreste Andrisano *Il contributo del Laboratorio di Comunicazioni Wireless alla Facoltà di Ingegneria* viene

---

<sup>2</sup> Nella sua condizione di orfano (il padre era morto prima della sua nascita), Umberto Puppini, nato nel 1884, riuscì a portare a termine gli studi superiori grazie all'assistenza dell'orfanotrofio di San Bartolomeo. Nel 1903 si iscrisse al biennio propedeutico della facoltà di scienze matematiche dell'Università degli Studi di Bologna e poi frequentò il triennio della Scuola di Applicazione per ingegneri, laureandosi nel luglio del 1908 con il massimo dei voti e la lode. Subito dopo divenne assistente di fisica tecnica ed elettrotecnica presso l'Istituto diretto da Luigi Donati, il quale – in quegli anni – stava dando un notevole impulso all'applicazione della fisica matematica all'ingegneria. Nel 1912 ottenne la libera docenza presso la cattedra di idraulica, materia alla quale dedicò la gran parte della sua attività scientifica e accademica. Fu libero docente e incaricato di idraulica dal 1913 al 1920, quando divenne professore straordinario di Idraulica. Durante la Grande Guerra fu tenente di artiglieria: prestò servizio logistico per dieci mesi nella campagna 1916-17 e fu congedato con il grado di maggiore (dal *Dizionario biografico* della Enciclopedia Treccani).

descritto, con molti dettagli, il ruolo della sperimentazione nelle Telecomunicazioni per quanto riguarda sia la didattica, sia la ricerca.

Lo sviluppo di alcune discipline avviene in armonia con la loro evoluzione a livello nazionale e in collegamento con personalità di notevole rilievo, appartenenti anche ad altre sedi universitarie; ne è un esempio il saggio di Aurelio Boari (*Esordio e sviluppo delle discipline e dei servizi informatici nella Facoltà di Ingegneria*), che illustra in dettaglio lo sviluppo dell'Informatica in Italia e come in esso si inserisca quello dell'Informatica nella nostra Facoltà, mettendone in risalto lo sviluppo successivo. Ovviamente, nel tempo si è ampliato molto il numero di discipline della Facoltà, in armonia anche con quello che avveniva a livello nazionale o anche internazionale, ed è importante sottolineare il ruolo avuto, anche a livello nazionale, da docenti della nostra Facoltà in questo ampliamento, contribuendo a un ulteriore approfondimento degli aspetti tecnici della realtà fisica oggetto di studio nella Facoltà, e consentendo la progettazione e la realizzazione di nuovi dispositivi, sistemi e apparati. La necessaria limitata scelta delle discipline presentate in questo libro, è dipesa dalla disponibilità dei docenti, anche se essa risulta sufficientemente ampia per essere rappresentativa della storia della nostra Facoltà.

Il compito di illustrare la storia delle singole discipline è stato chiesto ad un docente della disciplina senza dare indicazioni specifiche anche per quanto riguarda l'arco temporale da illustrare, col suggerimento che esso doveva essere il più ampio possibile. Ad esempio, per la Fisica sono presenti due saggi: il primo di Giorgio Dragoni e Paolo Cinti (*Per una storia dell'insegnamento della Fisica nell'Università di Bologna. Gli insegnamenti nel biennio di Ingegneria*) dove si presenta in modo approfondito, nel suo sviluppo storico – dal Settecento fino alla prima metà del Novecento – l'insegnamento della Fisica; il tutto accompagnato da una accurata ricostruzione delle modificazioni subite nel tempo dall'insegnamento, nel quale la sperimentazione aveva un ruolo essenziale. Il secondo, di Antonio Bertin e Gianni Vannini (*Ricerca e didattica dei titolari di insegnamenti di Fisica alla Facoltà d'Ingegneria dalla fine degli anni Cinquanta a oggi*), riguarda il periodo successivo, a partire dall'arrivo come direttore dell'Istituto di Fisica di Giampietro Puppi, un figura di elevato rilievo culturale e di grande prestigio internazionale, che ne ha condizionato profondamente lo sviluppo attuale. Nello stesso saggio, viene altresì illustrata l'attività di ricerca che caratterizza l'Istituto di Fisica in quel periodo.

Esistono notevoli differenze tra i diversi autori sulle modalità con cui viene presentato il contenuto di ogni disciplina, normalmente seguendone nel tempo lo sviluppo storico (in prevalenza sul piano didattico, ma spesso anche relativamente all'attività scientifica) mettendo in particolare evidenza i docenti che ne hanno caratterizzato la nascita e lo sviluppo. Un altro aspetto che viene talvolta messo in evidenza dagli autori è quello del metodo che viene utilizzato nello svolgimento del programma di ogni singola disciplina: quello induttivo, oppure quello deduttivo. Ad esempio, nel saggio di Angelo Di Tommaso relativo alla storia della Scienza delle Costruzioni (*Evoluzione dell'insegnamento della Scienza delle Costruzioni a Bologna*)

viene messo in evidenza il passaggio da Odone Belluzzi<sup>3</sup>, che seguiva un metodo induttivo<sup>4</sup> forse introdotto in campo internazionale dal celebre Stephen Timoshenko, a Michele Capurso, che utilizzava invece il metodo deduttivo; si determina in tale modo una profonda trasformazione nello svolgimento della materia, anche se ambedue le soluzioni sono di indiscusso interesse e consentono di perseguire, sia pure in modo molto diverso, un livello tecnico molto elevato (in realtà ogni singolo allievo ha una sua particolare predilezione per uno di questi due metodi).

A ogni singolo docente è stata lasciata la completa libertà di decisione se e come sottolineare gli aspetti che ritiene più qualificanti. Esistono raggruppamenti disciplinari presenti sin dalla nascita della Scuola prima e poi della Facoltà (si veda la Cronologia iniziale) e altri che sono nati nel tempo, spesso per iniziativa di singoli docenti. Ad esempio, Arrigo Pareschi illustra *La nascita del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale nelle sedi universitarie di Bologna e di Reggio Emilia* che è stato da lui gestito durante la sua presidenza della Facoltà.

Sono presenti saggi che mettono in particolare rilievo il ruolo che hanno avuto singoli docenti (che possono avere avuto un rilievo nazionale o anche internazionale) nel fare nascere nella Facoltà discipline specifiche e nel dare origine alla relativa attività di ricerca, ossia figure che possiamo definire “maestri” e che i loro allievi ricordano con particolare emozione. Ne sono esempi esplicativi il ruolo di Giuseppe Evangelisti, professore di Costruzioni Idrauliche, sia nella nascita dei Controlli Automatici sia in campo internazionale sia in Italia (si veda il saggio di Melchiorri *La storia dell'Automatica come disciplina scientifica a Bologna*), sia nella nascita del Centro di Calcolo a Bologna (si veda il saggio di uno dei primi allievi di Evangelisti, Giovanni Marro, *Il contributo del professor Evangelisti: l'Automatica e il Centro di Calcolo*), il ruolo di Ercole De Castro per quanto riguarda l'Elettronica (si veda il saggio *L'opera di Ercole De Castro per lo sviluppo del settore elettronico nell'Università di Bologna* di Giorgio Baccarani) e le Comunicazioni Elettriche (si veda il saggio di Leonardo Calandrino *Vittorio Gori ed Ercole De Castro, Lincei*), il ruolo di Piero

<sup>3</sup> Lo stato di indigenza della sua famiglia (la madre era rimasta precocemente vedova) costrinse Odone Belluzzi, nato nel 1892, ad abbandonare presto la scuola per iniziare a lavorare anche se continuava a studiare per proseguire gli studi come studente lavoratore. Frequentò i corsi liberi dell'Università Popolare fino a ottenere, come privatista, il diploma dell'Istituto Tecnico Industriale Aldini-Valeriani. La sua preparazione fu così apprezzata che gli venne offerto il posto di Tecnico-Pratico di Fisica ed Elettrotecnica nello stesso Istituto, insegnamento che mantenne fino al 1927. Contemporaneamente, si iscrisse alla Scuola di Applicazione per Ingegneri. Al termine del biennio scoppiò la grande Guerra e venne chiamato alle armi come ufficiale di Artiglieria; al termine della guerra riprese gli studi e nel 1921 si laureò in Ingegneria con Giuseppe Albenga, professore di Meccanica Applicata alle Costruzioni. Pur continuando il suo impegno alle Aldini-Valeriani, egli proseguì gli studi con il professore Albenga e, nel 1927 gli venne conferita la libera docenza. Nel 1928 il professore Albenga si trasferì al Politecnico di Torino e propose come suo sostituto Odone Belluzzi, che nel 1931 vinse la cattedra di Scienza delle Costruzioni; contemporaneamente ottenne il premio della Fondazione Alessandro Volta, dato dall'Accademia d'Italia, e il premio della Fondazione Vallauri (dalla *Enciclopedia Wikipedia*).

<sup>4</sup> Col metodo induttivo la materia viene illustrata gradualmente a partire dagli aspetti più semplici aggiungendo, subito dopo la breve presentazione di ogni aspetto teorico, alcuni esempi esplicativi che ne favoriscono la piena comprensione.

Pozzati (si veda il saggio di Pier Paolo Diotallevi *Piero Pozzati - Un maestro dell'Ingegneria*), il ruolo di Enzo Belardinelli per la nascita dell'area Biomedica in Italia (si veda il saggio di Guido Avanzolini *Nascita e sviluppo dell'Ingegneria Biomedica presso l'Università di Bologna: i primi cinquant'anni*), il ruolo di Gian Carlo Corazza per lo sviluppo delle Telecomunicazioni a Bologna (si veda il saggio di Gabriele Falciasecca e di Gian Carlo Someda *La didattica dell'Elettromagnetismo applicato*), il ruolo di Ettore Funaioli per lo sviluppo della Meccanica Applicata a Bologna illustrato nel saggio di Umberto Meneghetti (è significativo che ogni anno i suoi allievi organizzino una giornata di studio in suo onore), infine il contributo di Franco Foraboschi per una precisa definizione, anche a livello nazionale, degli obiettivi del corso di laurea in Ingegneria Chimica (si veda il saggio di Francesco Santarelli *L'Ingegneria Chimica a Bologna ... e non solo*), che deve distinguersi dalla laurea in Chimica e da quella in Chimica Industriale già presenti nell'Università di Bologna.

È interessante notare, per quanto riguarda il corso di Elettronica, che il primo insegnamento nella nostra Facoltà sia stato tenuto da Giuseppe Evangelisti (negli A.A. 1958/59 e 1959/60), uno studioso particolarmente sensibile ad affrontare ogni novità della tecnica, mentre il proseguimento di questa disciplina fu affidato a Ercole De Castro (a partire dall'A.A. 1960/61) per quanto riguarda il corso di laurea in elettronica e, successivamente, a Vito Monaco (a partire dall'A.A. 1967/68) per quanto riguarda quello di elettrotecnica. Il corso di De Castro era orientato prevalentemente allo studio della fisica dei semiconduttori<sup>5</sup> mentre quello di Monaco era più attento allo studio dei circuiti.

Sono esistite anche trasformazioni determinate da eventi nazionali. La più significativa è stata, come mette in evidenza il saggio di Obrecht, l'epurazione di tutti i docenti di Analisi e Geometria dell'Università di Bologna nel 1938 per effetto delle leggi razziali determinando un'ovvia difficoltà nel ricostruire nel tempo un corpo docente a un analogo elevato livello. Nella Facoltà di Ingegneria vennero cacciati i professori di Fisica Tecnica (Emanuele Foà) e di Costruzioni Idrauliche (Giulio Supino), come ricordano i saggi di Giambattista Scarpi e Alessandro Cocchi. Ci sembra doveroso ricordare anche i nomi degli altri professori espulsi dall'Ateneo: Tullio Ascarelli (Diritto commerciale), Mario Camis (Fisiologia generale), Gustavo del Vecchio (Economia politica), Guido Horn d'Arturo (Astronomia), Beppe Levi (Analisi matematica), Rodolfo Mondolfo (Storia della filosofia), Maurizio Pincherle (Clinica pediatrica), Beniamino Segre (Geometria Analitica) ed Edoardo Volterra (Diritto romano)<sup>6</sup>.

Il ruolo della sperimentazione e le modalità della sua realizzazione sono importanti in una facoltà tecnico-scientifica; esso viene affrontato in forma esplicita in diversi saggi, tra i quali quello di Domenico Mirri (*Le Misure Elettriche nella Facoltà di*

<sup>5</sup> I programmi dei numerosi insegnamenti di Elettronica vengono elencati in appendice al saggio di Giorgio Bacarani.

<sup>6</sup> D. Zanobetti, *Giulio Supino e Emanuele Foà*, in *La cattedra negata, dal giuramento di fedeltà al fascismo alle leggi razziali nell'Università di Bologna*, a cura di D. Mirri e S. Arieti, CLUEB, Bologna, 2002.



*Ingegneria di Bologna*), quello di Alessandro Freddi (*Il ruolo dell'Analisi Sperimentale delle Tensioni nella formazione dell'ingegnere*), quello di Oreste Andrisano e quello di Roberto Guidorzi (*Il corso di Teoria dei Sistemi a Bologna*). Sarebbe interessante un approfondimento di questo problema, perché l'attività sperimentale nella Facoltà non riguarda soltanto la verifica degli aspetti teorici che caratterizzano ogni disciplina, ma è anche parte integrante dell'attività di ricerca per la determinazione dei modelli non soltanto della realtà fisica (nei suoi aspetti anche più complessi), ma anche degli apparati che vengono progettati e realizzati dagli ingegneri. È importante anche tenere presente la ricostruzione storica dell'insegnamento della Fisica a Bologna di Giorgio Dragoni e Paolo Cinti (*Per una storia dell'insegnamento della Fisica nell'Università di Bologna. Gli insegnamenti nel biennio di Ingegneria*) perché, soprattutto nel passato, esso era caratterizzato da un accentuato carattere sperimentale, in quanto nei corsi di Fisica la formulazione matematica di una determinata legge veniva normalmente dedotta sperimentalmente (si veda in particolare la figura di Quirino Majorana quando «non convinto delle basi sperimentali delle teorie di Einstein tentò con esperimenti condotti su un arco di tempo durato alcuni decenni di provarne o meno l'attendibilità»).

Dalle diverse presentazioni dello sviluppo storico delle singole discipline risulta evidente lo sforzo di mantenere sempre aggiornata la preparazione tecnica degli studenti in armonia con lo sviluppo nel tempo della scienza e della tecnica. Anche di recente sono nate nuove discipline che tale obiettivo relizzano in maniera esplicita: si veda ad esempio il contributo di Roberto Guidorzi relativo alla Teoria dei Sistemi, nata come evoluzione dei Controlli Automatici alla fine del secolo scorso, che avrebbe, forse, dovuto avere uno sviluppo maggiore non soltanto nelle diverse aree dell'ingegneria, ma anche relativamente a qualsiasi tipo di sistema (ad esempio, quello economico oppure quello politico). Per sottolineare questo aspetto abbiamo chiesto a Guidorzi di illustrare il contenuto del suo corso anche con riferimento a quanto accade a livello internazionale. Sarebbe interessante un confronto tra la presentazione della teoria dei modelli nella Teoria dei Sistemi e quella nella Filosofia della Scienza<sup>7</sup>; sarebbe anche stimolante approfondire il ruolo delle Misure nella determinazione dei modelli, ma sono problemi che esulano dagli obiettivi di questo volume.

La presentazione delle singole discipline fa riferimento prevalentemente all'attività didattica, anche se essa è spesso legata all'attività di ricerca dei singoli docenti ed espressione di essa; in taluni casi viene messa in particolare evidenza tale correlazione. Una trattazione specifica sull'attività di ricerca viene fatta nel saggio di Antonio Bertin e Gianni Vannini che illustra lo straordinario sviluppo della Fisica a Bologna con l'arrivo di Gianpietro Puppi all'inizio degli anni Cinquanta ed anche in quello di Giovanni Marro sul Centro di Calcolo della Facoltà di Ingegneria. Anche se l'attività di ricerca ha un ruolo importante nella attività di ogni singolo docente e da essa dipende lo sviluppo nel tempo della sua carriera, non è stato possibile mettere in

<sup>7</sup> Si veda di Maria Carla Galavotti e Raffaella Campaner: *La spiegazione scientifica – Modelli e problemi*, ArchetipoLibri, Bologna, 2012.

rilievo in forma esplicita tale aspetto della vita universitaria, perché richiedeva trattazioni troppo specifiche. L'attività di ricerca, che si propone di dare un contributo originale allo sviluppo della tecnica e a risolvere i problemi ad essa connessi, è uno strumento indispensabile, a livello universitario, per consentire all'attività didattica della Facoltà di Ingegneria di rinnovarsi in armonia con lo sviluppo della tecnica. Tale consapevolezza è stata una caratteristica distintiva di Ercole De Castro; nel saggio di Gabriele Falciasecca e Gian Carlo Someda viene messo bene in evidenza come la nascita e lo sviluppo del Corso di Laurea in Telecomunicazioni siano espressione di una attività didattica in stretta connessione con l'attività di ricerca, come proponeva De Castro. La stessa cosa è accaduta per l'Elettronica e le Comunicazioni Elettriche. L'attività di ricerca può anche essere volta a risolvere i problemi più complessi derivanti da una attività professionale ai più alti livelli. È ciò che accade con Piero Pozzati, come viene messo bene in evidenza da Pier Paolo Diotallevi nel saggio a lui dedicato (anche in riferimento ai problemi della responsabilità che investe gli ingegneri nell'ambito della loro attività, responsabilità non solo tecniche ma anche etiche), e infine con Giuseppe Evangelisti, che giunse ai Controlli Automatici per risolvere un problema di stabilità legato alla sua attività professionale. L'attività didattica può anche essere sviluppata con una attenta lettura dei migliori libri pubblicati a livello internazionale, come dimostra Odone Belluzzi quando propone Stephen Timoshenko per una laurea *honoris causa* in Ingegneria civile da parte della Università di Bologna.

Anche per le discipline tecnico-scientifiche si può parlare di un albero genealogico. Nel contributo iniziale relativo alla Cronologia si può notare che, nella Scuola di Applicazione per Ingegneri, sono presenti inizialmente materie che si manterranno praticamente invariate nel tempo: la Chimica, la Geometria, la Fisica Tecnica, l'Idraulica, le Macchine, le diverse discipline riguardanti l'Area Civile (il nome di Scienza delle Costruzioni appare soltanto nel 1928 con Odone Belluzzi). Nel 1904 il professore di Fisica Tecnica Luigi Donati separa l'Elettrotecnica dalla Fisica Tecnica, di cui è titolare, introducendo anche un corso complementare di Elettrotecnica come ricordano nei loro contributi Dino Zanobetti, Alessandro Cocchi e Ugo Reggiani; questo insegnamento diventa fondamentale con Luigi Donati nel 1904. Nel 1936 Stefano Basile, libero docente di Elettrotecnica, introduce un corso di Misure Elettriche, di cui diventerà professore straordinario nel 1947 (si veda il contributo di Domenico Mirri sulle *Misure Elettriche nella Facoltà di Ingegneria di Bologna*). Nel 1960 il professore di Misure Elettriche, Vittorio Mòdoni, introduce un corso di Tecnologie Elettriche, disciplina che si svilupperà autonomamente con Luciano Simoni, che diventerà ordinario di questa disciplina. Nel 1940 diventa professore straordinario di Elettrotecnica Vittorio Gori, che già teneva dal 1938 un corso di Comunicazioni Elettriche (come ci ricorda anche Leonardo Calandrino nel suo saggio). A partite dal 1950, con Giuseppe Francini, Franco Capuccini e, successivamente, Ercole De Castro col suo allievo Leonardo Calandrino, le Comunicazioni Elettriche iniziano un loro sviluppo autonomo. Un corso con la denominazione di Macchine elettriche fu attivato nell'A.A. 1960/61 e affidato per incarico a Filippo Ciampolini che lo tenne fino all'A.A. 1972/73. In precedenza, dall'A.A. 1937/38 al 1959/60 era stato

attivo il corso di Costruzione di macchine elettriche svolto nell'ordine, sempre per incarico, dai professori Someda, Barozzi e Ciampolini. Il corso di Macchine elettriche fu coperto come cattedra solo dall'A.A. 1975/76 da Benito Brunelli, che l'aveva tenuto per incarico negli A.A. 1973/74 e 1974/75. Anche gli Impianti Elettrici sono una derivazione dall'Elettrotecnica; il relativo corso era in Italia inizialmente affidato per incarico ai direttori di aziende di produzione dell'energia elettrica. Il primo professore di ruolo di estrazione universitaria è stato Dino Zanobetti.

Il capitolo successivo (il terzo) illustra, sia pure in maniera sintetica, le caratteristiche di diversi corsi di laurea della Facoltà, presentando sia l'ultimo piano di studi quando esisteva ancora la laurea quinquennale, sia i due piani di studio attuali della laurea triennale e di quella magistrale. È stato suggerito ai singoli relatori di illustrare anche le modalità di passaggio dalla laurea quinquennale a quella che è definita del 3+2. È questo un aspetto molto interessante perché, a differenza di quanto succedeva in passato, la legislazione nazionale ha lasciato a ogni singolo corso di laurea ampia libertà, pur nel rispetto dell'ordinamento nazionale. È interessante notare, ad esempio, che l'area elettronica si è suddivisa in quattro lauree 3+2 distinte mentre l'area meccanica è rimasta unitaria. È stato ampliato notevolmente il numero degli insegnamenti e dei corsi di laurea coinvolgendo tutti i ricercatori anche di prima nomina. Ciò ha determinato una profonda trasformazione della laurea in Ingegneria, privilegiando gli aspetti specifici di ogni corso di laurea rispetto a quelli più generali, che caratterizzavano invece la laurea in Ingegneria fino agli anni Sessanta. Inoltre, sarebbe conveniente riflettere sulle caratteristiche distintive di ogni corso di laurea limitandone il numero qualora fosse possibile. Sarebbe forse opportuna, ma non rientra negli scopi di questo volume, un'ampia riflessione sulle modifiche che hanno avuto nel tempo i diversi corsi di laurea in Ingegneria, prima come 2+3 (ossia col biennio seguito dal triennio) fino all'inizio degli anni Sessanta, poi come laurea quinquennale ed ora come 3+2. Sarebbe anche opportuno mettere in maggiore evidenza in quali corsi di laurea si è riusciti a rendere professionalmente spendibile la laurea triennale e in quali casi invece è necessario completare il corso di studi con quella magistrale.

Nel quarto capitolo si è voluto, sia pure in modo molto sintetico, mettere in risalto l'interesse dei docenti della Facoltà per i libri, giustificando l'attenzione che gli stessi docenti hanno sempre avuto nei confronti della ricca Biblioteca di Facoltà caratterizzata da una storia lunga e interessante<sup>8</sup>. Nel capitolo vengono presentate recensioni di libri che hanno avuto rilievo nazionale o anche internazionale, scritti da professori della Facoltà, mettendone in evidenza le caratteristiche distintive. Si tratta di un'operazione che mette in particolare evidenza l'importante contributo di singoli docenti

---

<sup>8</sup> La storia della biblioteca di Ingegneria viene invece ampiamente illustrata nel seguente saggio della direttrice della biblioteca, Dott.ssa Maria Pia Torricelli, *Le biblioteche per la formazione alle professioni tra '800 e '900: il caso della Scuola per gli ingegneri e della Scuola di agraria dell'Università di Bologna*, pubblicato negli "Annali di storia delle università italiane", 13 (2009), pp. 411-418.

anche nelle modalità di presentazione della loro disciplina. Purtroppo, per la difficoltà di ricordare tutti i libri che sono stati scritti e di trovare eventualmente recensori disponibili, l'insieme qui raccolto non può essere considerato completo. Si tratta di una differenza significativa tra il mondo tecnico scientifico e quello umanistico, che invece abitualmente trova sempre uno o più colleghi che recensiscono, talvolta anche in maniera critica, tutti i libri che vengono pubblicati. Ci auguriamo comunque che questo capitolo possa semplicemente essere considerato soddisfacente e interessante tenendo presente che numerosi libri sono stati presentati anche nei saggi presenti nel secondo capitolo dedicato agli insegnamenti. Forse è opportuno mettere in particolare evidenza il libro di Evangelisti su *La regolazione delle turbine idrauliche* scritto nel 1947, che ha avuto rilievo internazionale (pur essendo stato scritto in italiano), perché può essere considerato un importante contributo per la nascita in campo internazionale e non soltanto in Italia di una nuova scienza, i Controlli Automatici. Altre recensioni riguardano i due libri di De Castro sulla *Fisica dei Semiconduttori*, quello con UTET di carattere scientifico e quello con Patron di carattere divulgativo (è un esempio bellissimo di divulgazione scientifica) e il libro, sempre di De Castro, *Complementi di matematica*; i celebri libri di *Scienza delle Costruzioni* di Odone Belluzzi e di Michele Capurso, pur così diversi tra loro; la *Introduzione al Calcolo della Probabilità* di Paolo Dore con una recensione particolarmente favorevole di un celebre studioso di tale teoria (Domenico Costantini); la *Idraulica* di Umberto Puppini; i *Fondamenti di Chimica* di Paolo Chiorboli; la *Meccanica Applicata alle Macchine* di Funaioli; gli *Elementi di Fisica Tecnica* di Emanuele Foà; le *Misure Elettriche* di Vittorio Mòdoni e Gian Paolo Dore; il libro di Franco Foraboschi *Principi di Ingegneria Chimica*, recensito dal celebre studioso Gianni Astarita, definisce le caratteristiche distintive della laurea in Ingegneria Chimica; le *Lezioni di impianti elettrici* di Dino Zanobetti e Mario Pezzi; sempre di Dino Zanobetti il libro di *Economia dell'Ingegneria*; i tre libri di Giovanni Marro sui controlli automatici e sulla teoria dei sistemi, uno di questi scritto assieme a Giuseppe Basile (in inglese); il libro di Filippo Ciampolini sulla didattica breve; i numerosi libri di Tommaso Ruggeri, tutti in lingua inglese; i libri di due allievi di De Castro, *Dispositivi MOS* di Baccarani e *Physics of Semiconductor Devices* di Massimo Rudan; la *Propagazione ottica libera e guidata* scritto da Paolo Bassi, Gaetano Bellanca e Giovanni Tartarini; gli *Elementi di Chimica Fisica dei Materiali per l'Elettronica* scritto da Agostino Desalvo e Andrea Munari.

Ovviamente, molti professori hanno avuto cariche accademiche, esplicando cioè la loro attività non soltanto nell'attività didattica e di ricerca, ma anche negli aspetti organizzativi richiesti per il funzionamento dell'università, oppure per svolgere una intensa attività professionale ad alto livello. Quest'ultimo aspetto non viene illustrato. Nel quinto capitolo è stata però ricordata l'attività svolta nella società civile da Professori della Facoltà che hanno messo al servizio dell'intera società le loro conoscenze professionali. Si tratta di un aspetto non sempre noto a sufficienza ed era perciò opportuno metterlo in evidenza. A titolo di esempio si ricorda l'impegno di

Umberto Puppini durante il periodo fascista, prima come Sindaco di Bologna, poi come Ministro di Mussolini e, successivamente, come Presidente dell'Agip; quello di Supino che, epurato per motivi razziali, si impegna durante la Resistenza nelle organizzazioni in difesa degli ebrei; quello di Zanobetti impegnato nella lotta partigiana durante la Resistenza. Se è stato importante mettere in evidenza l'impegno di singoli docenti che mettono al servizio della società civile la loro competenza professionale, sarebbe forse opportuno sottolineare che l'insieme dei professori universitari di particolari discipline (si pensi ad esempio a quelle di Strade, Trasporti e Architettura) potrebbe dare un utile contributo alla società civile se essi presentassero congiuntamente i loro diversi punti di vista (non necessariamente coincidenti, contrariamente a quello che si pensa normalmente) sui problemi che la società civile deve risolvere per mettere in evidenza che, prima di fare le scelte alle quali è chiamata la politica, sarebbe indispensabile approfondire ogni singolo problema sul piano culturale.

La legislazione universitaria in questo dopoguerra ha determinato importanti modifiche sia nell'ambito organizzativo, sia in quello didattico. Per essere consapevoli di quello che nel tempo è avvenuto, abbiamo ritenuto opportuno illustrare nel capitolo successivo (il sesto) le più significative leggi che nel dopoguerra hanno condizionato e modificato le modalità di partecipazione alla vita accademica. Inoltre viene illustrato il contributo che ad esse hanno dato le associazioni universitarie. In questa descrizione non manca un commento, talvolta anche critico, sull'attività del legislatore, che spesso ha cercato di trovare una soluzione alle profonde modificazioni che stava subendo in questo dopoguerra l'Università, in una maniera non sempre coerente con le sue effettive esigenze. In ogni caso, è opportuno sottolineare che in questi ultimi tempi si è modificata sostanzialmente la vita dell'Università con cambiamenti che sono stati spesso, a nostro parere, troppo rapidi. È significativo notare che nel passato erano presenti personalità di rilievo sia in campo sindacale (si pensi allo storico Giorgio Spini), sia alla guida dei ministeri (si pensi ad esempio Antonio Ruberti); in molti settori della società civile sembrano attualmente mancare personalità di rilievo anche sul piano della preparazione tecnica specifica per il ruolo ricoperto.

In questi ultimi anni, a partire dal maggio 2005, sono state organizzate quasi mensilmente dalla Facoltà di Ingegneria, in collaborazione col Centro Interdipartimentale "Federico Enriques", conferenze che intendevano illustrare aspetti significativi della storia della scienza e della tecnica. Nel capitolo 7 viene riportato l'elenco di tali conferenze, il sito internet della Biblioteca di Facoltà dove sono riportate.

È nostra convinzione, confermata anche dai saggi presenti in questo volume, che la Facoltà di Ingegneria abbia una sua precisa caratteristica distintiva sul piano culturale e che, forse, aveva un preciso significato mantenere in vita la Facoltà ed anche il Consiglio di Facoltà con la presenza di tutti i docenti di ruolo per favorire sia una completa conoscenza delle sue peculiarità, sia un confronto tra le diverse aree disciplinari ed anche un loro coinvolgimento reciproco sul piano culturale. Ad esempio,

ci sono discipline che sono nate per effetto di problemi che nascevano in aree molto diverse tra loro (si pensi ad esempio ai Controlli Automatici nati per effetto di problemi di stabilità posti dalle Turbine Idrauliche). Fino alla riforma dell'A.A. 1960/61 la Facoltà aveva caratteristiche unitarie anche sul piano didattico perché lo studente, qualsiasi fosse l'indirizzo scelto, doveva studiare discipline di tutti gli indirizzi. In tale modo l'attività professionale di ciascun ingegnere poteva essere esercitata in ambiti anche molto diversi da quello dell'indirizzo scelto. Poteva così accadere che la carriera di coloro che intraprendevano la carriera universitaria si svolgesse successivamente nel tempo in ambiti disciplinari molto diversi tra loro. Non meraviglia anche che Giuseppe Evangelisti e Giulio Supino siano stati tra i fondatori dell'Unione Matematica Italiana, oppure che Filippo Ciampolini desse lezioni private a titolo gratuito a studenti di tutte le discipline della Facoltà. Anche la gestione della Facoltà aveva caratteristiche unitarie. Poteva accadere che il Consiglio di Facoltà decidesse di privilegiare in tutte le discipline il metodo deduttivo, oppure che il figlio del Preside della Facoltà non potesse diventare professore di ruolo nella stessa Facoltà finché il padre non andava in pensione; anche la scelta dei professori di ogni singola disciplina era una decisione discussa e decisa nel Consiglio di Facoltà. Il Consiglio di Facoltà, costituito da tutti i docenti anche quando la Facoltà aveva ampliato molto il numero delle sue discipline dopo la riforma del 1961, era una realizzazione della democrazia diretta, che esisteva nell'antichità ad Atene<sup>9</sup>, dove soltanto i cittadini potevano votare dopo avere pubblicamente discusso i problemi all'ordine del giorno, mentre gli schiavi lavoravano senza avere diritto di votare. In realtà la partecipazione ai Consigli di Facoltà era, specialmente negli ultimi tempi, abbastanza limitata, e i problemi principali della Facoltà non sempre erano discussi in maniera sufficientemente approfondita. Lo straordinario sviluppo della tecnica negli ultimi sessanta anni e il correlato incremento dell'attività di ricerca in un ambito internazionale (sia nei più importanti congressi che nelle più prestigiose riviste) ha determinato un notevole aumento degli insegnamenti e dei corsi di laurea rendendoli sempre più specialistici e distinti tra loro, con una notevole accelerazione quando è stato introdotto il Sistema 3+2. Tali eventi hanno modificato profondamente le caratteristiche della Facoltà anche da un punto di vista didattico, rendendo quasi naturale il trasferimento ai Dipartimenti di competenze che invece erano precedentemente propri della Facoltà. Una riflessione su questo problema, pur molto importante, e sulle sue conseguenze, esula dalle finalità di questo volume.

*I curatori*

Bologna, 8 agosto 2019

---

<sup>9</sup> B. Constant, *La libertà degli antichi paragonata a quella dei moderni*, 1819.



# 1. CRONOLOGIA DELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## *Una Facoltà tra due Scuole*

**1875.** Il Regio Decreto del 1875 istituisce a Bologna il primo anno di una Scuola d'applicazione come parte integrante della Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. Una volta frequentato con profitto il primo anno, i futuri ingegneri possono completare gli studi nelle altre scuole regie d'applicazione del Regno. Per consentire di diplomare Ingegneri Civili anche a Bologna, viene costituito un consorzio fra il Comune, la Provincia, le Aziende Aldini e Valeriani e i Collegi Comelli e Bertocchi che si assume l'onere economico per attivare i due rimanenti anni di corso.

**1877.** Col regio decreto del 14 gennaio viene istituita nell'Università di Bologna ed annessa alla Facoltà di Scienze Matematiche la Scuola completa di Applicazione per gli ingegneri i cui corsi iniziano il 1° novembre del medesimo anno. La Scuola viene organizzata secondo il regolamento nazionale del 1876, relativo alle scuole di applicazione, e ha come sede l'antico convento soppresso di San Giovanni dei Celestini, vicino a Piazza Maggiore. Gli allievi devono frequentare inizialmente il primo biennio della Facoltà di Matematica dell'Università; superato l'esame conclusivo del primo biennio, i futuri ingegneri vengono ammessi al corso triennale della Scuola di Applicazione. La Scuola di Applicazione consente di conseguire il diploma di Ingegneria Civile o quello di Architetto.

*Tabella 1. Direttori della Scuola di Applicazione per Ingegneri.*

Cesare Razzaboni	1877-1893	Professore di Idraulica
Jacopo Benedetti	1893-1910	Professore di Macchine Termiche, Meccaniche e Agricole
Silvio Canevazzi	1910-1918	Professore di Meccanica Applicata alle Costruzioni
Luigi Donati	1918-1923	Professore di Fisica Tecnica e Professore Incaricato di Elettrotecnica
Attilio Muggia	1923-1927	Professore di Architettura Tecnica
Umberto Puppini	1927-1932	Professore di Idraulica
Giuseppe Sartori	1932-1935	Professore di Elettrotecnica

**1881.** Vengono indicati i seguenti Direttori di Gabinetti Scientifici: *Domenico Santagata* per la Chimica docimastica, *Luigi Bombicci* per la Mineralogia e geologia applicata ai materiali da costruzione, *Raffaele Faccioli* per gli Stili architettonici, *Pietro Riccardi* per la Geometria pratica, *Luigi Donati* per la Fisica tecnica, *Silvio*



*Canevazzi* per le Costruzioni, *Antonio Silvani* per la Meccanica applicata alle macchine, *Cesare Razzaboni* per l'Idraulica, *Jacopo Benedetti* per le Macchine, *Luigi Venturi* per i Materiali da costruzione ed elementi delle fabbriche.

**1894.** Vengono indicati i seguenti Direttori di Gabinetti Scientifici: *Jacopo Berretti* per le Macchine termiche, idrauliche ed agricole, *Luigi Venturi* per i Materiali di costruzioni ed elementi di fabbriche, *Silvio Canevazzi* per la Meccanica applicata alle costruzioni e per i ponti e le costruzioni idrauliche, *Luigi Donati* per la Fisica tecnica, *Francesco Cavani* per la Geometria pratica e la celerimensura, *Giulio Stabilini* per le Costruzioni stradali e ferroviarie, *Alfredo Cavazzi* per la Chimica Docimastica, *Giuseppe Berti* per l'Orto agrario.

**1906-1915.** Vengono indicati i seguenti Direttori di Gabinetti Scientifici: *Silvio Canevazzi* di Ponti e costruzioni idrauliche e di Meccanica applicata alle costruzioni, *Luigi Donati* di Fisica tecnica, *Francesco Cavani* di Geometria pratica e geodesia, *Alfredo Cavazzi* di Chimica docimastica, *Francesco Masi* di Meccanica applicata alle macchine, *Attilio Muggia* di Architettura tecnica, *Giovanni Cicali* di Macchine termiche, idrauliche ed agricole, *Vittorio Simonelli* di Geologia applicata, *Giuseppe Albenga* di Strade e ferrovie.

**1913.** Un regio decreto attribuisce alle Scuole di Applicazione la facoltà di conferire il diploma di Ingegnere – non più specificato di Ingegneria Civile – e quello di Architetto.

**1916.** Vengono indicati i seguenti Direttori di Gabinetti Scientifici: *Giuseppe Albenga* di Ponti e costruzioni idrauliche, di Meccanica applicata alle costruzioni e Statica grafica, *Lavoro Amaduzzi* di Fisica tecnica, *Francesco Cavani* di Geometria pratica e geodesia, *Mario Giacomo Levi* di Chimica docimastica, *Francesco Masi* di Meccanica applicata alle macchine, *Attilio Muggia* di Architettura tecnica, *Giovanni Cicali* di Macchine termiche, idrauliche ed agricole, *Vittorio Simonelli* di Geologia Applicata, *Armando Landini* di Costruzioni civili e rurali-fondazioni, *Umberto Puppini* di Idraulica, *Giuseppe Bellei* di Ingegneria sanitaria, *Francesco Balatroni* di Strade e ferrovie, *Giuseppe Sartori* di Elettrotecnica.

**1923.** Con la riforma Gentile il titolo di studio conferito dalle Scuole di Applicazione divenne una vera e propria laurea trasformando le Scuole in Facoltà Universitarie. La riforma Gentile formalizzò anche l'abilitazione all'esercizio della professione imponendo l'obbligo del superamento di un esame di Stato. La Scuola di Applicazione cambia la propria denominazione in Regia Scuola di Ingegneria. Vengono indicati i seguenti Direttori di Gabinetti Scientifici: *Giuseppe Albenga* di Ponti e di Scienza delle Costruzioni, *Francesco Balatroni* di Costruzioni stradali e ferroviarie, *Giuseppe Bellei* di Ingegneria sanitaria, *Giovanni Cicali* di Macchine termiche, idrauliche ed agricole, *Armando Landini* di Materiali da costruzione e costruzioni civili, *Mario Giacomo Levi*

di Chimica applicata, *Francesco Masi* di Meccanica applicata alle macchine, *Attilio Muggia* di Architettura tecnica, *Francesco Piola* di Fisica tecnica, *Umberto Puppini* di Idraulica e costruzioni idrauliche, *Giuseppe Sartori* di Elettrotecnica, *Vittorio Simonelli* di Geologia applicata.

**1926.** Viene promulgato un nuovo Statuto dell'Università di Bologna che introduce tra gli obiettivi della Scuola anche quello di impartire l'istruzione scientifica e tecnica necessaria per conseguire la laurea in Ingegneria Industriale assieme alle tradizionali in Ingegneria Civile e in Architettura.

**1928.** Vengono indicati i seguenti Direttori di Gabinetti Scientifici: *Francesco Balatroni* di Costruzioni stradali e ferroviarie, *Giuseppe Bellei* di Ingegneria sanitaria, *Odone Belluzzi* di Scienza delle costruzioni, *Giovanni Cicali* di Macchine termiche ed idrauliche, *Felice Corini* di Esercizio e materiale ferroviario, *Paolo Dore* di Geodesia e topografia, *Armando Landini* di Materiali da costruzioni, costruzioni civili ed industriali, *Attilio Muggia* di Architettura tecnica, *Maurizio Padoa* di Chimica applicata, *Aristide Prosciutto* di Meccanica applicata alle macchine, *Umberto Puppini* di Idraulica e costruzioni idrauliche, *Giuseppe Sartori* di Elettrotecnica, *Luigi Stabilini* di Ponti.

**1933.** La Scuola diviene Regio Istituto Superiore d'Ingegneria nel quale esistono i seguenti Gabinetti Scientifici: Architettura Tecnica diretto da *Attilio Muggia*, Chimica Applicata diretto da *Maurizio Padoa*, Costruzioni Idrauliche diretto da *Giulio Supino*, Costruzioni Stradali e Ferroviarie diretto da *Francesco Balatroni*, Economia delle Trasformazioni Fondiarie ad Estimo e Agronomia diretto da *Cesare Grinovero*, Elettrotecnica diretto da *Giuseppe Sartori*, Estimo e Rurale diretto da *Ulderigo Somma*, Fisica Tecnica diretto da *Emanuele Foà*, Idraulica diretto da *Umberto Puppini*, Ingegneria Sanitaria diretto da *Giuseppe Bellei*, Macchine Termiche ed Idrauliche diretto da *Giovanni Cicali*, Meccanica Applicata alle Macchine e Tecnologia Meccanica diretto da *Aristide Prosciutto*, Mineralogia e Geologia Applicata diretto da *Michele Gortani*, Scienza delle Costruzioni diretto da *Odone Belluzzi*, Tecnologia Chimico-Agraria diretto da *Giuseppe Mezzadri*, Geodesia e Topografia diretto da *Paolo Dore*.

**1935.** Gli Istituti Superiori di Agraria, di Chimica Industriale e di Ingegneria vengono trasformati in Facoltà universitarie. Nella Facoltà di Ingegneria il triennio di studi applicazione viene suddiviso in due sezioni che danno adito alle seguenti lauree: laurea in Ingegneria Civile (sottosezioni: Edile, Idraulica, Trasporti), laurea in Ingegneria Industriale (sottosezioni: Meccanica, Elettrotecnica). Il 28 ottobre del 1935 viene inaugurata la nuova sede, in viale Risorgimento 2, progettata dall'architetto Giuseppe Vaccaro nell'area dell'antica villa Casarini. Il nuovo edificio viene pensato per accogliere 300 allievi.

Tabella 2. *Presidi della Facoltà di Ingegneria.*

Giuseppe Sartori	1935-1937	Professore di Elettrotecnica
Umberto Puppini	1937-1945	Professore di Idraulica
Aristide Prosciutto	1945-1947	Professore di Meccanica Applicata alle Macchine
Paolo Dore	1947-1965	Professore di Topografia
Giulio Supino	1965-1968	Professore di Idraulica
Giovanni Cocchi	1968-1975	Professore di Idraulica
Franco Faraboschi	1975-1977	Professore di Principi di Ingegneria Chimica
Giorgio Folloni	1977-1980	Professore di Topografia
Leonardo Calandrino	1980-1983	Professore di Comunicazioni Elettriche
Leonardo Marchetti	1983-1989	Professore di Chimica organica
Enrico Lorenzini	1989-1995	Professore di Fisica Tecnica
Arrigo Pareschi	1995-2001	Professore di Impianti Industriali
Guido Masetti	2001-2007	Professore di Elettronica Applicata
Pier Paolo Diotallevi	2007-2012	Professore di Tecnica delle Costruzioni

**1936.** Vengono istituiti i seguenti Istituti: Architettura Tecnica diretto da *Giovanni Setti*, Chimica Applicata diretto da *Celestino Ficai*, Costruzioni Idrauliche diretto da *Giulio Supino*, Costruzioni Stradali e Ferroviarie diretto da *Francesco Balatroni*, Elettrotecnica diretto da *Stefano Basile* (direttore incaricato), Fisica Tecnica diretto da *Emanuele Foà*, Idraulica diretto da *Umberto Puppini*, Meccanica Applicata alle Macchine diretto da *Aristide Prosciutto*, Scienza delle Costruzioni diretto da *Odono Belluzzi*, Tecnologia Generale diretto da *Enrico Bugini*, Topografia e Geodesia diretto da *Paolo Dore*.

**1938.** A causa delle leggi razziali vengono cacciati dalla Facoltà di Ingegneria Emanuele Foà, professore di Fisica Tecnica, e Giulio Supino, professore di Costruzioni Idrauliche<sup>1</sup>.

**1940.** Viene attivata nella Facoltà di Ingegneria la sezione Chimica.

**1941.** Viene attivata nella Facoltà di Ingegneria la sezione Mineraria.

**1943.** L'8 settembre del 1943 l'edificio viene requisito dalle forze armate tedesche<sup>2</sup>. Le attività degli Istituti continuano nella sede centrale dell'Ateneo dove però non è possibile spostare i laboratori.

<sup>1</sup> D. Zanobetti, *Giulio Supino e Emanuele Foà*, in *La cattedra negata, dal giuramento di fedeltà al fascismo alle leggi razziali nell'Università di Bologna*, a cura di D. Mirri e S. Arieti, CLUEB, Bologna, 2002.

<sup>2</sup> *Ingegneria in guerra. La Facoltà di Ingegneria di Bologna dalla RSI alla Ricostruzione. 1943-1947*, a cura di R. Sasdelli (CLUEB, Bologna, 2007).

**1944.** Nel gennaio del 1944 la sede della Facoltà di Ingegneria diviene caserma della Guardia Nazionale Repubblicana.

**1945.** Il 21 aprile l'edificio viene occupato dai partigiani e poi trasformato in ospedale dalle forze alleate.

**1947.** In gennaio riprende l'attività didattica e scientifica nella vecchia sede.

**1956.** Viene istituito l'Istituto di Trasporti, diretto da Ernesto Stagni.

**1957.** In gennaio il Consiglio di Facoltà decide di costituire il Centro Calcoli e Servomeccanismi con una propria dotazione annua, sede apposita, e attrezzature scientifiche. La direzione viene affidata a Giuseppe Evangelisti.

**1960.** Nell'Anno Accademico 1960/61 viene data applicazione al D.P.R. 31 gennaio 1960 n. 53, integrato dal D.P.R. 28 agosto 1960 n. 1445, che riforma in maniera consistente l'articolazione degli studi di Ingegneria. Il biennio propedeutico viene portato nella Facoltà di Ingegneria, che così si fa carico dell'intera formazione, sia scientifica di base sia tecnica, prevista in cinque anni. Vengono abolite le due Sottosezioni della Sezione Industriale (Meccanica ed Elettrotecnica) e al loro posto vengono attivati i corsi di laurea in Ingegneria Meccanica, Ingegneria Elettrotecnica e Ingegneria Elettronica. Restano i corsi di laurea in Ingegneria Chimica e Ingegneria Mineraria e viene avviato con i primi due anni il corso di laurea in Ingegneria Nucleare. In conclusione, la Facoltà viene organizzata in sette corsi di laurea: Meccanica, Elettrotecnica, Chimica, Mineraria, Elettronica, Nucleare, Civile (suddivisa nelle tre Sezioni Edile, Idraulica e Trasporti).

**1963.** Quando Mòdoni diventa professore straordinario di Misure Elettriche nasce l'Istituto di Elettrotecnica Industriale con gli insegnamenti di Misure Elettriche, Impianti Elettrici e Tecnologie Elettriche, che facevano parte precedentemente dell'Istituto di Elettrotecnica.

**1965.** Viene istituito l'Istituto di Elettronica, diretto da Ercole De Castro. Entra a far parte dell'Istituto anche Gian Paolo Dore, professore di Misure Elettriche per gli Elettronici, con i suoi assistenti.

**1969.** Il Centro Calcoli e Servomeccanismi viene trasformato nel nuovo Istituto di Automatica sotto la direzione di Enzo Belardinelli. L'Istituto comprendeva ricercatori dei due settori Controlli Automatici e Informatica.

**1971.** Nasce l'Istituto di Elettrotecnica Industriale che comprende le Misure Elettriche per Elettrotecnici, gli Impianti Elettrici e le Tecnologie Elettriche.

**1980.** Entra in vigore il D.P.R. 382/80 che riguarda soprattutto il riordinamento della docenza universitaria con l'istituzione delle due fasce dei professori ordinari e associati e la sperimentazione organizzativa e didattica, comprendente in particolare la nuova figura del dottorato di ricerca e l'organizzazione dipartimentale. Viene altresì istituito il ruolo dei ricercatori universitari. Viene ristrutturata ed assegnata alla Facoltà la ex Scuola Sirani in via Saragozza.

**1982.** Il 30 novembre vengono istituiti dall'Ateneo di Bologna i primi venti dipartimenti, fra i quali quello di Elettronica, Informatica e Sistemistica (DEIS) e quello di Matematica con la conseguente disattivazione degli Istituti di Elettronica, di Automatica e di Matematica Applicata della Facoltà di Ingegneria. Sempre nella Facoltà di Ingegneria agli otto corsi di laurea si aggiungono nove corsi di dottorato.

**1987.** Nasce il DICASM, Dipartimento di Chimica Applicata e Scienza dei Materiali, sostituendo il preesistente "Istituto Chimico" fondato all'inizio del Novecento.

**1989.** il D.P.R. del 20 maggio 1989 riordina l'offerta didattica in tre settori: civile, dell'informazione e industriale, con quattordici corsi di laurea, di cui due intersettoriali (Ingegneria per l'Ambiente e Territorio, Ingegneria Gestionale), e raggruppa gli insegnamenti in una nuova tabella.

**1990.** La legge 341 del 1990 istituisce i Diplomi Universitari. Nello stesso anno i laboratori pesanti della Facoltà di Ingegneria di Bologna vengono trasferiti in via Terracini.

**1992.** Vengono attivati i nuovi corsi di diploma in: Ingegneria dell'Ambiente e delle Risorse (presso la sede di Bologna); Ingegneria delle Telecomunicazioni, Ingegneria Elettronica, Ingegneria Informatica e Automatica (presso la sede di Cesena); Ingegneria Meccanica, Ingegneria Aerospaziale (presso la sede di Forlì). Nella Facoltà di Bologna vengono attivati nuovi ulteriori corsi di laurea in: Ingegneria dell'Ambiente e del Territorio, Ingegneria dell'Automazione, Ingegneria Edile, Ingegneria Informatica (con due indirizzi: Sistemi ed Applicazioni Informatiche, Automatica e Sistemi di Automazione), Ingegneria delle Telecomunicazioni.

**1993.** Vengono attivati due corsi di laurea in Ingegneria Gestionale a partire dall'A.A. 1993/94, il primo presso la sede di Bologna e il secondo presso la sede di Reggio Emilia (quest'ultimo corso di laurea dall'A.A. 1998/99 confluisce nella Università di Modena-Reggio Emilia).

**1995.** Viene attivato a Cesena il corso di diploma in Ingegneria Biomedica. Nasce il DICMA, Dipartimento di Ingegneria chimica, mineraria e delle tecnologie ambientali dalla fusione del Dipartimento di Ingegneria chimica e di processo e dell'Istituto di Scienze Minerarie.

**1996.** Il Consiglio della Facoltà di Ingegneria propone un piano per la realizzazione di un secondo Polo didattico in via Terracini, dove già sono presenti i laboratori pesanti; il piano viene approvato dall'Ateneo e messo in esecuzione. Nasce il Dipartimento di Ingegneria elettrica (DIE) dall'unione degli Istituti di Elettrotecnica e di Elettrotecnica Industriale. Nasce il DISTART, Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento, del Territorio, dalla fusione di sette precedenti Istituti Universitari: Idraulica, Costruzioni Idrauliche, Scienza delle Costruzioni, Tecnica delle Costruzioni, Strade e Geotecnica, Topografia e Trasporti e da alcuni settori delle Scienze Geologiche.

**1999.** Viene attivato a Cesena il corso di laurea in Ingegneria Biomedica. Il Decreto Ministeriale 509 del 1999 riforma completamente l'ordinamento didattico dell'Università introducendo, in sostituzione dei singoli corsi di laurea e dei diplomi, il corso di laurea triennale a cui può seguire il corso di laurea specialistica biennale (il cosiddetto Sistema 3+2).

**2000.** In esecuzione del nuovo ordinamento secondo il D.M. 509/1999 vengono attivati a partire dall'A.A. 2000/01 i nuovi corsi di laurea (durata triennale) e di laurea specialistica (durata biennale) in serie secondo la riforma detta del "3+2", che subentrano ai corsi di diploma e ai corsi di laurea del vecchio ordinamento; viene anche istituito il corso di laurea specialistica europea in Ingegneria Edile-Architettura in cinque anni. I corsi di laurea triennali nella facoltà di Bologna furono undici: due nella classe Ingegneria civile e ambientale (Ingegneria Civile, Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio), cinque nella classe Ingegneria Industriale (Ingegneria Chimica, Ingegneria Elettrica, Ingegneria Energetica, Ingegneria Gestionale, Ingegneria Meccanica), quattro nella classe di Ingegneria dell'Informazione (Ingegneria dei Processi Gestionali, Ingegneria delle Telecomunicazioni, Ingegneria Elettronica, Ingegneria Informatica). A Forlì vengono attivati il corso di laurea in Ingegneria Meccanica e quello di Ingegneria Aerospaziale; a Cesena quello in Ingegneria Biomedica e quello in Ingegneria Elettronica per l'Energia e l'Informazione.

**2002.** Nell'A.A. 2002/03 si aggiunge a Bologna il corso di laurea triennale in Ingegneria dell'Automazione, anch'esso appartenente alla classe dell'Ingegneria dell'Informazione.

**2004.** In esecuzione del Decreto Ministeriale 509 del 1999 vengono attivati a Bologna, a partire dall'A.A. 2004/05, i seguenti corsi di laurea specialistica: Ingegneria Civile, delle Telecomunicazioni, Elettrica, Elettronica, Energetica, Gestionale, Informatica, per l'Ambiente e il Territorio, Meccanica. A Forlì vengono attivati i corsi di laurea specialistici in Ingegneria Meccanica e in Ingegneria Aerospaziale; a Cesena quello in Ingegneria Biomedica e quello in Ingegneria per l'Energia e l'informazione.

**2005.** Nell'A.A. 2005/06 si aggiunge il corso di laurea specialistico in Ingegneria dell'Automazione.

Viene completato, a fianco dei laboratori pesanti, il primo lotto del Polo di via Terracini, costituito da nuove aule e nuovi spazi per alcuni dipartimenti.

**2008.** Il corso di laurea triennale in Ingegneria delle Telecomunicazioni viene soppresso e introdotto in sostituzione un orientamento in Telecomunicazioni nel terzo anno della laurea specialistica in Elettronica, che prende il nome di laurea specialistica in Elettronica e Telecomunicazioni. Viene attivato il corso di laurea magistrale internazionale in Civil Engineering.

**2009.** Nell'A.A. 2009/10 viene attivata la laurea magistrale in Ingegneria Elettronica in sostituzione della laurea specialistica in Elettronica e attivato anche un percorso in lingua inglese.

**2012.** Il 12 ottobre si è concluso l'ultimo Consiglio della Facoltà di Ingegneria; alla Facoltà subentra la Scuola di Ingegneria e Architettura che riunisce la Facoltà di Ingegneria con sede a Bologna, la seconda Facoltà di Ingegneria e la Facoltà di Architettura con sedi rispettivamente a Forlì e a Cesena. Alla Scuola afferiscono i Dipartimenti di Architettura (DA), di Scienze dell'Informazione (DISI) che afferisce anche alla Scuola di Scienze, di Ingegneria civile, chimica, ambientale e dei materiali (DICAM), di Ingegneria dell'Energia elettrica e dell'Informazione "Guglielmo Marconi" (DEI), e di Ingegneria industriale (DIN). A Ravenna è presente la laurea in Ingegneria Edile e la laurea magistrale in Ingegneria dei Processi e dei Sistemi Edilizi. A Cesena sono presenti la laurea e la laurea magistrale in Biomedica, la laurea in Ingegneria Elettronica per l'Energia e l'Informazione, e la laurea magistrale in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni per l'Energia, la laurea magistrale in Ingegneria di Scienze Informatiche, la laurea magistrale in Architettura. A Forlì sono presenti la laurea in Ingegneria Aerospaziale e quella magistrale in Aerospace Engineering, la laurea e quella magistrale in Ingegneria Meccanica.

**2013.** Viene attivato il corso di laurea in Design del Prodotto Industriale.

**2016.** Viene attivato il corso di laurea magistrale in Advanced Design.

**2017.** Vengono attivate le lauree magistrali in Advanced Automotive Electronic Engineering, in Advanced Automotive Engineering e in Offshore Engineering.

*Tabella 3. Presidenti della Scuola di Architettura e Ingegneria.*

Pier Paolo Diotallevi	2012-2015	Professore di Tecnica delle Costruzioni
Ezio Mesini	2015-2018	Professore di Idrocarburi e fluidi del sottosuolo
Davide Moro (*) dall'1/11/2018 <i>Presidente della Scuola di Ingegneria</i>	2018	Professore di Macchine a fluido

**2018.** A partire dal 1° novembre, in seguito a modifiche statutarie, la Scuola di Ingegneria e Architettura viene disattivata e contestualmente attivata la Scuola di Ingegneria, a cui afferiscono i Dipartimenti di Ingegneria dell'Energia elettrica e dell'Informazione "Guglielmo Marconi" (DEI), di Ingegneria Industriale (DIN), di Informatica – Scienza e Ingegneria (DISI), di Matematica (MAT), di Fisica e Astronomia (DIFA) e di Scienze Aziendali (DiSA), mantenendo uno stretto collegamento con i dipartimenti di Ingegneria civile, chimica, ambientale e dei Materiali (DICAM) e di Architettura (DA), che tuttavia non afferiscono alla Scuola.

Viene attivato il corso di laurea (a carattere professionalizzante) in Ingegneria Meccatronica nell'ambito di un accordo quadro tra Università, Confindustria Emilia e alcuni Istituti tecnici superiori della provincia di Bologna.

**2019.** Viene attivato il corso di laurea magistrale in Artificial Intelligence.





## 2. GLI INSEGNAMENTI



## 2.1. ELETTROTECNICA E COMUNICAZIONI ELETTRICHE NELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA: DAL 1800 AL 1950

*Dino Zanobetti*

### 2.1.1. La nascita dell'Elettrotecnica

L'Elettrotecnica ha un preciso anno di nascita, il 1800, anno in cui Alessandro Volta, cinquantacinquenne professore di Fisica nell'Università di Pavia, inventa la pila, primo generatore permanente di corrente elettrica continua. Mi piace riportare l'incipit della lettera che egli scrisse in quel marzo a Joseph Banks, Presidente della Royal Society per informarlo e descriverla:

Après un long silence dont je ne chercherai pas à m'excuser, j'ai le plaisir de vous communiquer, Monsieur, et par votre moyen à la Société Royale, quelques résultats frappants auxquels je suis arrivé, en poursuivant mes expériences sur l'électricité, par le simple contact mutuel des métaux de différentes espèce, et même par celui des autres conducteurs, aussi différents entre eux...

e consigliarne ai giovani la lettura completa perché è un modello istruttivo di redazione scientifica ed un modello stilistico combinato di *bon ton* francese e di *understatement* britannico. Volta era cosciente dell'importanza del contenuto che quindi non si limita a rivelare localmente all'accademia lombarda ma vuole pervenga alla massima assise scientifica mondiale e Banks, dopo la lettura, è cauto. Era un uomo importante: ricco di famiglia, era stato educato prima a Harrow, poi a Eton, infine a Christian Church di Oxford, aveva cioè percorso tutto il *non plus ultra* della carriera scolastica dell'*establishment* britannico; era un appassionato botanico ed aveva estesamente viaggiato con James Cook alla scoperta dell'Australia e di tante altre isole dei mari del Sud, era già allora Presidente della Royal Society da 20 anni e continuerà ad esserlo per altri 20; vuole star sul sicuro, affida la lettera ad Anthony Carlisle, un medico e a Willian Nicholson, un chimico, perché verifichino ed i due, letto che Volta scrive che ha adoperato il rame ma che l'argento è ancora meglio, adoperano questo: monete di una corona del diametro di 41 mm. L'esperimento è completamente confermato, anzi i due, appassionati dal nuovo sperimento, passeranno alla storia realizzando la prima elettrolisi, quella dell'acqua e, nello stesso anno, Johann Wilhelm Ritter in Turingia realizzerà la prima galvanostegia (anche se questa priorità non è sicura) e c'è già chi pensa alla telegrafia, anche se di questa esiste già un'estesa rete ottica. Comunque l'elettricità, da curioso fenomeno, certo già studiato da eminenti scienziati ma, sin allora senza applicazioni utili, diventa tecnica, nasce pertanto l'elettrotecnica, scienza e tecnica delle applicazioni pratiche dell'elettricità, ma tutto avviene lentamente.

Come si sa, la pila di Volta subisce il grave inconveniente della polarizzazione (cioè sviluppo di idrogeno sull'elettrodo positivo che ostacola l'ulteriore riduzione di

esso) per cui, immediatamente dopo l'invenzione, inizia la ricerca di nuove pile con l'eliminazione o quanto meno la riduzione di tale fenomeno; lo sviluppo di nuove pile è lento, quella di John Daniell, la prima non polarizzante è del 1836, e prosegue per quasi tutto il secolo (in realtà lo sviluppo di nuove pile continua tutt'ora) ed è pertanto pure lento lo sviluppo delle loro applicazioni e quindi anche della telegrafia elettrica che si affianca a quella ottica e che la sostituisce, appunto lentamente, nel corso dei primi due terzi del secolo.

Nel frattempo nel 1820 Hans Christian Ørsted scopre l'interazione elettricità-magnetismo, nel 1831 Michael Faraday scopre le leggi dell'induzione elettromagnetica il che permette di realizzare venti anni dopo i primi generatori di corrente elettrica alternata utilizzando energia meccanica e quindi aprendo un mondo d'altre applicazioni, infine nel 1860 Antonio Pacinotti inventa una "macchinetta" e questa aggiunge alla pila un altro generatore di corrente continua.

L'elettricità, già scienza con cultori nobilissimi ma autodidatti, richiede ora, e per le sue applicazioni necessita, la formazione di tecnici ed occorre insegnarla nelle scuole d'ingegneria che sin allora formavano solo ingegneri civili. Qui ci proponiamo di raccontare come ciò si è fatto nella nostra Università con qualche ritardo rispetto a quanto avvenuto altrove.

Una cattedra di Fisica tecnologica e Meccanica sperimentale fu istituita nell'Università di Pisa nel 1839 a seguito d'una riforma voluta dalla illuminata amministrazione granducale ed era stata attribuita a Luigi Pacinotti (padre di Antonio) che vi si era trasferito da quella di Fisica sperimentale. Essa può considerarsi l'antesignana di tutte le cattedre d'Elettrotecnica.

### 2.1.2. I precedenti

A Bologna la Fisica sperimentale, così definendone costituzionalmente il carattere in contrapposizione a quello soprattutto teorico dello Studio, cioè dell'università, si insegnava già dal 1711 nell'Istituto delle Scienze fondato da Luigi Ferdinando Marsili nell'Accademia.

#### **INSEGNAMENTO DELLA FISICA SPERIMENTALE**

nell'Istituto delle Scienze dell'Accademia

(con qualche incertezza di date)

BECCARI Iacopo Bartolomeo, bolognese, nato nel 1682. Dal 1711 al 1734 quando fu trasferito alla prima cattedra di Chimica dell'Università. Gian Battista Beccaria (da non confondersi con Cesare) dedicò a lui le sue famose lettere sull'"elettricismo atmosferico".

GALEAZZI Gusmano, bolognese, anatomico, nato nel 1686. Dal 1734 al 1770. Maestro e poi suocero di Luigi Galvani.

BALBI Paolo Battista, bolognese, nato nel 1693. Dal 1770 al 1776, coadiuvato sino al 1772 da Veratti Giuseppe, autore di *Osservazioni fisico-mediche intorno alla elettricità*, 1748.

Con lo sdoppiamento dell'insegnamento si hanno altri lettori:

BASSI VERATTI Laura, bolognese nata nel 1711. Dal 1776 alla morte nel 1778.

CANTERZANI Sebastiano, bolognese, nato nel 1734. Dal 1776 alla destituzione con l'arrivo a Bologna delle truppe francesi nel 1796 ma riassunto nel 1800. I suoi studi riguardano soprattutto l'analisi matematica ma s'occupò anche di astronomia e partecipò al gruppo di studio che nel 1761 calcolò l'orbita di Venere.

MAGNANI G.N., dal 1778 al 1785.

ALDINI Giovanni, bolognese, nato nel 1762. Dal 1785 al 1786; nipote di Luigi Galvani, ne diffuse e volgarizzò le scoperte sull'elettricità animale. Si dedicò anche allo studio delle applicazioni mediche dell'elettricità e a problemi tecnici.

VERATTI Paolo, bolognese, figlio di Laura Bassi. Nel 1786.

CACCIANEMICI-PALCANI Luigi, bolognese, nato nel 1748. Dal 1788 al 1800, quando venne trasferito a Matematica applicata all'Università.

Dal 1796, con l'occupazione francese, l'insegnamento della Fisica prosegue nella Università nella quale l'Istituto delle Scienze viene incorporato nel 1803.

### INSEGNAMENTO DELLA FISICA A BOLOGNA

nell'Università unificata con l'Istituto delle Scienze

<i>Fisica generale</i>		<i>Fisica sperimentale</i>	
CANTERZANI Sebastiano	1803-1808	ALDINI Giovanni	1803-1808
LONGANESI Stefano	1808-1811	VERATTI Paolo	1808
SAVIOLI G.B.	1811-1814	BACELLI Liberato	1808-1815

Esso continua poi dopo la Restaurazione nel 1815 nell'*Archigymnasium Pontificium Bononiensis*.

### 2.1.3. L'abilitazione degli ingegneri a Bologna all'inizio dell'Ottocento

Esaminiamo come a quell'epoca si diventava ingegneri a Bologna. Per questo esame mi avvarò del lavoro pregevolissimo che la collega Maria Pia Torricelli ha svolto sull'intero patrimonio librario antico della nostra Scuola.

Già una formalizzazione del livello di preparazione delle funzioni degli "ingegneri civili ovvero periti" risulta tentata a Bologna da Gabriello Manfredi, fratello di Eustachio, docente dell'Università e dell'Istituto delle Scienze, nel 1744. Dei "periti" si distinguevano allora varie classi ed un documento databile tra la fine di quel

secolo e l'inizio del successivo ne distingue quattro e cioè Agrimensori, Agricoltori, Architetti, Idraulici; per tutti è sottolineata la necessità d'un inscindibile abbinamento tra studi teorici ed esperienza tecnico-pratica: per i periti delle acque e gli architetti oltre a "versata" conoscenza di aritmetica e geometria, richiesta anche agli altri, era richiesta buona conoscenza dell'idrometria, della meccanica, dell'architettura e della prospettiva.

L'autorizzazione all'esercizio della professione richiedeva l'esame da parte di una commissione costituita dal Gonfaloniere della città, dal Presidente ed alcuni amministratori dell'Istituto delle Scienze, dal professore di Geometria pratica dell'Università e da tre periti estratti a sorte tra i più vecchi ed accreditati. A questa dovevano presentarsi gli attestati di frequenza ai corsi teorici tenuti da un qualunque professore dell'Università o dell'Istituto delle Scienze, l'attestato di svolgimento della pratica geometrica sotto il professore della materia e l'attestato di tirocinio presso un perito già confermato. Questa dimostrazione di requisiti tecnici doveva essere completata da una soddisfacente di costumatezza e buona condotta.

I voti dei commissari esaminatori erano segreti e, se in maggioranza favorevoli, il candidato ne riceveva un attestato positivo; questo doveva essere presentato alla suprema autorità locale che, sotto il governo pontificio era il Cardinal Legato, e questa poteva autorizzare l'ammissione tra i Pubblici Periti. Questa ammissione era l'abilitazione all'esercizio della libera professione per la quale già dall'anno 1744 esisteva un tariffario e così già intorno alla metà del secolo decimo ottavo il Governo Bolognese sembra aver avviato un inquadramento normativo della professione d'ingegnere civile.

Il passaggio dal Governo pontificio a quello repubblicano ed una legge di questo del 1802 modificò la normativa rendendo obbligatorio, ai fini dell'esercizio della «professione d'Architetto civile, d'Ingegnere, d'Idraulico e d'Agrimensore», il conseguimento d'una laurea e comportando alcune varianti nella formazione della Commissione esaminatrice nella quale sostituì al Gonfaloniere ed all'Istituto delle Scienze la Municipalità ed al Cardinale legato il Cittadino prefetto. «Il corso delle istituzioni fondamentali fatto ne' Licei e ne' Ginnasi e simili stabilimenti valeva pel conseguimento de' Gradi Accademici come se fosse fatto in una Università», due anni dopo, nel 1804, fu precisato che tali istituzioni fondamentali per gli ingegneri-architetti erano: Eloquenza italiana e latina, Lingua e letteratura greca, Analisi delle idee, Elementi di geometria e d'algebra, Principi del disegno. Ancora due anni dopo, nel 1806 dopo la proclamazione del Regno d'Italia, fu redatta una legislazione organica che sancì una nuova classificazione degli indirizzi professionali dalla quale risultò per la prima volta individuata la professione d'Ingegnere civile come autonoma assumendo un ruolo superiore ed inclusivo delle competenze di architetti e periti:

Gli Architetti civili dirigono le costruzioni delle fabbriche secondo i principi dell'architettura civile e stimano tanto gli edifizî quanto i materiali in qualunque modo appartenenti ai medesimi.

I Periti agrimensori esercitano tutte le operazioni appartenenti alla geodesia, alle misure superficiali e cubiche, alle consegne e riconsegne, ai bilanci ad esse relative ed alla stima dei terreni.

Gl'Ingegneri civili abbracciano negli oggetti delle loro operazioni quanto attiene agli Architetti civili ed ai Periti agrimensori ed inoltre tutti quelli che riguardano la scienza delle acque.

Notevole l'introduzione dell'obbligo da parte del candidato di dimostrare una proprietà a rendita annua netta di 700 lire, proprietà che rimaneva ipotecata a favore di chiunque potesse avere dei diritti d'indennizzazione dipendenti dall'esercizio della professione.

Sin qui un riassunto dal più vasto lavoro della Torricelli.

Le cose rimasero pressoché inalterate sino a che nel 1823 la Segreteria di Stato del ripristinato Governo pontificio, per evitare «una folla di abusivi esercenti che usurpava il titolo», pubblicò un nuovo Regolamento per l'abilitazione alle professioni tecniche e, per quella di Ingegnere civile, fissò il curriculum dell'intero *Corsus Philosophico-Mathematicus*, dell'*Archigimnasium* che, nell'annuario dell'Anno scolastico 1828/29, il primo del quale disponiamo, era:

<b><i>Distinctio</i></b>	
<b><i>Corsus Philosophico-Mathematici</i></b>	
<b>Anno 1</b>	
1. Logica, et Metaphysica	Aloisius Tagliavini
2. Elementa Algebrae et Geometriae	Aloisius Casinelli
<b>Anno 2</b>	
1. Ethica	Joseph Colliva
2. Physica	Franciscus Orioli
3. Introductio ad Calculum	Joannes Baptista Lapi
<b>Anno 3</b>	
1. Calculus Sublimis	Joannes Baptista Magistrini
2. Mechanica et Idraulica	Silvester Gherardi
3. Optica et Astronomia	Petrus Caturegli
<b>Anno 4</b>	
1. Mechanica et Idraulica	Silvester Gherardi
2. Optica et Astronomia	Petrus Caturegli
<b>Anni 5 - 6 - 7</b>	
Tirocinio presso lo studio di un ingegnere civile già approvato.	

Dopo aver notato che tutti i professori sono personalità di tutto rispetto, limitiamoci a considerare la Fisica entro la quale, naturalmente, s'insegnava l'elettricità e notiamo che per questa materia, diversamente che per altre, non sono previsti per quell'anno *Magistri a Repetitionibus*, infatti Silvestro Gherardi che l'Orioli nel 1822



si era aggregato come ripetitore di Fisica, e sul quale ritorneremo, dal 1827/28 era stato chiamato a ricoprire la cattedra di Meccanica e idraulica lasciando il compito di ripetitore a Fisica.

Gli insegnanti di Fisica in questo periodo pontificio furono:

ORIOLE Francesco	1815 - destituito nel 1830
GHERARDI Silvestro	1832 - destituito nel 1848
GRANDI Giacomo (incaricato)	1850-51
DELLA CASA Lorenzo	1851-59 - confermato successivamente

Nell'insegnamento della Fisica avrebbe dovuto essere compreso naturalmente quello dell'elettricità ma per saper cosa fosse dobbiamo riportarci ai curriculum e alle pubblicazioni.

L'Orioli era nato nel 1783 a Vallerano di Viterbo ed era divenuto professore a Bologna nel 1815 a 32 anni. Nel 1830 partecipò con gli allievi all'insurrezione delle Romagne; fu eletto membro del governo provvisorio di Bologna che fu sciolto in seguito all'intervento militare dell'Austria. Si mise in salvo ma naturalmente fu destituito dalla cattedra.

Se volessimo sapere ancora di lui dovremmo seguirlo di terra in terra: fu professore di Archeologia alla Sorbona, di Psicologia a Bruxelles, di Fisica nell'università di Corfù. Quando il nuovo papa, Pio IX, nel 1846, concesse l'amnistia, non tornò a Bologna ma andò a Roma, dove tenne la cattedra di Archeologia. Nel 1849 fu eletto deputato al parlamento della Repubblica Romana, ma fu poi nominato Consigliere di Stato. I suoi interessi furono multiformi e le sue cognizioni infinite; enorme la sua produzione scritta in molti campi ma, in materia di religione e di politica non ebbe, come si vede, un comportamento lineare. Nulla sappiamo del suo insegnamento elettrotecnico.

#### 2.1.4. L'inizio dell'insegnamento dell'Elettricità tecnica

A ricoprire la sua cattedra abbandonata, a partire dal 1832/33, fu trasferito da quella di Meccanica ed agraria il suo già assistente Silvestro Gherardi del quale sappiamo tutto grazie al nostro collega Giorgio Dragoni (che ringrazio anche per altre informazioni) ed egli è il primo che dette importanza alla nuova tecnica.

Era nato a Lugo di Romagna nel 1802; appena scelto come ripetitore di Fisica nel 1822 si era segnalato per la traduzione e pubblicazione a Bologna nel 1824 del *Manuel d'électricité dynamique ou traité sur l'action mutuelle des conducteurs électriques ou des aimans, et sur une nouvelle théorie du magnetisme, pour faire suite à tous les Traités de Physique élémentaire* di Jean-Firmin Demonferrand dell'anno precedente, opera pregevole di vita lunghissima, ed aveva iniziato una lunga serie di pubblicazioni che ebbero risonanza internazionale ed anche lodi da parte dell'Ampère che prese in seria considerazione le sue osservazioni anche nella sua corrispondenza col Faraday.

Buon patriota, partecipò alla rivoluzione del febbraio 1831 come colonnello comandante del battaglione universitario bolognese ma per quei fatti non subì ritorsio-

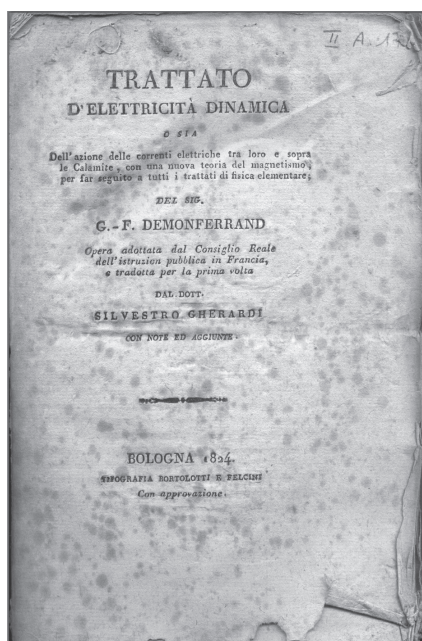


Figura 1. Jean-Firmin Demonferrand, "Trattato d'eletricità dinamica", traduzione di Silvestro Gherardi, Bologna 1824.

ni. Successe all'Orioli anche nella direzione del Gabinetto di fisica, uno dei più ricchi ed il più compiuto per la storia della scienza e ne curò riorganizzazione, accrescimento e catalogo dalle origini. Nel 1840 coordinò esperienze elettrofisiologiche che portarono chiarezza nel dibattito ricevendo le lodi oltre che dell'Orioli anche del Melloni e del Matteucci e tanti altri.

Alla fine del 1847, nel clima politico favorevole alle riforme costituzionali seguito all'ascesa al soglio pontificio di Pio IX, accettò il grado di maggiore della guardia civica di Bologna e, nell'aprile 1848, divenne di nuovo comandante del battaglione universitario. Dopo la fuga di Pio IX a Gaeta, fu eletto deputato all'Assemblea costituente che decretò la decadenza del governo temporale e la costituzione della Repubblica Romana, nel cui governo fu sottosegretario e poi ministro del dicastero della Pubblica Istruzione. Con la Restaurazione fu destituito dall'insegnamento, si trasferì a Genova dove insegnò Fisica e

Chimica nella Regia Scuola di Marina e poi nel 57 a Torino dove ebbe l'incarico di Fisica sperimentale in quella Università. Finalmente dopo l'Unità d'Italia ritornò all'Università di Bologna che lasciò nel 1862 per divenire Preside dell'Istituto tecnico di Bologna e nel 1866 Preside dell'Istituto tecnico di Firenze.

Partecipò ancora alla vita politica come deputato al Parlamento per il collegio di Lugo dal 1860 al 1865.

La poliedrica attività del Gherardi si esercitò anche, e con successo, nel settore della fisica applicata con misure sperimentali sul magnetismo terrestre e su quello di numerosi materiali. Realizzò strumenti scientifici: introdusse perfezionamenti al galvanometro descrivendoli sul "Bollettino Universale di Scienze, Lettere, ed Arti" con *Osservazioni sopra un nuovo galvanometro sensibilissimo del signor cav. L. Nobili*, realizzò un apparato per illustrare tutte le esperienze magneto-elettriche nel 1833; la calamita elettrica a moto rotatorio per le azioni chimiche di cui presentò un modello a Bologna nel 1834; un suo galvanometro moltiplicatore presentato nel 1835; un igrometro ad assorbimento che chiamò per la sua efficienza igro-moltiplicatore (presentato sugli *Annali di fisica, chimica e scienze affini*, nel 1850); sviluppò, inoltre, con notevole fantasia alcune fasciose idee per costruire macchine motrici e un telegrafo magnetico.

Il Gherardi occupa anche un posto di rilievo tra gli storici della scienza per i suoi studi inerenti la storia della fisica, l'accurata e documentata pubblicazione delle *Opere* del Galvani e per la raccolta dei manoscritti e degli strumenti di Alessandro Volta. Morì a Firenze nel luglio 1879.

La sua destituzione lasciava scoperta la cattedra di Fisica, che troviamo ancora scoperta nell'annuario 1850/51 e affidata all'assistente Giacomo Grandi. Il programma di quell'anno indica l'adozione del *Traité élémentaire de physique* di César-Mansuète Despretz, professore di Fisica alla Sorbona dal 1837.

Finalmente nell'annuario nel 1851/52 la cattedra viene assegnata a Lorenzo Della Casa, che adotta come testi gli *Éléments de physique expérimentale et de météorologie* (1827) di Claude-Servais-Mathias Pouillet, professore all'École Polytechnique e all'Università di Parigi ed il *Traité élémentaire de physique expérimentale et appliquée et de météorologie; suivi d'un recueil de 103 problèmes avec solutions: illustré de 773 belles gravures à l'usage des établissements d'instruction, des aspirants aux grades des facultés* (1851) di Adolphe Ganot riedito continuamente sino al 1931 e sul quale anche Emilio Segre racconta di aver studiato.

Il Della Casa rimase in cattedra sino all'ultimo anno dell'Università pontificia e mantenne la cattedra nell'Università italiana sino al 1869/70.

### 2.1.5. L'abilitazione degli ingegneri a Bologna segue i tempi

Nel primo anno (1859/60) dell'Università italiana, un decreto del Governatore generale delle Romagne stabiliva che il corso di studi per conseguire la laurea dottorale e la libera pratica professionale di ingegnere nella Facoltà di Matematica fosse il seguente:

<b>CORSO DEGLI STUDI PER LA PROFESSIONE D'INGEGNERE</b>	
<b>Anno primo</b>	
Storia naturale	Gian Giuseppe Bianconi
Fisica sperimentale	Lorenzo Della Casa
Architettura civile	Fortunato Lodi (Facoltà Belle Arti)
Introduzione al calcolo	Sante Ramenghi
	(Esame di passaggio)
<b>Anno secondo</b>	
Meccanica ed Idraulica	P. Domenico Chelini
Ottica ed Astronomia	Lorenzo Respighi
Calcolo sublime	Antonio Saporetti
Agronomia teorico-pratica	Luigi Francesco Botter
	(Esame di Baccellierato)
<b>Anno terzo</b>	
Meccanica ed Idraulica	P. Domenico Chelini
Ottica ed Astronomia	Lorenzo Respighi
Istituzioni civili	Emilio Giusti
Agronomia teorico-pratica	Luigi Francesco Botter
	(Esame di Licenza)

**Anno quarto**

Pratica nello studio di un ingegnere approvato

Economia pubblica

Angelo Mariscotti

Agronomia teorico-pratica

Luigi Francesco Botter

(Esame di Laurea)

**Anno quinto**

Pratica nello studio di un ingegnere approvato

Pratica nello studio di un architetto o idraulico approvato

Agronomia teorico-pratica

Luigi Francesco Botter

(Esame di libera pratica)

Intanto si estendeva a tutta l'Italia la legge Casati e cioè il Regio Decreto legislativo 13 novembre 1859 n. 3725 del Regno di Sardegna che, nei suoi articoli 53 e 55, creava una *Regia scuola di applicazione* per la formazione degli ingegneri in ognuna delle regioni del regno (in pratica solo Torino e Milano) cui si accedeva dopo aver frequentato il biennio della facoltà di matematica.

La durata dei corsi ed i programmi di tali scuole era rimandata a regolamenti delle singole scuole; in realtà poi nel Regno d'Italia queste scuole sorgeranno senza ordine e tenendo conto di quelle che esistevano già anche da più tempo come quella di Napoli del 1811 e di Roma del 1817.

Il 14 settembre 1862 uscì un Regio Decreto di approvazione del Regolamento universitario: per la Facoltà di Scienze esso istituiva quattro corsi di laurea distinti: Scienze matematiche pure, Scienze fisico-matematiche, Scienze fisico-chimiche, Storia naturale.

I primi tre anni dei due primi corsi erano:

**Per la laurea  
in Scienze matematiche pure**

Algebra complementare  
Geometria analitica  
Chimica inorganica  
Disegno

Calcolo differenziale  
Geometria descrittiva  
Disegno

Meccanica razionale  
Geodesia teoretica

**Per la laurea  
in Scienze fisico-matematiche**

**Anno 1°**

Algebra complementare  
Geometria analitica  
Fisica  
Esercizi di chimica inorganica

**Anno 2°**

Fisica  
Chimica organica  
Esercizi di chimica organica

**Anno 3°**

Meccanica razionale  
Analisi e geometria superiore

Geometria descrittiva  
Disegno  
(Esame di licenza)

Mineralogia e geologia  
Esercizi pratici di fisica  
(Esame di licenza)

E l'art. 18 stabiliva che l'attestato di licenza per le scienze matematiche dava adito alle scuole di applicazione per ingegneri ed alle pratiche per ottenere il diploma di ingegnere "secondo le leggi vigenti nelle varie province del Regno". Pertanto il 1° novembre 1862 un decreto del Ministero della Pubblica istruzione aggiungeva che gli studenti dell'Università di Bologna che avessero superato dopo questi tre primi anni l'esame di licenza potevano essere ammessi ad un:

**Corso (biennale) Pratico per gli Ingegneri Civili e Architetti**

non previsto dall'Ordinamento generale universitario, con programma identico in entrambi gli:

**Anni 4° e 5°**

Agronomia teorico-pratica  
Meccanica applicata  
Mineralogia (successivamente limitata al 1° anno)  
Geologia (successivamente limitata al 2° anno)  
Pratica nello studio di un Ingegnere  
(Esame di Diploma di libero esercizio della professione d'ingegnere civile ed architetto)

Una modifica a tale ordinamento venne introdotta dal Regio Decreto 5 settembre 1865: esso stabiliva che coloro che dopo due anni del corso universitario intendevano accedere alle Scuole Superiori d'Applicazione potevano attendere alla Fisica nel 1° e 2° anno di corso sostenendone l'esame alla fine del secondo.

Ma l'ordinamento a Bologna proseguiva con la sola variante che dall'anno 1869/70 non era più richiesta la Pratica presso uno studio di Ingegnere ma si introduceva in entrambi gli anni un corso di Geodesia pratica.

Nel luglio 1870 morì il Della Casa cui successe Emilio Villari (Napoli 1836-1904), autore di ricerche su elettricità e magnetismo, in particolare sulla scarica nei gas e sui raggi X. Questi nel 1872 prese come assistente Augusto Righi che nel 1889 gli succederà.

Nel 1874/75 il Corso per gli Aspiranti al Diploma di Libero Esercizio d'Ingegnere ed Architetto veniva rinforzato con:

- Agraria
- Meccanica applicata
- Costruzioni
- Architettura

ma in quello stesso anno i Corsi per le matematiche perdono il quarto anno per vacanza degli insegnamenti relativi per cui tali Corsi non possono più rilasciare la laurea. Vedremo la reazione del Rettore a questo insulto all'Università cui si aggiunse l'anno dopo quello di un Regio Decreto del 26 ottobre 1875 n. 2746 (Serie 2°) che, prendendo in esame il Corso per ingegneri e:

considerando che tale corso pratico (come anche quello che si teneva a Pisa) era incompleto ed insufficiente a fornire le cognizioni necessarie per formare veri e propri ingegneri di fronte allo stato attuale della scienza ed a quanto si richiedeva per il conseguimento di tali titoli nelle scuole di applicazione del Regno

sopprimeva tale corso ed istituiva dopo solo i primi due anni di scienze matematiche e fisiche un primo anno di studi di Scuola d'applicazione per gli ingegneri ed architetti quale stabilito dal Regio decreto 8 ottobre 1876 (n. 3434 Serie 2°) che aveva istituito le "Regie scuole d'applicazione per ingegneri" col fine di «dare l'istruzione scientifica e tecnica necessaria a conseguire il diploma d'Ingegnere civile e quello di Architetto».

I successivi secondo e terzo anno avrebbero dovuto essere svolti in una delle Scuole d'applicazione già istituite. La limitazione al solo primo anno si seppe essere giustificata da motivi finanziari (è da ricordare la situazione economica grave del paese dopo le guerre risorgimentali, con aumento del debito pubblico e l'emana-zione da parte dei governi di destra di leggi gravose, terribile di conseguenze quella che aveva istituito la tassa sul macinato inasprita proprio in quegli anni).

Così, nell'anno 1875/76 si ha:

**Distribuzione degli Studi  
per gli aspiranti alla Licenza nelle Scienze Matematiche e Fisiche  
e Primo anno della Scuola di applicazione**

**1° anno**

Analisi algebrica  
Geometria analitica  
Geometria proiettiva e descrittiva (1° semestre)  
Disegno di geometria proiettiva e descrittiva  
Disegno d'ornato e d'architettura elementare

**2° anno**

Analisi infinitesimale  
Geometria proiettiva e descrittiva  
Fisica  
Chimica  
Disegno di geometria proiettiva e descrittiva  
Disegno d'ornato e d'architettura elementare

**1° anno di Scuola applicazione**

Geodesia teoretica (con esercizi)  
Meccanica razionale (con esercizi)  
Statica grafica con disegno  
Applicazioni delle geometria descrittiva con disegno  
Fisica  
Chimica docimastica  
Esercizi di chimica

A questa doppia menomazione della Matematica e dell'Ingegneria la città di Bologna si offese gravemente. Nell'inaugurare l'anno accademico 1876/77 il Rettore Luigi Calori, anatomico, lancia al tempo stesso un accorato grido di dolore, una protesta indignata ed un'invettiva contro nemici occulti.

Ma questa solennità che tanto s'allegria e conforta a ben cominciare e proseguire, tacque, or fa un anno, e tacque per un fatto che oppressò cotesto Ateneo, anzi la Città tutta e la Provincia, anzi l'Emilia, anzi l'Italia, da quelli in fuori che forse ne furono autori, e che in cuor loro ne gioirono vedendo poter crescere della nostra ruina.

E la cagione del grave fatto fu, ben lo sapete, o Signori, il colpo mortale dato alle matematiche in questa Università. Già dalla lunga erasi con artificial maestria ordinato il loro scadimento, e veniva con pié di piombo ed in silenzio condotto ma un punto che paresse dover essere come a dire necessità il darlo; ed eccoti chi nel passato anno assumevano il micidiale ufficio, e così percotevano con più audacia, a dir vero, che considerazione, sperando che potesse essergli di leggeri condonato il mal fatto per addurre ch'è faceva che, siccome la Facoltà matematica non era completa ed aveva meno troppi insegnamenti ed il bilancio della Università non era diffaltato niente, né era lecito aumentare, veniva tolto al postutto poter reintegrare e sostenere la detta Facoltà. Le quali ragioni son di quelle che paiono e non sono. Imperocché quando ci diemmo all'Italia ed il Parlamento accettava l'Università tal quale ell'era, e dicevala indi a poco di primo ordine, come sempre fu, noi avevamo una Facoltà matematica che conferiva la Laurea e produceva buoni Ingegneri pratici ne' quali furono riconosciuti i medesimi diritti che avevano gli Ingegneri allevati ed abilitati in altre Università ed Istituti del Regno. Ben è vero che mancava qualcosa, ma il mancamento non era tale che fosse malagevole togliere, e che togliendolo richiedesse molta spesa. E il Proposto della Pubblica istruzione avrebbe dovuto farlo, essendo obbligo suo, non solo il conservare e mantenere, ma eziandio il migliorare e perfezionare. Né si produca che ciò non fu chiesto; che sì fu. Ma che avvenne? Udite:

Quando per ragioni a tutti ben note rimasero vuote le cattedre di Astronomia, di Geometria superiore, di Meccanica applicata e di Idraulica, Proposti della Pubblica Istruzione non vi pensarono punto, e pregandoli noi che provvedessero, scusaronsi dicendo non esserci soggetti idonei. Non ci sono soggetti idonei! Ah si, perché vi siete chiodato nella testa che buon insegnante tanto valga quanto celebrità.

Ma le ragioni ed i rammarichi erano niente: il colpo era dato, e la vittima era a terra. Non più corso di ingegneria pratica, non più laurea matematica e per conseguenza non più Studio generale od Università. Non è d'uopo dire quanta fosse l'indignazione per cotanta diffalta e come tutti protestassero, e come Municipio e Provincia all'atto indegno fortemente repugnassero e richiamassero. E come il nobile esempio fosse imitato da' Consigli Municipali e Provinciali dell'Emilia. [...] Eravam caduti, e chi avrebbe potuto rilevarci e suscitarcì, rivolgeva gli occhi da noi, e noi più addentro entravamo in un detestabil nulla.

In realtà la reazione di Bologna fu all'altezza della sua tradizione ed onorabilità: rapidamente si unirono a costituire un Consorzio della durata di trenta anni il Comune, la Provincia, le Aziende Aldini e Valeriani (nate per i lasciti di Giovanni Aldini, 1834 e Luigi Valeriani, 1828) ed i collegi Comelli e Bertocchi (fondati rispettivamente da

Innocenzo Comelli nel 1663 e Domenico Bertocchi nel 1852 e a tutt'oggi, sebbene diversamente, attivi) per provvedere all'impianto ed al corredo per completare la Scuola d'Applicazione per Ingegneri di secondo e terzo anno, per cui già per il successivo 1876/77 fu costituito il secondo anno.

E il 14 gennaio 1877 due regi decreti legalizzarono tale situazione:

Il primo, n. 3647 (Serie 2°), approvava lo statuto del Consorzio<sup>1</sup> attribuendogli i lavori di adattamento dei locali, l'acquisto e la somministrazione dei mobili e del materiale didattico, fissando a trenta anni il finanziamento da corrispondersi dal consorzio per il mantenimento del 2° e 3° anno della Scuola d'Applicazione.

Il secondo, n. 3648 (Serie 2°) istituiva a partire dal 1877/78 una completa "Scuola d'Applicazione per Ingegneri annessa alla Facoltà di scienze fisiche, matematiche e naturali", Direttore Cesare Razzaboni.

Il Rettore Luigi Calori nell'aprire l'anno accademico 1877/78 con una "Relazione delle cose universitarie più notabili accadute nell'anno 1876-77" poté riferire:

Nel passato anno accademico accaddero cose di grande momento per noi, cioè utili e decorose alla Università, precipua delle quali si è la istituzione della Scuola Pratica degli ingegneri civili. L'ultima volta che io ebbi l'onore di parlare in questo luogo, diceva che n'eravamo in isperanza, ma ora, vinte tutte le difficoltà, ne siamo in pieno possesso. Di che ha merito principalmente la carità patria onde il Bolognese riguarda la sua terra, dalla quale carità ha saldissimo e verace principio lo studio e l'amor di nazione.

Occorre dire che in un processo di tempo il Governo arrecò a più riprese qualche aumento al carico che lo Stato sosteneva per la Scuola finché nel 1897 con una nuova convenzione lo Stato assunse a suo carico totale e senza limiti di tempo il mantenimento della Scuola sciogliendo il Consorzio del 1877, cui comunque rimane l'onore di averne determinato l'istituzione. E l'interesse del Bolognese per la sua Scuola per ingegneri rimase costante: nel 1925 il Comune le deliberò una sovvenzione di 50.000 lire per un periodo di 25 anni «a titolo di contributo al fine di concorrere al suo miglioramento, per accrescerne il lustro ed il decoro, e perché possa conseguire una efficienza scientifica e didattica maggiore di quella che essa avrebbe assicurata col semplice contributo governativo» e la Provincia vi aggiunse del suo 15.000 lire sempre per la stessa durata.

Il decreto del gennaio 1877 fissava gli insegnamenti per la:

**Scuola d'Applicazione per ingegneri  
annessa alla Facoltà di scienze fisiche, matematiche e naturali**

**Primo anno**

Meccanica razionale, con esercizi ore/settimana	4,5
Geodesia teoretica, con esercizi	4,5

---

<sup>1</sup> Il Comune 50.000 lire, la Provincia 25.000, l'Azienda Aldini 2.000, i colleghi Comelli e Bertocchi ognuno 1.500, l'Azienda Valeriani strumentazione per i laboratori, in totale circa 80.000 lire, che, a quell'epoca di unione monetaria latina, corrispondevano a circa 23 kg di oro. Ossia più di mezzo milione di euro attuali (febbraio 2016).



Statica grafica, con disegno	7
Applicazioni di geometria descrittiva, con disegno	8
Chimica docimastica, con manipolazioni	4
Mineralogia applicata (semestrale)	2
Geologia applicata (semestrale)	2

### Secondo anno

Geometria pratica	3
Fisica tecnica, con esercizi	4
Meccanica applicata alle macchine, con esercizi e disegno	7
Materie giuridiche	2
Meccanica applicata alle costruzioni, con esercizi e disegno	12
Economia ed estimo rurale	3
Mineralogia applicata	2
Geologia applicata	2
Disegno topografico	3

### Terzo anno

Idraulica, con esercizi	4
Macchine termiche, idrauliche ed agricole, con disegno	7
Materiali da costruzione	3
Architettura tecnica, con progetti	8
Ponti e costruzioni idrauliche, con disegno	11
Strade ordinarie, con disegno	5
Strade ferrate, con disegno	4

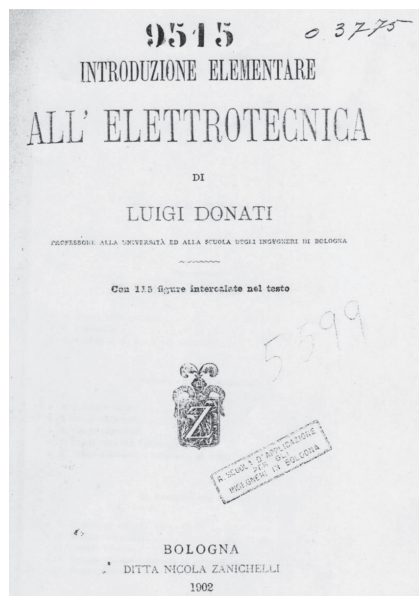


Figura 2. Luigi Donati, "Introduzione elementare all'elettrotecnica", Bologna 1902.

La Fisica tecnica era insegnata nel secondo anno da Luigi Donati, nato a Fossombrone nel 1846, professore straordinario e poi dal 1887 ordinario, e non risulta che per i primi dieci anni esistesse alcun assistente; il programma era vastissimo e dentro di esso, al quale erano dedicate solo 3 ore di lezioni ed una di esercitazioni, alla parte elettrica rimaneva certo ben poco spazio. Gli argomenti trattati erano:

- Costanti delle correnti elettriche
- Misurazioni elettriche
- Elettrocalamite, telegrafia
- Leggi delle correnti indotte.

Si era nel 1877; ricordiamo che la pila era stata inventata settanta sette anni prima, che l'illuminazione elettrica, sia pure solo ad arco, era diffusa, che già da vent'anni telegrammi traversavano l'oceano Atlantico

su cavi posati sul suo fondo, che le leggi dell'induzione elettromagnetica avevano portato già da venti alla costruzione di alternatori e già da dieci a quella delle dinamo.

Nelle quattro ore settimanali del suo corso (tre di lezione ed una d'esercitazioni) il Donati non poteva dare alle applicazioni elettriche lo spazio necessario. Non deve meravigliare che tuttavia non mancasse trattazione alla telegrafia quando si tenga presente che essa era tra le primogenite delle applicazioni elettrotecniche per cui, già dall'anno dopo, nel terzo anno fu aggiunto un corso di esercitazioni di 2 ore dedicato esclusivamente all'elettrotecnica e più precisamente: Macchine magneto-elettriche e dinamo-elettriche e loro applicazioni.

Intanto all'Università alla cattedra di Fisica, nel 1889 al Villari era succeduto Augusto Righi. Nato nel 1850, laureato in Ingegneria a Bologna nel 1872, succeduto a Pacinotti nell'insegnamento della Fisica all'Istituto tecnico dal 1873 al 1880, poi all'Università di Palermo dal 1880, a quella di Padova dal 1885, infine a quella di Bologna appunto dal 1889.

### **2.1.6. La nascita delle Comunicazioni elettriche e la crescente importanza dell'elettrotecnica**

L'importanza dell'insegnamento di Augusto Righi su quello delle Comunicazioni elettriche fu fondamentale. Le sue ricerche relative alle oscillazioni elettriche, campo nel quale può essere considerato come il più valido continuatore di Heinrich Hertz nel dare basi sperimentali alla teoria di J.C. Maxwell, promossero originali studi sperimentali sulle onde elettromagnetiche (che tra l'altro ebbero notevole influenza sulle ricerche di Guglielmo Marconi) e furono continuate dai successori.

Intanto alla Scuola d'Ingegneria nel 1899/1900 era stata introdotta un'altra ora di lezione di Fisica tecnica dedicata all'elettrotecnica e in terzo anno aggiunte 4 ore di esercitazioni combinate di elettrotecnica e macchine termiche ed idrauliche.

Il Donati già in quell'anno lamenta il poco spazio dedicato all'elettrotecnica:

La scuola desidera vivamente che sia istituito ufficialmente un altro corso facoltativo complementare ai principi di elettrotecnica, i quali soltanto possono essere svolti nel corso di fisica tecnica destinati alla generalità degli ingegneri civili.

Siffatto corso complementare facoltativo dovrebbe essere accompagnato da una serie di esercitazioni ben ordinata. La Scuola recentemente si è sforzata di fare tutti i preparativi necessari per l'istituzione ufficiale invocata, ed in attesa della medesima ha creduto bene accogliere le istanze di 12 ingegneri laureati nella Scuola durante gli ultimi due anni scolastici, i quali chiesero di essere accolti in via privata (a tutte loro spese) nel Laboratorio di fisica tecnica ed elettrotecnica affine di esservi istruiti ed esercitati nell'importantissimo ramo di scienza applicata che già oggidi forma corpo di scienza a sé.

Nell'annuario dello stesso anno 1899/1900 il Donati, presentando il Gabinetto di fisica-tecnica, dice:



Figura 3. Luigi Donati, Giuseppe Sartori, "Elettrotecnica", Milano 1930.

Premminente sopra tutte le altre parti si presenta per questo rispetto [cioè l'acquisto degli strumenti ed apparecchi della scienza fisica che hanno più stretta attinenza con la tecnologia] l'elettricità le cui applicazioni sono oggi tali e tante da costituire per sé una speciale disciplina che forma parte essenziale della cultura degli Ingegneri: onde, per quanto lo permettevano i mezzi, si è sempre atteso con cura assidua a fornire il laboratorio delle principali macchine e dei più importanti apparecchi di misura e di ricerca apparsi in questi ultimi tempi nel campo della Elettrotecnica. Di maniera che ora il gabinetto di Fisica tecnica, pur essendo tuttavia lontano dal punto che dovrebbe raggiungere, è però in grado, valendosi di appositi impianti di dinamo, accumulatori, trasformatori, convertitori che possono fornire la corrente elettrica in tutte le sue varie modalità, e dei diversi apparecchi

di misura e di ricerca, di servire alle principali dimostrazioni sperimentali e di fornire quanto occorre per gli esercizi del corso, per le diverse ricerche scientifiche che in esso vengono fatte e per la taratura degli strumenti industriali.

Specialmente notevole è la collezione degli apparecchi di misura, rappresentati dai loro tipi migliori e più recenti e provenienti dalle migliori case costruttrici italiane ed estere.

E nel 1902 la sua "Introduzione elementare all'Elettrotecnica", che definisce «saggio ad indirizzo didattico», è in effetti la prima presentazione sistematica di un corso ingegneristico e sarà la base, assieme al quasi contemporaneo *La tecnica delle correnti alternate* di Giuseppe Sartori, del trattato che uscirà a doppio nome nel 1930.

Finalmente i voti di Donati furono esauditi nell'anno scolastico 1904/05.

L'incarico dell'insegnamento fu affidato al professore di fisica tecnica, dott. Luigi Donati, scienziato ed insegnante di valore notorio, ma lo è stato solo a titolo onorario (forse opponendosi al conferimento di un incarico retribuito la legislazione sul cumulo degli stipendi): il manifesto per l'apertura del corso è riportato di seguito.

Esso è stato dipoi sovvenuto con nuovi locali ed altri mezzi di notevole importanza forniti dallo Stato e dalla Società dei tram elettrici cittadini.

**Anno scolastico 1904-1905**  
**CORSO COMPLEMENTARE DI ELETTRTECNICA**

Il corso avrà principio Lunedì 12 Dicembre 1904 e continuerà col seguente orario

Lunedì	Ore	11-12	Lezione
Martedì	"	11-12	Lezione
"	"	13-16.30	Esercitazioni

Mercoledì	”	17-18	Lezione
Giovedì	”	10-11	Lezione

A tale corso potranno iscriversi:

1° - Gli allievi del 3° anno della Scuola che abbiano superate le prove di profitto in Fisica tecnica;

2° - Chiunque che da non più di sei anni abbia conseguito il diploma d'ingegnere, od un diploma equipollente.

Per iscriversi occorre farne domanda formale a questa Direzione e versare alla cassa della scuola a titolo di rimborso di spese generali e di laboratorio una contribuzione di Lire 30 per gli aspiranti di 1° categoria e di lire 50 per quelli della 2°.

Chiuso il corso gli iscritti che lo avranno frequentato assiduamente e proficuamente conseguiranno (colle modalità regolamentari) uno speciale certificato, purché ne facciano domanda formale a questa Direzione e superino una prova finale di profitto.

Gli aspiranti della 2° categoria dovranno inoltre versare alla Cassa della Scuola una quota d'esame di lire 20.

Nel 1921 per limiti di età il Donati cessa dall'ordinariato di Fisica tecnica e dall'incarico di Elettrotecnica, come pure dall'incarico di Fisica matematica che teneva nella Facoltà di scienze. Morirà settantaseienne nel 1932 e lo ricorderà sul Nuovo Cimento il suo allievo prediletto Cesare Rimini. Di lui ha anche parlato estesamente in una di queste conferenze Adriano Paolo Morando.

Alla Facoltà di Scienze Augusto Righi, dopo 20 anni d'insegnamento che lasciò tracce indelebili, morì nel 1920 e alla cattedra di Fisica sperimentale, dopo un anno d'intervallo nel quale fu affidato l'incarico a Lavoro Amaduzzi, succedette nel 1921 Quirino Majorana. Questi, nato nel 1871 aveva anche lui studiato Ingegneria prima di laurearsi in Fisica e dal 1904 al 1914 aveva diretto l'Istituto superiore telegrafico e telefonico, nel 1909 aveva scritto le sue *Ricerche ed esperienze di telefonia elettrica* e vinto un premio dell'Accademia dei Lincei, poi aveva insegnato Fisica sperimentale alla Sapienza di Roma ed al Politecnico di Torino prima di Bologna e qui, nel 1931 iniziò la prima Scuola di perfezionamento nelle Radiocomunicazioni sulla quale ritorneremo. Per chi vi parla le sue lezioni sono il ricordo più bello dei primi due anni d'università.

Alla Scuola d'Ingegneria al Donati succede nel 1921/22 Giuseppe Sartori del quale pure ha già parlato in una di queste conferenze il Morando per cui mi limiterò a ricordare che lascia due notevoli opere didattiche: il già menzionato *Tecnica delle correnti alternate*, pubblicato nel 1903, prima opera sistematica italiana su questo argomento, riedito più volte in italiano e nella traduzione francese, ed il trattato di *Elettrotecnica, compendio rivolto alla conoscenza delle Macchine, Trasformatori, Motori e Convertitori, con accenno al Trasporto della energia elettrica, Corredato da numerosi Esercizi numerici e da Applicazioni pratiche, Opera adatta per Ingegneri, Tecnici e Studenti, con 468 figure e 2 tavole* in due volumi, pubblicato nel 1930, che porta come autore anche il nome di Donati, perché ne è conservata la geniale e suggestiva impostazione del 1902 nelle trattazioni teoriche, mentre al Sartori si

debbono specialmente le parti applicative nelle quali egli aveva larghissima esperienza.

Al Donati spetta comunque il merito ed il riconoscimento di essere il fondatore dell'insegnamento dell'Elettrotecnica nella nostra Università.

Qui dobbiamo inserire un altro protagonista, suo allievo e cioè il Cesare Rimini già menzionato. Nato a Mantova nel 1882, era stato prima allievo della Scuola Normale di Pisa dove si era laureato in Matematica e poi della Scuola d'Ingegneria di Bologna dove si era laureato nel 1907. Subito dopo la prima laurea era rimasto a Pisa per un anno con un posto d'assistente di Algebra e incaricato di Teoria dei numeri ma, dopo la seconda laurea, si era dato per un ventennio all'attività professionale come ingegnere. Rientrato a Bologna aveva pubblicato molti ed importanti lavori soprattutto sulla geometria applicata alle correnti alternate e nel 1927 aveva ottenuto la libera docenza. Sartori, di 14 anni più anziano ma che ne temeva la maggiore statura scientifica, riuscì a tenerlo sempre lontano dalla Scuola d'Ingegneria così arrecandole danno, ma egli fu invece molto apprezzato dalla Facoltà di Scienze dove dapprima gli fu affidato un corso di Elettrotecnica per fisici e chimici del quale raccolse le lezioni in due volumi e poi ebbe molti altri incarichi. Nel 1932 pubblicò *Elementi di elettrotecnica generale* e nel 1934 un apprezzato trattato di *Radiotecnica generale*, contemporaneamente insegnò in istituti privati.

### 2.1.7. La crescente importanza delle Comunicazioni elettriche

Fu certamente contando sul suo apporto che Quirino Majorana istituì nel 1931 nella Facoltà di Scienze una Scuola di perfezionamento nelle Radiocomunicazioni, biennale. Il 20 gennaio 1932 se ne tenne il primo Consiglio dei Professori:

Il Direttore Prof. Q. Majorana riassume le ragioni che hanno consigliato l'istituzione della Scuola di Perfezionamento in Radiocomunicazioni, nella città che ebbe la gloria di dare i natali a Guglielmo Marconi e nell'Istituto Fisico che fu di Augusto Righi.

Mette in rilievo la circostanza che già nella Facoltà di Scienze della R. Università di Bologna si tenevano corsi aventi attinenza con le Radiocomunicazioni e che l'Istituto Fisico si trova in condizioni di poter ospitare degnamente la Scuola per il fatto di disporre già di una sufficiente attrezzatura sperimentale nel campo delle Oscillazioni Elettriche e delle Radiocomunicazioni...

Legge le numerose adesioni ricevute fra cui particolarmente notevoli quelle di:

S.E. Marconi, Presidente della R. Accademia d'Italia,

S.E. Vallauri, del Comitato Radiotelegrafico del C.N.R.

Ammiraglio Pesson, Direttore Generale delle P.P.T.T.

S.E. l'Ammiraglio Foschini, per il Ministero della Marina,

Generale Guasco, per il Ministero della Guerra,

Officina Radiotelegrafica ed Elettrotecnica dl Genio Militare, ecc...

**Scuola di Perfezionamento in Radiocomunicazioni  
(Biennale nella Facoltà di Scienze)  
Anno accademico 1931/32**

**INSEGNAMENTI E ORE SETTIMANALI**

<b>1° anno</b>		
Elettrologia Generale	3	Majorana Q.
Radiotecnica Generale I	1	Majorana Q.
Complementi d'Elettrotecnica	2	Rimini C.
Propagazione delle Onde E.M.	2	Graffi D.
Lampada a tre elettrodi	1	Todesco G.
Misure Radiotecniche con eserc. I	4	Rimini C. e Todesco G.
<b>2° anno</b>		
Radiotecnica Generale II	3	Majorana Q.
Fotoelettricità	1	Majorana Q. e Todesco G.
Teleautografia e Televisione	1	Ranzi I.
Tecnica dei Servizi Radiotelefonici	1	Carletti A.
Tecnica degli Impianti		
Radio-Telegrafici e Radiotelefonici	2	Gori V.
Misure Radiotecniche con eserc. II	4	Rimini C. e Todesco G.

Si nota che, tra i docenti, quattro sono ingegneri: il Majorana ed il Rimini, Carletti, Capo servizio al Ministero delle Comunicazioni, e Vittorio Gori, che all'epoca lavorava presso il Centro Radio di Torrenova, del quale aveva prima curato i collaudi degli impianti, poi l'organizzazione e direzione di un nuovo reparto costruzioni.

Rimini lasciò la Scuola di Perfezionamento nel 1938 a seguito delle leggi razziali così come con lui gli altri docenti ebrei ed è interessante esaminare l'influenza che ciò ebbe sul corpo insegnante.

**Influenza sul corpo insegnante e iscritti delle leggi razziali  
1937/38**

MAJORANA Q.: Elettrologia generale; Fotoelettricità  
 GORI V.: Tecnica degli impianti radiotrasmettenti  
 GRAFFI D.: Propagazione delle onde elettromagnetiche  
 MATTEINI C.: Radioricevitori (conferenze)  
 RANZI I.: Teleautografia e televisione  
 RIMINI C.: Complementi di elettrotecnica  
 TODESCO G.: Radiotecnica generale  
 TREVES S.: Tecnica dei servizi R. T.  
 USIGLIO G.: Misure radiotecniche  
 SACERDOTE G.: Elettroacustica (conferenze)  
 RANZI I.: Esercitazioni di radiotecnica  
 RIMINI C.: Esercitazioni di radiotecnica

TODESCO G.: Esercitazioni di radiotecnica  
Nel 1937/38: iscritti 19 e diplomati 5.

### 1938/39

MAJORANA Q.: Fotoelettricità e televisione  
GORI V.: Radiotecnica generale I e II; Radiotrasmettitori  
GRAFFI D.: Propagazione delle onde elettromagnetiche  
MATTEINI C.: Tubi elettronici; Radioricevitori  
SOMEDA G.: Complementi di elettrotecnica; Misure radiotecniche  
GALLIGIONI G.: Esercitazioni di radiotecnica  
Nel 1938/39: numero iscritti non menzionato, nessun diplomato

Dopo la guerra Rimini tornò all'insegnamento sia nel corso di perfezionamento in Radio e telecomunicazioni, divenuto annuale e passato alla Facoltà d'Ingegneria, sia nel corso di perfezionamento in Matematica e fisica nel quale dettava ben tre materie. Negli ultimi anni pubblicò anche dei testi di analisi, frutto di sue meditazioni durante il forzato ozio del periodo delle persecuzioni antisemite. Lasciò, inoltre, una ventina di altri lavori di matematica pura e di elettrotecnica. Morì nel 1960.

#### 2.1.8. Gli anni fino al 1950

Nella Scuola di Ingegneria a Giuseppe Sartori, che ne era anche diventato Direttore e che morì nel 1937, succedette Giovanni Someda, che restò a Bologna solo due anni e si trasferì a Padova nel 1940.

Su Giovanni Someda e il suo tempo ha scritto un pregevole libro Lorenzo Marenesi. Egli era un professore molto bravo ed aveva una particolare capacità ad attrarre la simpatia dei suoi allievi; a quelli più interessati e volenterosi consentiva la figura di allievo interno, una specie di status speciale, del quale io stesso profittai e che permetteva libero e continuo accesso sia a lui sia al suo assistente che in quegli anni era Francesco Barozzi, laureato nel 1937 e subito divenuto assistente volontario, poi di ruolo e nel 1939 incaricato di Costruzione di Macchine elettriche.

A Someda, nel 1940 successe Vittorio Gori, che aveva vinto il concorso quell'anno stesso ma era già stato sin dal 1938 incaricato del nuovo insegnamento di Comunicazioni elettriche e si deve a lui l'aggiunta al nome dell'Istituto, sino ad allora "Istituto di Elettrotecnica", di "e delle Comunicazioni Elettriche - G. Marconi".

Gori era nato a Firenze nel 1896, s'era laureato nella Scuola di Ingegneria di Bologna nel 1921 ed aveva iniziato la carriera universitaria nella stessa scuola come assistente volontario presso il Laboratorio di idraulica. Nel 1923 aveva seguito il corso di perfezionamento in elettrotecnica presso l'*Ecole Supérieure d'Electricité* di Parigi e nel 1924 il corso di specializzazione in radiotelegrafia della stessa scuola seguito da un periodo d'addestramento pratico presso la stazione radiotelegrafica di Lione.

Nel 1925 trasferì il suo assistentato volontario presso il Laboratorio d'Elettrotecnica della Scuola d'Ingegneria di Pisa ma proseguì l'attività d'ingegnere radioelettrico con la Società Italo Radio presso i centri di Coltano e di Milano poi a Roma presso quello di

Torrenova per il quale nel 1932 realizzò un nuovo tipo di antenna direttiva per il servizio commerciale radiofonico con il Sud America. Nel 1938 unì alla direzione tecnica della Italo Radio quella della Italcable dedicandosi anche alla telegrafia sottomarina.

Era bravissimo professore capace d'attrarre interesse alla sua materia e prova ne era l'elevato numero di tesi di laurea che essa suscitava. Era maggiore delle Armi Navali e nel 1942 fu richiamato in servizio attivo presso il Comando Radio di La Spezia sino al 1945. Rientrò all'Istituto, allora ospitato in quello di Antropologia perché la Scuola era occupata da due ospedali militari, per l'inizio dell'anno accademico 1945/46 e l'Istituto in quell'anno s'accrebbe di tre nuovi assistenti, tutti del ramo comunicazioni: Giuseppe Francini, Franco Cappuccini e Remo Galletti, forze importantissime, ed i primi due miei amici carissimi scomparsi anzitempo di cui altri dirà perché escono dal limite temporale che mi sono imposto.

Ma mi piace ricordare che con essi Gori poté realizzare quello che considerava un suo dovere non rinunciabile alla memoria di Marconi e cioè, dopo essere stato colui che alla sua morte lo aveva celebrato davanti alla *Union Internationale de Radio-diffusion* a Ginevra nel novembre 1937, celebrare il cinquantenario dell'esperienza fondamentale di lui, quella del 1895, il superamento della collina, e volle si ripettesse come allora nel luogo stesso nel modo più decoroso che i tempi consentivano.

Non fu operazione semplice ed ottenere la presenza della famiglia inglese non fu possibile l'anno stesso della fine della guerra ma solo il successivo 1946. Gori desiderava ricostruire quanto più fedelmente possibile l'apparecchiatura originale, adoperare il luogo originale e cioè la Villa Grifoni sin allora un po' dimenticata, ottenere la presenza di entrambe le famiglie, superando il rifiuto della prima ad incontrare la seconda, ottenere la dovuta risonanza ufficiale, e vi riuscì.

I tre nuovi assistenti furono incaricati della ricostruzione degli apparati originali mentre a me fu affidato il più modesto compito di occuparmi di pile ed accumulatore, tutti invece della ricostruzione della famosa antenna con le quattro latte di benzina.

La celebrazione si tenne felicemente nel prato antistante la villa: erano state disposte sedie in due sezioni separandole con un largo passaggio centrale e lo scopo era tenere divise le due famiglie. Arrivarono infatti per primi un figlio ed una figlia, adulti appartenenti alla prima e poi, distanziati, appartenenti alla seconda, vedova e figlia, allora credo ricordare quindicenne, tutti accolti e condotti cerimoniosamente da Gori ai loro posti nella prima fila delle sezioni sinistra e destra rispettivamente. Vi fu un discorso di lui, poi Francini e Cappuccini azionarono il trasmettitore e fu udito, di là dalla collina dove era Galletti col ricevitore, il colpo di fucile sparato dall'autentico Antonio Marchi, aiutato perché allora oltre centenario. Che poi raggiunse la scena e fu doverosamente festeggiato. S'arrivò al 1950: Gori, già affaticato da salute non ottima, passò a Francini l'incarico di Comunicazioni elettriche e istituì per Cappuccini il primo incarico di Radiotecnica: le comunicazioni elettriche si stabilivano così definitivamente nella nostra Facoltà d'Ingegneria in nuove validissime giovani mani. Ma prima di terminare non voglio rinunciare al piacere di ricordare le persone che in quell'anno si dedicavano all'insegnamento ed alla ricerca in quelle materie in tutta la nostra Università e che erano molte.

Del biennio propedeutico alla Facoltà di Scienze ricordo solo che l'ordinario di Fisica sperimentale era Giorgio Valle e che l'Istituto di Fisica del quale era direttore



comprendeva un numero di vecchi e giovani ricercatori troppo numeroso e troppo diversificato negli interessi per essere ricordati singolarmente.

Del triennio d'applicazione nella nostra vecchia Facoltà mi piace ricordare i nomi di tutti:

Vittorio Gori, ord. d'Elettrotecnica e direttore dell'Istituto  
 Aristide Prosciutto, inc. di Fisica tecnica (provvisoriamente causa la repentina scomparsa dell'ord. Emanuele Foà)  
 Stefano Basile, ord. di Misure elettriche  
 Francesco Barozzi, aiuto e inc. di Costruzione di macchine elettriche  
 Filippo Spani, inc. di Trazione elettrica  
 Dino Zanobetti, aiuto vol. e inc. di Impianti industriali elettrici  
 Giuseppe Francini, ass. e inc. di Comunicazioni elettriche  
 Franco Cappuccini, ass. vol. e inc. di Radiotecnica  
 Arturo Giulianini, aiuto di Fisica tecnica  
 Vittorio Modoni, ass. di Misure elettriche  
 Gian Paolo Dore, ass. vol. di Misure elettriche  
 Filippo Ciampolini, ass. inc. di Elettrotecnica  
 Alfonso Chiodini, ass. vol. di Impianti industriali elettrici  
 Remo Galletti, ass. vol. di Comunicazioni elettriche  
 Paolo Camposano, ass. vol. di Trazione elettrica  
 Guido Capuano, ass.vol. di Trazione elettrica  
 Aldo Cardarelli, ass. vol. di Impianti industriali elettrici  
 Adriano Sarti, ass. vol. di Comunicazioni elettriche  
 Armando Giorgetti, ass. vol. di Elettrotecnica  
 Carlo Parmeggiani, ass. vol. di Comunicazioni elettriche  
 Raffaele Puppini, ass. vol. di Comunicazioni elettriche  
 Francesco Cordero, ass. vol. di Elettrotecnica  
 Bruno Ferrari, ass. vol. di Costruzione di macchine elettriche  
 Giuliano Salani, ass. vol. di Misure elettriche

Del Corso di perfezionamento in Radio e telecomunicazioni gli insegnanti erano:

Vittorio Gori, direttore, Radiotecnica generale  
 Cesare Rimini, Radiotecnica generale  
 Paolo Dore, Complementi di analisi matematica  
 Giuseppe Evangelisti, Teoria dei circuiti  
 Dario Graffi, Onde elettromagnetiche  
 Scipione Treves, Tecnica delle trasmissioni su filo  
 Francesco Barozzi, Complementi di elettrotecnica  
 Mario Mariani, Misure radiotecniche  
 Carlo Parmeggiani, Tecnica degli impianti radiotrasmittenti  
 Giuseppe Francini, Teoria dei tubi elettronici  
 Remo Galletti, Tecnica degli impianti radioriceventi  
 Franco Cappuccini, Esercitazioni di Radiotecnica

E con questi ricordi del 1950 questo racconto può terminare.

## 2.2. L'INSEGNAMENTO DELLA MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE NELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Umberto Meneghetti*

### 2.2.1. Introduzione

#### **Premessa**

La Meccanica applicata alle macchine si occupa di argomenti che si deducono direttamente dalla definizione di macchina: «un insieme di organi disposti in modo da compiere, *muovendosi* sotto l'azione di forze opportunamente applicate, *lavoro* di interesse industriale» [Funaioli, 1970]. Qualunque dispositivo che possa eseguire un movimento, compiendo con ciò lavoro utile, è dunque d'interesse della Meccanica applicata alle macchine. Se si prescinde dal lavoro, anziché di macchina si parla più propriamente di meccanismo, rimanendo peraltro ancora nell'ambito della stessa disciplina.

È evidente che problemi riguardanti la Meccanica applicata alle macchine si presentarono fin dagli albori della preistoria: già allora l'uomo costruiva delle macchine, come il trapano ad archetto o le trappole a molle.

Ovviamente, non rientra nell'ambito del presente lavoro un excursus storico sullo sviluppo delle macchine dalla preistoria ai nostri giorni; è però opportuno introdurre l'argomento del titolo, accennando prima brevemente alla trasformazione industriale avvenuta in Europa nei secoli attorno all'anno mille: essa determinò, infatti, la situazione da cui si sviluppò, a cavallo fra il XVIII e il XIX secolo, la rivoluzione industriale, che portò alla nascita della moderna ingegneria, e con essa della Meccanica applicata alle macchine.

#### **La rivoluzione industriale del Medioevo**

Dopo la caduta dell'Impero Romano d'Occidente, molti settori della tecnologia subirono in Europa una forte decadenza: le città si spopolarono, gli acquedotti furono abbandonati, venne meno la manutenzione delle strade, l'agricoltura s'impoverì, i consumi si ridussero, la produzione industriale declinò.

In realtà, però, la decadenza non riguardò tutta la tecnologia. [F. e J. Gies, 1995] concordano con [L. White, 1962], il quale sostiene che nell'Alto Medioevo la tecnologia «segnò un costante e ininterrotto progresso rispetto all'Impero Romano». I giudizi sulla tecnologia alto-medioevale appaiono dunque discordi: nel confronto con quella di Roma, alcuni ne evidenziano il decadimento, mentre altri sostengono che abbia conseguito rilevanti progressi.

Anziché di decadenza, sarebbe forse allora più appropriato parlare di trasformazione: la tecnologia dovette adattarsi alle mutate situazioni culturali e sociali e, di conseguenza, ai diversi interessi e alle nuove esigenze della società. L'adeguamento

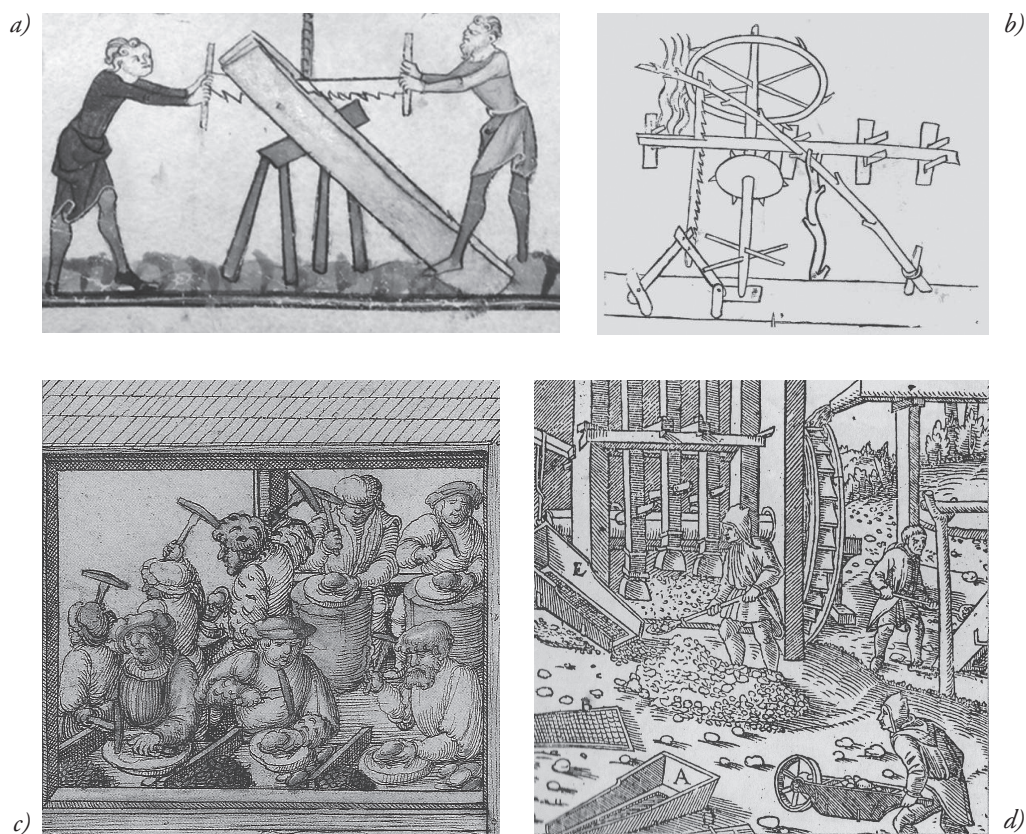


Figura 1. Esempi di meccanizzazione di operazioni manuali: a) sega manuale [Decretales Gregorii IX, c. 1300-1340]; b) prima testimonianza medievale di sega idraulica [de Honnecourt, XIII sec.]; c) frantumazione a mano [Groff, 1529]; d) meccanica [Agricola, 1563] di minerali.

richiese ovviamente tempi lunghi: quegli ultimi secoli del primo millennio durante i quali gli Europei a poco a poco ripresero le tecniche dei Romani, si impadronirono di quelle provenienti da fuori, in particolare dall'Oriente – spesso migliorandole e adattandole alle proprie necessità – e ne idearono di nuove e originali.

Il successivo generale risveglio della tecnologia si può collocare fra il decimo e il dodicesimo secolo [Gies and Gies, 1995]. Esso fu preceduto e accompagnato da importanti progressi in alcuni settori, in particolare nell'agricoltura [White, 1962] e nella metallurgia, e dalla diffusione della ruota idraulica, che ne fu l'elemento più qualificante. Si trattò in realtà di una vera e propria rivoluzione industriale [Gimpel, 1975], caratterizzata dalla meccanizzazione, cioè dall'introduzione di macchine destinate a compiere operazioni prima svolte manualmente: gualchiere, magli, seghe, mulini, frantoi, ecc., furono costruiti e messi in opera in gran numero.

In genere, per meccanizzazione s'intende l'introduzione di dispositivi atti a svolgere determinate funzioni in aiuto dell'uomo. In questo senso, passare dallo schiac-

ciare a mano una noce all'uso di uno schiaccianoci, costituisce un esempio di meccanizzazione. Qui, però, con il termine "meccanizzazione" si vuole più specificatamente indicare l'introduzione di macchine che sostituiscono in tutto o in parte l'uomo nello svolgimento di alcune operazioni. In questo senso, l'uso di utensili, attrezzi o macchine come il martello, l'aratro, il fuso, il telaio, la carrucola, la balestra, e così via, non è meccanizzazione; il mulino da grano mosso da una ruota idraulica, invece, ne è un esempio. I primi, infatti, sono delle semplici protesi dell'uomo: hanno solo la funzione di aumentarne le capacità meccaniche, permettendogli di svolgere operazioni che senza di esse non sarebbe in grado di svolgere, o che svolgerebbe con minore efficacia; il mulino idraulico, invece, macina il grano in sostituzione dell'uomo, compiendo un lavoro al suo posto.

Gli esempi riportati in Fig. 1 illustrano il significato di meccanizzazione. Le immagini sono tutte posteriori all'Alto Medioevo: per questo periodo, infatti, non sono disponibili testimonianze iconografiche, ma solo documenti che attestano l'esistenza delle macchine. È però più che plausibile che molte delle macchine che troviamo illustrate graficamente solo dal XIII secolo, abbiano in realtà fatto la loro comparsa, con la stessa struttura, già nei secoli precedenti.

Ciò che qui più interessa rilevare è che gli schemi funzionali delle macchine introdotte in questo periodo sono rimasti sostanzialmente invariati fino all'alba del XIX secolo, e in molti casi anche oltre: dopo l'epoca della prima meccanizzazione, infatti, per molti secoli l'evoluzione della tecnologia consistette principalmente nel miglioramento e perfezionamento dell'esistente, con relativamente poche innovazioni sostanziali.

### ***La trasmissione del sapere tecnico fino al XIX secolo***

I progressi nella realizzazione delle macchine dagli ultimi secoli del Medioevo fino all'affermarsi della Rivoluzione Industriale della seconda metà del XVIII secolo furono in realtà assai notevoli, ma costretti a svolgersi all'interno di uno schema obbligato: la potenza meccanica era fornita da una ruota idraulica o, più raramente, dal vento o da animali, e il materiale impiegato era quasi esclusivamente il legno, essendo i metalli riservati solo ad alcuni organi particolari, come i perni o le mazze battenti dei magli.

Malgrado ciò, gli ingegneri riuscirono a realizzare macchine di complessità e sofisticazione notevoli, come ad es. il maglio di Fig. 2 [Rees, 1820], mosso da una ruota idraulica, con una frequenza di battuta di centocinquanta colpi il minuto.

Gli ingegneri di questo periodo erano in realtà artigiani, spesso di alto livello e con straordinarie doti d'intuito, ma senza le basi scientifiche di una scienza che ancora non esisteva. La cultura tecnica e i risultati dell'esperienza personale erano trasmessi da maestro a discepolo – cioè da esperto ad apprendista – e i progressi conseguiti da un artigiano non sempre raggiungevano i suoi colleghi.

Anche i pochi testi tecnici erano concepiti con criteri artigianali ed empirici. Il volume di [Della Fratta, 1678], per es., contiene dettagliate istruzioni per la costruzione di una tromba idroeolica: scelta del legno, dimensioni, lavorazione, ecc.; ma non dà alcuna giustificazione delle scelte, né suggerisce criteri di dimensionamen-

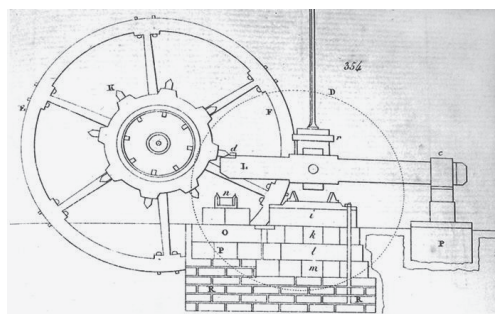


Figura 2. Maglio idraulico [Rees, 1820].

considerandola, cioè, un mondo “naturale”, da guardare, descrivere e classificare, ma con il quale non era il caso di interagire. Né gli ingegneri si comportarono diversamente: la Scienza era per loro un mondo estraneo e astratto, al quale ci si poteva accostare con curiosità e interesse per motivi culturali, ma dal quale non ci si poteva aspettare nulla d'importante riguardo all'attività professionale.

I comportamenti ora descritti sono del resto ben comprensibili. Gli scienziati avevano da studiare il mondo intero: dovevano capire quali conseguenze avevano le nuove teorie scientifiche sulla concezione stessa dell'Universo. Gli ingegneri, dal canto loro, avevano ereditato vaste e consolidate conoscenze pratiche, che permettevano di realizzare macchine eccellenti, in grado di soddisfare le richieste degli utenti: non erano quindi stimolati a studiare e applicare le nuove teorie scientifiche, con un impegno gravoso e, giacché del tutto nuovo, dai risultati incerti.

Un esempio dell'atteggiamento degli scienziati sono le lezioni “Delle Meccaniche” [Galileo, 1594], lette a Padova da Galileo, dove le “macchine” sono descritte con cura e precisione – ovviamente! –, ma non vi è un reale tentativo di impostarne lo studio in modo da fornire agli ingegneri modelli e regole di immediata utilità applicativa. Analogamente, il comportamento degli ingegneri può essere rappresentato da J. Smeaton (1724-1792), il progettista del mulino di Fig. 2: malgrado fosse membro della Royal Society di Londra e conoscesse i lavori di Newton, realizzò le sue famose macchine solo sulla base dell'intuito e dell'esperienza, senza utilizzare le nozioni e i mezzi che la scienza meccanica metteva ormai a sua disposizione [Meneghetti, 2016].

In altri campi, peraltro, fra la metà del XVII e la metà del XIX secolo le tecniche si svilupparono partendo dalle scoperte che la scienza andava facendo nei vari settori. È questo, ad es. il caso della Chimica, le cui scoperte relegarono nel dimenticatoio l'Alchimia, cosicché in questo campo la scienza e le sue applicazioni tecniche procedettero di pari passo fin dall'inizio. Ancora più evidente è il caso dell'Elettrotecnica, che nacque con la scoperta della pila di A. Volta (1800) e gli esperimenti di A. Carlisle e W. Nicholson, sviluppandosi poi sempre sulla scia delle successive scoperte scientifiche.

Lo sviluppo della Meccanica delle macchine, invece, pare avere paradossalmente sofferto qualche ritardo proprio a causa del relativamente elevato livello raggiunto con i soli mezzi artigianali. Le macchine, infatti, esistevano e funzionavano da secoli,

to di validità generale, che avrebbero dato un più ampio respiro all'insegnamento, che pure intendeva offrire.

Né le cose cambiarono sensibilmente quando la Meccanica divenne una Scienza nel senso moderno del termine. Per alcuni secoli, infatti, gli scienziati non si occuparono della tecnica, o al più ne osservarono le applicazioni con l'atteggiamento che potremmo definire “occhio di Linneo”:

ben prima che fossero scoperte le leggi fisiche che le governano: basti considerare, per es., che già in epoca preistorica in alcuni archetti per l'accensione del fuoco era utilizzato il volano per immagazzinare energia cinetica. Le scoperte di Galileo, di Newton e degli altri meccanici del XVII e XVIII secolo non ebbero dunque come effetto la nascita di una nuova tecnica né di una disciplina scientifica dedicata allo studio della Meccanica delle macchine. Non c'è pertanto da stupirsi se fra le difficoltà che incontrarono prima Newcomen e poi Watt nella realizzazione delle loro macchine termiche, oltre all'arretratezza della Metallurgia e della Tecnologia meccanica, vi fosse anche l'assenza di una scienza di Cinematica delle macchine.

Fra il Basso Medioevo e il Rinascimento nacque dunque in Europa la scienza moderna, in particolare la Meccanica, che raggiunse poi la piena maturità con Galileo, Newton, Laplace, Lagrange, Eulero, Bernoulli e tanti altri illustri studiosi. Scienza e tecnica, tuttavia, in questo periodo non s'incontrarono che occasionalmente, senza cioè uno scambio reciproco per quanto riguarda i problemi da affrontare e i mezzi per la loro soluzione. Al contrario, ciascuna di esse percorse la propria strada, poco considerando la presenza dell'altra: ciò, in particolare, per quanto riguarda la Teoria delle macchine e dei meccanismi.

### **2.2.2. La Meccanica applicata alle macchine prima della Meccanica applicata alle macchine**

#### ***Il Corso Filosofico-Matematici***

Nell'introduzione si è cercato di inquadrare succintamente in una prospettiva storica l'argomento di questa trattazione, che è una breve storia dell'insegnamento della Meccanica applicata alle macchine nell'Università di Bologna. Prima di arrivare al punto centrale, tuttavia, è opportuno accennare anche al periodo – dalla seconda metà del XVIII all'inizio del XIX secolo – nel quale si posero le basi della disciplina e furono introdotti alcuni degli argomenti caratterizzanti la disciplina stessa, trattati già con criteri scientifici, ma – come vedremo – non ancora in modo autonomo.

La nascita e lo sviluppo della scienza moderna, più sopra ricordati, portarono con sé la comparsa di nuove scienze tecniche, ma nel campo della Meccanica delle macchine e dei meccanismi l'incontro fra scienza e tecnica avvenne con un certo ritardo. Solo nella seconda metà del Settecento incominciò a proporsi l'idea che il progetto di una macchina dovesse uscire dall'empirismo artigianale. Nucleo fondante della nuova scienza dell'ingegneria fu, com'è noto, l'École Polytechnique, istituita a Parigi nel 1794. L'impostazione data allora da G. Monge influenzò per decenni, in tutto il mondo, la concezione degli studi di Ingegneria; questa si configurò così come scienza applicata, volta a sviluppare, con metodo razionale e mediante l'elaborazione di modelli matematici, la ricerca scientifica, trasformandola in applicazioni tecnologiche [D'Agostino, 2014].

Per imbastire la preistoria della Meccanica applicata alle macchine a Bologna conviene allora partire dai Regolamenti napoleonici del 1802-1803 [Gasnault,

2001] – rimasti poi a lungo in vigore – i quali al terzo anno del Corso “Philosophico-Matematici” prevedevano l’insegnamento di “Mechanica, et Idraulica”, v. Fig. 3, che esamineremo più avanti. Inizieremo da qui il racconto dell’insegnamento della Meccanica applicata alle macchine a Bologna, premettendo una breve descrizione del modo in cui si accedeva alla professione di Ingegnere quando il titolo non era conferito dall’Università.

### ***L’accesso alla professione di Ingegnere nello Stato Pontificio***

Il regolamento per l’abilitazione alle professioni di perito, architetto, e ingegnere civile dello Stato Pontificio del 25 giugno 1823 prevede che «gli aspiranti alla professione d’ingegnere civile dovranno avere compiuto l’intero corso delle matematiche nell’università [...]. Dovranno inoltre avere fatto quattro anni di pratica sotto un ingegnere approvato [...]. Indi saranno ammessi all’esame» davanti a una commissione composta da tre Ingegneri civili approvati, scelti dal capo della Provincia.

È interessante rilevare il passaggio graduale dalla situazione antica a quella moderna. Nel passato, infatti – come accennato più sopra – quella di Ingegnere era una professione e non un titolo, e la professionalità si acquisiva sul campo, come apprendisti e allievi di un artigiano-ingegnere esperto. Con il regolamento del 1823 si riconosce che l’ingegnere ha bisogno di una preparazione scientifica, ma si continua a ritenere che la professionalità possa poi essere acquisita solo con un tirocinio pratico di ben quattro anni.

Archigymnasium Pontificium Bononiense  
CURSUS PHILOSOPHICO-MATEMATICI  
Anno scholastico 1828-1829

ANNO 1 1. Logica, et Metaphysica 2. Elementa algebrae, et Geometriae	ANNO 3 1. Calculus Sublimis 2. Mechanica, et Idraulica 3. Optica, et Astronomia
ANNO 2 1. Ethica 2. Physica 3. Introductio ad Calculum	ANNO 4 1. Mechanica, et Idraulica 2. Optica, et Astronomia

*Figura 3. Curriculum della Facoltà di Matematica dell’Ateneo Pontificio di Bologna [Kalendarium Archigymnasii Bononiensis, 1828-1859].*

Si osservi altresì che per iscriversi all’università e seguirne i corsi era richiesta la conoscenza del latino, antica lingua franca degli scienziati, come ora l’inglese: idea, questa – mutatis mutandis – tornata in auge proprio in questi ultimi anni.

Ricordiamo per inciso che la dizione “ingegneria civile” voleva allora distinguere questa dall’ingegneria militare, oltre che da altre eventuali specialità, come la navale.

### **Giuseppe Venturoli**

Giuseppe Venturoli (Bologna 1768 - Roma 1846) è la prima figura notevole nell'ambito della Meccanica applicata nell'Università di Bologna. Dopo avere conseguito nel 1789 la laurea in filosofia, si dedica alla carriera universitaria e dal 1802 al 1824 è professore di Matematica applicata, titolo cui corrisponde l'insegnamento del corso biennale di "Meccanica e Idraulica". Dal 1817 sospende però l'insegnamento perché è chiamato a Roma, dove fonda la prima Scuola italiana degli ingegneri<sup>1</sup> e svolge diversi importanti incarichi per conto del governo pontificio [Gasnault, 2001], [Mazzetti, 1847]. Nel 1806-1807 aveva pubblicato il fondamentale trattato in due volumi *Elementi di Meccanica e Idraulica* – reperibile anche nella Biblioteca Interdipartimentale d'Ingegneria e Architettura di Bologna – che ebbe in seguito numerose edizioni e nel 1823 fu tradotto e pubblicato in Inghilterra con il titolo *Elements of practical mechanics*. La città di Roma gli ha dedicato un busto nei giardini del Pincio, v. Fig. 4; anche Bologna pose un suo busto nel parco della Montagnola: ma questo, con tutti gli altri busti, fu tolto nel 1946 e ora giace in un deposito.

Il testo di Venturoli merita qualche osservazione. In questa sede interessa ovviamente il volume sulla Meccanica, che contiene *in nuce* tutta quella che in seguito sarà la Meccanica dell'Ingegneria. Il volume è diviso in cinque libri. I primi due, con i titoli rispettivamente *Dell'equilibrio* e *Del moto*, trattano argomenti che sono poi diventati propri della Meccanica razionale. Il terzo libro, *Delle forze moventi e resistenti*, funge da collegamento fra la Meccanica razionale e la Meccanica pratica. Scrive infatti Venturoli nella prefazione del suo testo: «La Meccanica [...] può dividersi così che altra sia Meccanica Speculativa o Razionale, altra Meccanica Istrumentale o Pratica. [...] [La prima] suppone [il corpo] impenetrabile, inerte, animato da forze motrici. Le leggi di queste forze finge essa e varia a suo talento, niente sollecita d'indagare se siano o no tali forze nella natura. [...] Ma [...] i bisogni della società ci richiamano [...] dal mondo intellettuale [...] al mondo fisico». Il terzo libro esamina appunto – sulla base dei risultati sperimentali allora noti – le proprietà fisiche dei corpi e la natura delle principali forze motrici allora conosciute, vale a dire quelle dell'uomo, degli animali, dell'acqua e del vento.

Il quarto libro, *Dell'equilibrio delle fabbriche*, tratta della Meccanica delle costruzioni, cioè degli argomenti che in seguito hanno costituito i contenuti fondamentali della Scienza e della Tecnica delle costruzioni. Qui Venturoli fa ampio riferimento a risultati ottenuti da diversi sperimentatori, ma le basi teoriche della trattazione sono ancora molto carenti.

Il quinto e ultimo libro, infine, intitolato *Delle macchine*, è diviso in tre sezioni: *Delle macchine in equilibrio*, *Delle macchine nello stato prossimo al moto*, *Delle macchine in moto*. I titoli di queste sezioni evidenziano quanto fosse ancora difficile considerare

---

<sup>1</sup> Prima di quella di Roma, una "Scuola di Applicazione per Ingegneri di Ponti e Strade" fu creata a Napoli da Gioacchino Murat nel 1811, sul modello dell'École Polytechnique. La Scuola ebbe, con il nome originario, vita breve, essendo stata soppressa subito dopo la restaurazione borbonica del 1815; ma già nel 1819 fu rifondata come Scuola di Applicazione di Ponti e Strade.



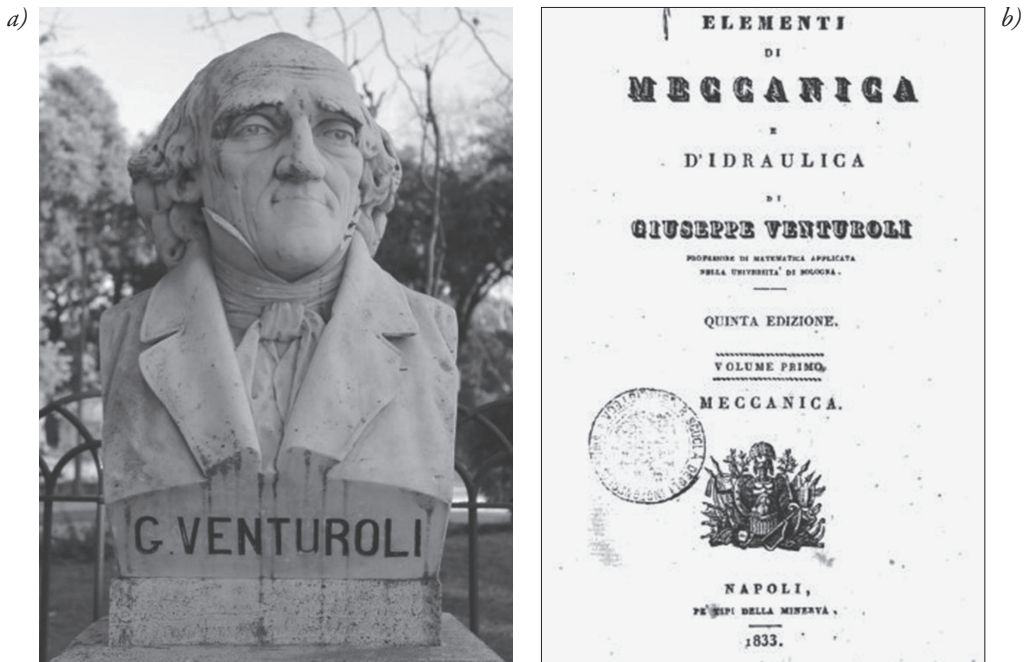


Figura 4: a) Busto di Giuseppe Venturoli nei giardini del Pincio a Roma; b) Frontespizio del primo volume della quinta edizione del testo “Elementi di Meccanica e d’Idraulica”.

in modo organico e unitario il comportamento delle macchine: l’enfasi data alla distinzione fra le tre situazioni possibili, appare infatti dovuta alla difficoltà concettuale di giustificare il moto uniforme dopo che per mettere in moto un corpo si è dovuta applicare una forza motrice d’intensità superiore a quella richiesta per l’equilibrio statico. Mancavano, in sostanza, i concetti di “caratteristica meccanica” e di “accoppiamento motore-utilizzatore”.

Del resto, per Venturoli le macchine sono solo le cinque classiche: leva, piano inclinato, cuneo, vite e carrucola; egli afferma anzi che in realtà esiste una sola macchina, la leva, perché a essa si possono ricondurre anche tutte le altre. Fa un certo effetto confrontare questa concezione così riduttiva con la complessità delle macchine che già allora esistevano e funzionavano: macchine con problemi tutt’altro che semplici, che gli ingegneri-artigiani risolvevano ricorrendo all’intuito e all’esperienza. Ancora per poco, in realtà, perché presto una schiera di valenti studiosi – prima in Gran Bretagna, poi anche in Francia, negli Stati Uniti e in Germania – avrebbero posto le basi per il loro studio sistematico su basi e con metodologie scientifiche.

L’opera di Venturoli, peraltro, non è quella di uno studioso lontano dalla pratica; nel suo testo riporta infatti molti esempi pratici, anche con calcoli numerici, e mostra dimestichezza con problemi ingegneristici, in particolare dell’Idraulica, che era il suo campo specifico: qui non preso in considerazione, perché estraneo alla materia di nostro interesse.

Una difficoltà che il lettore moderno incontra nella lettura del testo di Venturoli riguarda il concetto di forza, e per due motivi. Il primo è che quando parla di una forza applicata a un corpo, si deve intendere – salvo diversa specificazione, e seguendo comunque Newton – che si tratta di una forza impulsiva, anche se in realtà l'impulso di una forza non è definito e neppure nominato; solo quando ciò è detto esplicitamente, invece, la forza è considerata applicata in modo continuo per un tempo finito o indefinitamente lungo. Il secondo motivo è che la forza è sempre considerata coincidente col peso, per cui dividendo una forza – di qualunque natura – per l'accelerazione di gravità, si ha sempre una massa, con tutte le sue proprietà fisiche. A questo proposito, si rileva anche che mentre la velocità è definita come la derivata dello spazio rispetto al tempo, la derivata della velocità non è chiamata accelerazione ma forza acceleratrice.

L'opera di Giuseppe Venturoli è in ogni caso da considerare molto meritoria, sia per il suo indiscusso valore scientifico, sia perché egli fu tra i primi in Italia a dare dignità scientifica allo studio di problemi di interesse ingegneristico.

### ***Gianbattista Masetti, Silvestro Gherardi, Luigi Casinelli, Domenico Chelini, Quirico Filopanti***

Dal 1817 al 1827 il corso di Meccanica e Idraulica fu svolto dal professor Gianbattista Masetti (Castelbolognese 1792 - Bologna 1827), prima come supplente – dal 1817 a 1824 – e poi da titolare [Mazzetti, 1847], [Gasnault, 2001]. Masetti, che nel 1813 aveva ottenuto il diploma d'ingegnere, scrisse due volumi di note e commenti al trattato di G. Venturoli [Masetti, 1827], ora consultabili nella Biblioteca Interdipartimentale di Ingegneria e Architettura di Bologna. I due volumi, di complessive 706 pagine, riportano, per quasi tutti i paragrafi del testo di Venturoli, annotazioni complementari, chiarimenti sui contenuti ed esposizioni dettagliate dei passaggi matematici. Da notare che già altri due docenti, uno di Pavia e l'altro di Roma, avevano pubblicato analoghi volumi di annotazioni sul trattato di Venturoli, a riprova dell'alta considerazione e dell'ampia diffusione di quest'opera.

Dal 1827 al 1831 il corso fu tenuto dal professor Silvestro Gherardi (Lugo 1802 - Firenze 1879), v. Fig. 5, «suo malgrado un eroe e un martire della causa unitaria» [Gasnault, 2001], ripetutamente e a vario titolo coinvolto nelle vicissitudini risorgimentali. Pubblicò una cinquantina di articoli – collocandosi nell'ambito della tradizione bolognese degli studi sul galvanismo e il magnetismo – oltre ad un saggio su Galileo, la traduzione di un importante testo di Eletticità e diversi scritti politici: i suoi interessi scientifici appaiono dunque piuttosto lontani dal corso di Meccanica e Idraulica, per il quale adottò comunque il testo di Venturoli, arricchito con le note di Masetti.

In seguito, dal 1831 al 1845, il corso fu svolto da Luigi Casinelli (Bologna 1781-1846), v. Fig. 5, laureato in Medicina, nella quale peraltro non esercitò mai la professione [Gasnault, 2001], [Mazzetti, 1847]. È autore di tre manuali: *Teoria delle equazioni* (1807), *Principi di fisica generale* (1808), *Elementi di algebra* (1818), sul cui valore scientifico sono stati espressi alcuni dubbi. Adottò anche lui il testo di Giuseppe Venturoli.

a)



b)



*Figura 5: a) Silvestro Gherardi (1802-1879);  
b) Luigi Casinelli (1781-1846).*

Domenico Chelini (Lucca 1802 - Roma 1878), v. Fig. 6, tenne il corso dal 1851 al 1863, adottando ancora il testo di Venturoli. Illustre matematico, come sacerdote – apparteneva all'ordine degli Scolopi – non accettò di prestare giuramento di lealtà al Regno d'Italia e per questo fu destituito. Nel 1867 fu chiamato all'Università di Roma, dalla quale per lo stesso motivo fu dimesso nel 1870 [Gasnault, 2001]. Perfezionò alcuni metodi della geometria analitica e scrisse diversi trattati sull'argomento; è autore anche di un manuale di meccanica razionale [Chelini, 1860]. Il suo insegnamento, che ebbe il plauso di Luigi Cremona, dovette essere di alto livello, data la sua riconosciuta statura scientifica; ma non è certo che sia stato particolarmente attento anche agli aspetti applicativi delle materie che insegnava.

Quirico Filopanti (Budrio 1812 - Bologna 1894) – pseudonimo di Giuseppe Barilli – tenne il corso di Meccanica e Idraulica nel 1848 e poi fra il 1860 e il 1864. Patriota, scrittore, uomo politico, a lui Bologna ha dedicato uno dei viali di circonvallazione, mentre Roma gli ha eretto un busto nei giardini del Pincio, v. Fig. 6. Tralasciando le pur notevoli vicende personali del Filopanti, per le quali rimandiamo all'ampia letteratura esistente (v. ad es. [Molari, 2012] e la bibliografia colà reperibile), riteniamo opportuno riportare il programma del suo corso, v. Fig. 7, che mostra un'appassionata adesione alle vicende dell'Italia, sia politiche – “Cenni sull'arte militare” –, sia economiche e sociali – “Canali di scolo e di navigazione” –, insieme con la consapevolezza dell'importanza delle nuove conquiste della tecnologia, attestata da argomenti come “Strade ferrate” e “Macchine a vapore con e senza condensazione”.

Fra il 1817 e il 1860 il corso di Meccanica e Idraulica fu affidato anche, in veste di sostituti o di supplenti, sia a futuri professori – come Masetti, Gherardi e Casinelli – sia ad altri, e precisamente a Sante Ramenghi nel 1831 e nel 1849, a Francesco Bertelli dal 1833 al 1839, a Giulio Bedetti dal 1844 al 1845, a Francesco Gualandi dal 1845 al 1846, ad Antonio Saporetto dal 1847 al 1848, a Lorenzo Respighi – famoso astronomo – dal 1850 al 1851 [Mazzetti, 1847], [Gasnault, 2001].



Figura 6: a) Busto di Domenico Chelini; b) Il busto di Quirico Filopanti nel parco del Pincio a Roma.

a.s. 1862-1863 - MECCANICA	a.s. 1863-1864 - IDRAULICA
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dei motori in genere, e più specialmente delle forze animali</li> <li>2. Delle forze vive</li> <li>3. Cenni sull'arte militare. Strategia, Tattica, Balistica, Poliorcetica, Castrametazione</li> <li>4. Delle resistenze passive</li> <li>5. Cinematica, specialmente delle ruote dentate</li> <li>6. Delle macchine a vapore con e senza condensazione</li> <li>7. Strade ferrate</li> <li>8. Strade ordinarie</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Idrostatica</li> <li>2. Principi generali dell'idrodinamica</li> <li>3. Delle correnti</li> <li>4. Idrografia</li> <li>5. Canali di scolo e di navigazione</li> <li>6. Macchine idrovore</li> <li>7. Macchine idrauliche motrici</li> <li>8. Macchine a vapore</li> </ol>

Figura 7. Il programma del corso di Meccanica e Idraulica proposto da Quirico Filopanti.

**Il Corso pratico per gli ingegneri civili e architetti, 1862-1874**

Il 14 settembre 1862 fu emanato il Regolamento Generale delle Università del Regno d'Italia, nel cui ambito era previsto che le Facoltà di Scienze fisiche, matematiche e naturali potessero rilasciare quattro lauree: in Scienze matematiche pure, in Scienze fisico-matematiche, in Scienze fisico-chimiche e in Storia naturale. Superati gli esami dei primi tre anni, l'attestato di licenza per le Scienze matematiche «apre l'adito alle scuole di applicazione per gli ingegneri e alle pratiche per

ottenere il diploma di ingegnere secondo le leggi vigenti nelle varie Provincie del Regno».

A Bologna fu istituito il “Corso pratico per gl'ingegneri civili e architetti”, biennale, che prevedeva sia al primo sia al secondo anno gli insegnamenti di Agronomia, Meccanica applicata, Geologia, Mineralogia (questi ultimi diventati poi Mineralogia al primo anno e Geologia al secondo) e “Pratica nello studio di un Ingegnere”; più tardi furono introdotti anche i corsi di “Costruzioni” e di “Architettura”. Il diploma di ingegnere si conseguiva quindi con un curriculum “tre più due”: tre anni di studi propedeutici e di base più due di temi applicativi e di praticantato.

Dall'Annuario della Regia Università di Bologna non è sempre chiaro da chi sia stato tenuto il corso di Meccanica applicata negli anni dal 1862/63 al 1867/68. Nel 1862/63 e 1863/64 è indicato come docente incaricato Quirico Filopanti; per il 1864/65 non si trova nessuna informazione; per il 1865/66 l'incaricato è Felice Galliano; nel 1866/67 e nell'anno successivo, Filopanti è “libero insegnante” di Meccanica applicata. Dal 1868/69 al 1873/74 è incaricato del corso Luigi Venturi [Venturi, 1890], trasferito a Bologna dall'Università di Modena nel 1865 come professore di Meccanica razionale, in seguito incaricato e poi ordinario di Materiali da costruzione ed elementi delle fabbriche. Venturi è autore di numerosi scritti riguardanti la salubrità degli edifici e si dichiara cultore di Matematica applicata; è lecito pertanto dubitare che abbia dato particolare impulso alla Meccanica applicata.

Nel 1870 fu eliminata dal curriculum la pratica nello studio di un Ingegnere. Nel 1873 entrò nel Collegio dei professori Cesare Razzaboni, futuro primo Direttore della Scuola di Ingegneria.

Nel 1875 il corso fu soppresso e al suo posto fu attivato il primo anno della Scuola di applicazione. Poiché nel 1874/75 erano attivi sia il primo sia il secondo anno del Corso pratico, non è chiaro – e non è specificato nell'annuario – che fine abbiano fatto gli eventuali allievi iscritti al primo anno di tale Corso nel 1874/75.

### **2.2.3. La Meccanica applicata alle macchine nella Scuola d'Applicazione per Ingegneri**

#### ***La Scuola d'Applicazione per Ingegneri, 1875-1935***

Nel 1876 fu emanato per decreto il regolamento per le Scuole di Applicazione per Ingegneri [Annuario della Regia Università di Bologna], il quale stabiliva fra l'altro che “Le Scuole di Applicazione hanno per fine di dare l'istruzione scientifica e tecnica necessaria a conseguire il diploma d'Ingegnere civile e quello di Architetto”, e che “Per essere ammesso a una Scuola di Applicazione si richiede che il giovane, fatti almeno due anni di studio presso una Facoltà universitaria di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, abbia ottenuto la licenza fisico-matematica, e i certificati di diligenza ai corsi di Mineralogia, di Geologia e di Disegno o di Ornato e di Architettura.”

Questo regolamento introdusse dunque la prassi del “due più tre”, cioè biennio propedeutico più triennio di applicazione, rimasta felicemente in vigore fino alla

riforma “tre più due” del ministro Luigi Berlinguer (governo D’Alema), introdotta il primo novembre 2001.

A Bologna la Scuola fu istituita nel 1877, ma il primo anno era già stato attivato nel 1875, in sostituzione del soppresso Corso pratico per ingegneri, cosicché nell’anno scolastico 1877-78 erano attivi tutti e tre gli anni di corso.

Riguardo ai programmi dei corsi, gli argomenti prima afferenti a “Matematica applicata” e poi a “Meccanica applicata” trovarono una più adeguata trattazione in corsi specifici, la maggior parte dei quali assunse la denominazione ancora oggi in uso: “Meccanica razionale”, “Idraulica”, “Meccanica applicata alle costruzioni” (poi “Scienza delle costruzioni”), “Meccanica applicata alle macchine”, “Macchine termiche, idrauliche e agricole” (poi “Macchine”).

### ***L’inizio della Meccanica applicata alle macchine: Giacinto Gautero e Antonio Silvani***

Il primo docente di Meccanica applicata alle macchine nella neonata Scuola di Applicazione fu Antonio Silvani, incaricato del corso nel 1877/78 e, dopo la morte del professor Gautero, dal 1881/82 al 1887/88 [ingegneria.sba.unibo.it].

Antonio Silvani (Bologna 1840-1915) – nipote del suo omonimo Antonio Silvani, che fu noto patriota, giurista e uomo politico – si laureò nella Facoltà di Matematica a Bologna, seguì un interessante tirocinio pratico in Belgio e dal 1868 al 1906 coprì presso l’Istituto Tecnico “Pier Crescenzi” prima la cattedra di Meccanica applicata alle macchine e poi quella di Matematica e Geometria. Di lui Francesco Masi scrisse che, “abbandonati i vecchi programmi, diede al suo corso un indirizzo affatto moderno, seguendo le nuove vedute nelle ricerche teoriche e sperimentali della meccanica delle macchine” [Masi, 1930].

Il primo professore ordinario di Meccanica applicata alle macchine fu Giacinto Gautero [ingegneria.sba.unibo.it], già docente presso una Scuola professionale di Biella, e autore di un fortunato Manuale Hoepli dal titolo *Macchinista e Fuochista*. Il professor Gautero vinse il concorso di Meccanica applicata alle macchine nel 1879-80, avendo come unico titolo un testo didattico per scuole professionali [Gautero, 1876]; anche in seguito non ebbe modo di svolgere un’attività significativa nella sua disciplina, perché morì prematuramente. Dimostrò tuttavia il suo interesse per la materia, presentando nel 1880 all’Accademia delle Scienze di Bologna una memoria dal titolo *Di una classe di meccanismi a tre membri*.

Il programma del professor Gautero comprende argomenti – esposti con le metodologie e secondo i punti di vista del tempo – tuttora d’interesse della Meccanica applicata alle macchine (per maggiore chiarezza, si usa la terminologia ora corrente e non quella originale): Cinematica del corpo rigido, Introduzione alla teoria dei meccanismi, Trasmissione del moto (camme, ruote dentate, rotismi, organi flessibili, manovellismi, giunti e innesti), Rendimento, Resistenze passive, Equilibrio dinamico, Regolarizzazione del moto. Accanto a questi, sono presenti temi introdotti, con ogni evidenza, per ovviare alla mancanza di alcuni corsi specifici, in particolare Tecnologia meccanica e Costruzione di macchine: “Studio di alcune macchine per la lavorazione dei metalli e legnami” e “Costruzione delle parti delle macchine”. Molti argomenti

erano presenti anche nell'opera di Venturoli, ma qui l'impostazione è assai più evoluta e aggiornata; inoltre, i capitoli su Teoria dei meccanismi, Camme, Regolarizzazione del moto, Macchine per la lavorazione dei metalli e Costruzione delle parti delle macchine, mostrano una concezione corretta della Meccanica applicata alle macchine, trattata da Gautero come un'autonoma Scienza dell'Ingegneria: coerentemente con il panorama internazionale del settore e con quanto previsto nel regolamento del 1876.

### **Francesco Masi**

Francesco Masi (Guastalla 1852 - Bologna 1944), v. Fig. 8, tenne il corso di Meccanica applicata alle macchine come incaricato nel 1889-90, come professore straordinario dal gennaio 1891 al dicembre 1897 e da ordinario dal gennaio 1898 all'ottobre 1927.

Nell'introduzione al suo testo di Meccanica applicata alle macchine [Masi, s.d.], Masi afferma che l'oggetto del corso è lo studio degli organi delle macchine: definizione inadeguata, ma riscattata da quanto scrive nel seguito, quando precisa – rifacendosi ad Ampère – che la materia è divisa in due parti: la Teoria dei meccanismi e la Cinetica delle macchine. La prima tratta della composizione delle macchine e dei moti geometrici, mentre la seconda mette in conto le forze, le resistenze passive e il lavoro meccanico. Una terza parte, poi, deve trattare il calcolo degli organi delle macchine, per supplire alla mancanza di un corso di Costruzione di macchine.



Figura 8. Francesco Masi e frontespizio del testo "La teoria dei meccanismi".

PRINCIPI DI CINEMATICA TEORICA. Moto relativo – Polari e assoidi del moto relativo – Curve di frizione – Ruote dentate.

CINEMATICA DEI MECCANISMI. Composizione dei meccanismi – Principi generali sulla composizione cinematica dei meccanismi – Classificazione – Sistemi articolati, meccanismi a vite, cunei ed eccentrici, bocciuoli, meccanismi a frizione, rotismi dentati, arpionismi, meccanismi ad elementi duttili.

CINETICA DELLE MACCHINE. Lavoro industriale – Forza viva – Equazione generale delle macchine – Rendimento – Studio dell'attrito di strisciamento specialmente in rapporto colle materie lubrificanti – Attrito di rotolamento – Aderenza – Rigidezza delle funi e delle catene – Resistenza dei fluidi – Rendimento dei principali organi delle macchine: piano inclinato, cuneo, vite, prismi, perni, guide del moto rettilineo, meccanismi a manovella, ruote di frizione, ruote dentate – Trasmissioni per cinghie e corde, trasmissioni telodinamiche e cicliche – Trasporto di carichi – Rulli, rotelle, carri – Macchine per sollevare pesi – Troclee, taglie, paranchi, argani, gru – Teoria dell'urto – Trasmissione del lavoro nei meccanismi a manovella – Volanti – Regolatori – Contrappesi – Freni – Indicatori – Dinamometri e dinamometrografi.

DISEGNO DI MACCHINE. Copia dal vero e a mano libera di organi di collegamento – Trasmissioni ordinarie – Alberi, Giunti, Supporti, Pulegge – Calcolo e disegno di viti, ruote di frizione e dentate, di una trasmissione per cinghie e per corde, e di un volante – Calcolo e disegno di macchine per sollevare pesi e di macchine operatrici – Esercizi relativi alle varie teorie svolte nelle lezioni orali.

ESERCITAZIONI PRATICHE. Esperienze d'attrito – Applicazione del freno dinamometrico, dell'indicatore e dei dinamometri a trazione e a rotazione.

VISITE A STABILIMENTI INDUSTRIALI

*Figura 9. Programma di Meccanica applicata alle macchine del professor F. Masi per l'anno 1908/09.*

Un esame più puntuale del programma d'insegnamento, v. Fig. 9, permette comunque di affermare che con Francesco Masi il corso assume una fisionomia moderna e attuale, soprattutto nell'impianto generale, che punta molto sugli aspetti pratici e applicativi, ma con un'impostazione scientificamente rigorosa e sostanzialmente in linea con i più avanzati risultati internazionali [Borgnis, 1818], [Willis, 1841], [Giulio, 1854], [Reuleaux, 1876], in particolare per quanto riguarda la composizione dei meccanismi; poco sviluppata è, invece, l'analisi cinematica dei sistemi articolati.

Si deve peraltro rilevare che in alcuni settori fondamentali della disciplina – come la dinamica delle macchine, le vibrazioni meccaniche, la lubrificazione e la tribologia – le teorie scientifiche erano ancora inadeguate, e si svilupparono durante e dopo il periodo della docenza di Masi. Un esempio sono le esperienze sull'attrito [Masi, 1897<sup>1</sup>], importanti ed egregiamente condotte. I risultati furono di notevole interesse applicativo: ma, in realtà, non riguardavano l'attrito, ma la lubrificazione idrodinamica. Questo errore d'interpretazione non va imputato a



Masi, ma allo stato delle teorie della lubrificazione e, più in generale, della tribologia, perfezionate solo verso la metà del XX secolo.

La più importante area di attività di Francesco Masi, sia in campo didattico sia nella ricerca, è senz'altro quella relativa alla Teoria dei Meccanismi [Masi, 1897<sup>2</sup>], che abbraccia temi teorici della Cinematica e Dinamica del corpo rigido e problematiche più applicative, come l'analisi e la sintesi dei meccanismi. La vastità dei temi trattati è ancora oggi una caratteristica essenziale della Meccanica applicata alle macchine, che la rende essenziale per la preparazione dell'ingegnere industriale.

Il metodo didattico di Masi, che fa ampio ricorso a dimostrazioni sperimentali, è estesamente esposto in [Ceccarelli e Molari, 2016], mentre la situazione generale dell'organizzazione della didattica nella Scuola per ingegneri di Bologna al tempo della docenza di Masi è descritta in [Meneghetti, 2017]. L'attività e l'influenza di Francesco Masi per quanto riguarda sia la didattica sia l'attività scientifica, sono illustrate anche in [Ceccarelli, 2012].

Come accennato più sopra, nonostante l'industrializzazione in atto nel Paese, le scuole d'ingegneria – tranne quella di Torino – preparavano ancora solo ingegneri civili e architetti. Masi mostra di avere una visione più aderente alla realtà, introducendo nel suo corso diversi argomenti di base dell'ingegneria industriale, come si rileva soprattutto nel secondo volume del testo di Meccanica applicata alle macchine [Masi, s.d.], ricco di esercitazioni e di esempi numerici relativi a tali argomenti.

### ***Le riforme del 1913, 1926 e 1935***

Il D.R. 6 settembre 1913 stabilisce che le scuole di applicazione hanno per fine di dare l'istruzione scientifica e tecnica necessaria a conseguire il diploma d'ingegnere e quello di architetto. L'innovazione è importante, infatti le scuole conferiscono ora il diploma di "ingegnere" e non più quello di "ingegnere civile". Bologna, però, continua a conferire solo i diplomi in ingegneria civile e in architettura.

Il successivo D.R. 14 ottobre 1926 introduce anche a Bologna l'ingegneria industriale, stabilendo che «La Regia Scuola d'Ingegneria di Bologna ha per fine di impartire l'istruzione scientifica e tecnica necessaria per conseguire la laurea in ingegneria civile, ingegneria industriale e in architettura, nonché di contribuire al progresso degli studi nel campo della ingegneria». Un'altra novità importante, come si vede, è l'esplicito riferimento al "progresso degli studi", cioè all'attività di ricerca, fino ad allora sottintesa, ma in modo alquanto ambiguo.

La Fig. 10 riporta l'ordinamento degli studi per l'anno 1926/27. La Meccanica applicata alle macchine è materia fondamentale sia per l'ingegneria industriale, sia per quella civile; il corso è tenuto dal professor Francesco Masi nell'anno 1926/27, e dal professor Aristide Prosciutto dall'anno 1927/28.

Nel 1935 la riforma De Vecchi converte le Scuole in Facoltà incorporate nelle Università e suddivide in sottosezioni sia la sezione civile (sottosezioni edile, idraulica e trasporti) sia la sezione industriale (sottosezioni chimica, elettrotecnica e meccanica) [Calcagno, 1997], [Cardone e La Mantia, 2007].

INGEGNERIA CIVILE		
I ANNO	II ANNO	III ANNO
Scienza delle costruzioni Meccanica applicata alle macchine Fisica tecnica Chimica applicata Materiali da costruzione, costruzioni civili ed industriali Mineralogia e geologia applicate Lingue straniere (corsi facoltativi)	Architettura tecnica (biennale) Geodesia e Topografia Idraulica Elettrotecnica Macchine termiche e idrauliche Materie giuridiche Lingue straniere (corsi fac.)	Ponti Costruzioni stradali e ferroviarie Architettura tecnica (biennale) Impianti elettrici e misure elettriche Ingegneria sanitaria Costruzioni idrauliche Esercizio e materiale ferroviario El. di agronomia – attuaria – estimo Lingue straniere (corsi fac.)
INGEGNERIA INDUSTRIALE		
I ANNO	II ANNO	III ANNO
Scienza delle costruzioni Meccanica applicata alle macchine Fisica tecnica Chimica analitica Chimica applicata Materiali da costruzione, costruzioni civili ed industriali Mineralogia e geologia applicate Lingue straniere (corsi fac.)	Topografia Idraulica Elettrotecnica generale Macchine termiche e idrauliche Tecnologia meccanica Costruzione di macchine Chimica industriale (biennale) Lingue straniere (corsi fac.)	Impianti industriali Materie giuridiche (sem.) Economia e legislazione ind. (sem.) Impianti elettrici e misure elettriche Costruzioni idrauliche Esercizio e materiale ferroviario Chimica industriale (biennale) Ingegneria sanitaria Lingue straniere (corsi fac.)

Figura 10. Ordinamento degli studi dell'anno 1926/27.

## 2.2.4. La Meccanica applicata alle macchine nella Facoltà di Ingegneria

### **Aristide Prosciutto**

Aristide Prosciutto (Bologna 1895-1954), v. Figg. 11 e 12, svolse il corso di Meccanica applicata alle macchine dal 1927 al 1954: come incaricato dal 1927/28 al 1931/32; come straordinario dal 1932/33 – poi ordinario dal 1935/36 – fino al 1947/48; come incaricato per l'anno 1948/49 e dal 1951/52 al giugno 1954. Negli anni 1949/50 e 1950/51 il corso fu tenuto per incarico da Gino Morandi, futuro ordinario di Macchine.

Fra i lavori scientifici, quelli che riguardano direttamente la Meccanica applicata alle macchine trattano la teoria della lubrificazione, gli ingranaggi – con particolare riguardo alle ruote per assi sghembi – le vibrazioni e i regolatori.



*Figura 11. Aristide Prosciutto e Fausto Caboni.*

Per quanto concerne il corso, nell'introduzione del suo testo, con visione moderna, scrive che «la Meccanica applicata alle macchine ha per oggetto di studiare gli elementi che entrano nella composizione delle macchine [...] in relazione ai loro movimenti [...] nonché al modo di agire delle forze in gioco» [Prosciutto, 1956]. Dal testo stesso e dal programma del corso, riportato in Fig. 13, si rileva che la trattazione dei vari argomenti è aggiornata e in molti casi ancora accettabile – la lubrificazione idrodinamica, per es., è esposta partendo dall'equazione di Reynolds, e nello studio dei sistemi articolati si introduce l'analisi cinematica di velocità e di accelerazione per via grafica, sia pure solo per il manovellismo di spinta e senza generalizzazione del metodo – anche se, ovviamente, l'importanza relativa dei vari temi è oggi mutata. Scarsa attenzione è però ancora data alla dinamica e quasi nulla alle vibrazioni meccaniche, mentre, non essendo ancora nati i corsi di Controlli automatici, la regolazione delle macchine motrici è sempre oggetto di trattazione, ma ancora senza prendere in considerazione la “caratteristica meccanica” delle macchine. In seguito all'introduzione, nel curriculum dell'ingegneria industriale, degli insegnamenti di Costruzione di macchine e di Tecnologia meccanica, il programma non prevede più i cenni ai contenuti di base di tali materie, ancora presenti nel corso di Masi.

Professore straordinario di Meccanica applicata alle macchine dall'1.11.1932, poi ordinario dall'1.11.1935; trasferito a Macchine dall'1.11.1948.

Professore incaricato di Meccanica applicata alle macchine dal 1927-28 al 1931-32 e ancora per l'A.A. 1948-49 e dal 1951-52 al giugno 1954; di Tecnologia meccanica dal 1932-33 al 1934-35; di Costruzioni di macchine dal 1935-36 al 1947-48; di Fisica tecnica nel 1949-50 e 1950-51.

Direttore dell'Istituto di Meccanica applicata alle macchine dal 1927-28 al 1946-47, poi direttore incaricato nel 1948-49 e dall'1.11.1950 a giugno 1954; direttore incaricato dell'Istituto di Costruzione di macchine nel 1935-36; direttore dell'Istituto di Macchine dall'1.11.1948 a giugno 1954; direttore incaricato dell'Istituto di Fisica tecnica dall'1.11.1950 al 31.10.1952.

Preside della Facoltà di Ingegneria dal 1945 al 1947.

*Figura 12. Curriculum accademico del professor Aristide Prosciutto.*

### ***Gino Morandi, Fausto Caboni***

Il professor Gino Morandi, poi ordinario di Macchine, svolse per incarico il corso di Meccanica applicata alle macchine negli anni 1949/50 e 1950/51. Malgrado Morandi fosse dotato di una forte personalità, è da presumere che nella sua qualità di assistente con incarico d'insegnamento abbia svolto il corso adeguandosi all'impostazione del professor Prosciutto. Dopo la prematura morte di quest'ultimo, dal 1954/55 al 1957/58 il corso fu tenuto per incarico dal professor Fausto Caboni (Meldola 1911 - Bologna 1977), che in seguito divenne professore ordinario di Costruzione di macchine. Il professor Caboni, v. Fig. 11, dotato di un innato talento di educatore e molto apprezzato dagli studenti, adottò il testo del professor Prosciutto, arricchendo la didattica di interessanti esercitazioni.

### ***Le riforme dal secondo dopoguerra al 2001***

Con il D.P.R. n. 53/1960, il biennio propedeutico fu portato nelle facoltà di ingegneria e i corsi di laurea divennero nove: Ingegneria civile (sezioni edile, idraulica, trasporti), meccanica, elettrotecnica, chimica, navale e meccanica, aeronautica, mineraria, elettronica, nucleare. Per l'immatricolazione era ancora necessario il diploma di maturità classica o scientifica, ma durante gli anni Sessanta l'accesso fu aperto anche ai diplomati degli istituti tecnici.

A Bologna, nel 1960/61 erano attivi i corsi di laurea in Ingegneria civile (sezioni edile, idraulica, trasporti), meccanica, elettrotecnica, chimica, mineraria, elettronica, nucleare. Il successivo D.P.R. del 20 maggio 1989 riordinò l'offerta in tre settori – civile, dell'informazione e industriale – con quattordici corsi di laurea, di cui due intersettoriali. Nel 1990 furono istituiti i Diplomi Universitari, successivamente assorbiti dalla più generale riforma degli ordinamenti didattici contenuta nel D.M. 509/99.

Dal punto di vista della storia delle discipline, la riforma più rilevante fu l'introduzione, con la legge n. 341/1990, dei settori scientifico-disciplinari (SSD): da questo momento, ogni materia si identifica con il SSD di appartenenza. In pratica, discipline come la Meccanica applicata alle macchine esplodono, ricomprendendo – sotto la specie di SSD – tutte le materie che trattano qualcuno degli ambiti da essa derivati, o nei quali essa può essere suddivisa. Di conseguenza, dopo il 1990 la storia della Meccanica applicata alle macchine è quella del suo SSD, che, per la cronaca, è il settore ING-IND/13 – Meccanica applicata alle macchine. Da questa data, pertanto, esporremo per sommi capi le vicende – docenti, discipline e ricerche – dell'intero settore.

Infine, come vedremo meglio più avanti, nel 2001/02 entrò in vigore la riforma cosiddetta "tre più due". Nel 2000/01, ultimo anno prima dell'introduzione di tale riforma, la situazione degli insegnamenti del Settore ING-IND/13 era la seguente:

- sei corsi di Meccanica applicata alle macchine: Ingegneria Elettrica (professor Alberto Maggiore); Ingegneria Elettronica e Informatica (professor Vincenzo Parenti Castelli); Ingegneria Gestionale (professor Giorgio Dalpiaz); Ingegneria Meccanica (professor Umberto Meneghetti); Ingegneria Nucleare (professor Alberto Maggiore);

I. COMPOSIZIONE CINEMATICA DEI MECCANISMI. Classificazione delle coppie e delle catene cinematiche. Proprietà delle superfici coniugate, delle polari e degli assoidi del moto relativo. Costruzioni grafiche. Classificazione di meccanismi. Inversioni cinematiche.

II. PRINCIPI DI DINAMICA DELLE MACCHINE. Forze agenti sugli organi delle macchine. Forze d'inerzia, resistenze passive. Equazione delle forze vive. Vari regimi di moto delle macchine. Equilibrio dinamico. Lavoro industriale. Potenza. Rendimenti.

III. ATTRITO E RESISTENZE PASSIVE. Attrito radente fra superfici asciutte. Teoria del logoramento. Attrito fra superfici lubrificate: teoria, risultati sperimentali. Attrito nei perni portanti e di spinta. Attrito di rotolamento. Aderenza. Cuscinetti a rulli e a sfere. Teoria dell'urto. Perdite d'urto. Resistenza del mezzo. Cenni sulla teoria delle superfici portanti e sui fondamenti dell'aerodinamica.

IV. STUDIO CINEMATICO E DINAMICO DEI SINGOLI MECCANISMI. a) *Meccanismi costituiti da coppie elementari*. Piano inclinato. Cuneo. Guide del moto rettilineo. Sistemi articolati e meccanismi derivati. Manovellismi. Meccanismi a vite. Applicazioni. b) *Meccanismi costituiti da coppie superiori*. Ruote di frizione. Ruote dentate. Ruotismi. Camme. Eccentrici. Bocciuoli ecc. Applicazioni. c) *Meccanismi ad organi flessibili*. Trasmissioni a cinghie, corde, catene, ecc. Applicazioni. Gru, paranchi, argani, ecc. d) *Organi principali delle macchine e meccanismi vari*. Assi. Alberi. Perni. Manovelle ecc. e) *Applicazioni della resistenza dei materiali ai principali organi delle macchine, alle armi da fuoco, ecc.*

V. L'UNIFORMITÀ DEL MOTO DELLE MACCHINE E L'EQUILIBRAMENTO. Effetti particolari delle forze d'inerzia. Forze centrifughe. Effetti giroscopici. Teoria e calcolo dei volani. Vibrazioni e oscillazioni elastiche nelle macchine. Alberi flessibili.

VI. ORGANI DI REGOLAZIONE DELLE MACCHINE. Teoria generale dei regolatori a forza centrifuga. Tipi fondamentali. Regolatori indiretti. Servomotori.

VII. APPARECCHI DI MISURA E DI CONTROLLO DELLE MACCHINE. Tachimetri. Dinamometri. Indicatori. Freni dinamometrici. Torsiometri ecc.

ESERCITAZIONI. Disegni e schizzi di organi semplici delle macchine, trasmissioni ordinarie, alberi, giunti, supporti. Calcolo e disegno di ruote dentate e di frizione, di trasmissioni ad organi flessibili, di volanti, regolatori e di meccanismi vari. Esercizi relativi alle teorie svolte nel corso di lezioni orali. Esperienze sulle macchine con apparecchi di misura e di controllo. Visite a stabilimenti industriali.

Figura 13. Programma del corso del professor Prosciutto per l'anno 1934/35.

- un corso di Meccanica dei robot (professor Vincenzo Parenti Castelli). Questo corso, iniziato nel 1988, fu nel tempo il terzo corso con questo contenuto istituito presso un'Università italiana;
- un corso di Meccanica delle vibrazioni (professor Umberto Meneghetti).

### **Ettore Funaioli**

Ettore Funaioli (Siena 1923 - Bologna 2006), v. Fig. 14, è stato Professore di Meccanica applicata alle macchine nell'Università di Bologna dal 1958 al 1995; un breve curriculum vitae è riportato in Fig. 15.

La Meccanica applicata alle macchine del professor Funaioli è ancora oggi viva e attuale, sia nei contenuti, sia nell'impostazione, che è rigorosa ma metodologicamente ingegneristica. Il fine è chiarire ciascun problema e trattarlo avendo presente la necessità di arrivare sempre a una soluzione: e se questa è approssimata, avendone ben chiari i limiti. La trattazione – esposta in lezioni sempre molto efficaci e brillanti – avviene pertanto nel modo classico: illustrazione e impostazione del problema, modello fisico e suoi limiti, modello matematico e suo sviluppo, risultati e loro discussione.

La materia è suddivisa in quattro parti: 1. Composizione dei meccanismi; 2. Tribologia e lubrificazione; 3. Teoria dei meccanismi; 4. Dinamica delle macchine e vibrazioni meccaniche. I contenuti del corso sono rispecchiati dai titoli dei capitoli della prima edizione del testo di Meccanica applicata alle macchine, v. Fig. 16.

Il corso è quindi impostato – secondo una tradizione già presente a Bologna – come una disciplina autonoma, mentre in altre Sedi, pur prestigiose, si preferiva ancora trattare la Meccanica applicata alle macchine come applicazione della Meccanica razionale, suddividendola in Cinematica applicata, Statica applicata e Dinamica applicata: una scelta che rende più difficile affrontare i singoli problemi in modo globale, come richiesto da un approccio ingegneristico.

In particolare, la trattazione della Composizione dei meccanismi e della Teoria dei meccanismi – che occupa la maggior parte del corso – mette in evidenza la mirabile capacità di sintesi del professor Funaioli, che riesce ad esporre in modo chiaro e conciso i concetti e le nozioni fondamentali, riportando – in modo originale e nella dimensione adeguata al corso di Meccanica applicata alle macchine – i risultati rintracciabili nei trattati allora più recenti e aggiornati, quali ad es. [Hartenberg e Denavit, 1964].

Per quanto riguarda l'evoluzione della Meccanica applicata alle macchine nel lungo periodo della docenza del professor Funaioli, essa è legata a diversi fattori.

Il primo, ovvio e sempre presente, è l'evoluzione della tecnica, che incide sia sui contenuti della materia, sia sull'enfasi data ai singoli argomenti. In particolare, come lui stesso affermò in una relazione letta all'Accademia delle Scienze di Bologna il 29 aprile 1998, «i nuovi mezzi di calcolo hanno inciso anche sulla didattica, portando innovazioni sostanziali. È certo che alcuni capitoli della Meccanica applicata alle macchine – in particolare l'analisi dei sistemi articolati, lo studio dei fenomeni vibratorii, la dinamica di sistemi complessi – non possono sottrarsi all'impiego di [tali] mezzi. Ma, soffermandoci in particolare sull'analisi dei sistemi articolati, a mio parere è necessario che non vengano taciuti i procedimenti di calcolo tradizionale, basati soprattutto su semplici procedimenti grafici. E ciò per far sì che l'allievo si renda ben conto dell'aspetto fisico del problema studiato (stiamo attenti a coltivare il senso fisico degli allievi!)».

Un secondo fattore è la differenziazione fra i diversi corsi di laurea, che impose una corrispondente diversificazione anche negli insegnamenti. Poiché la materia è di base, solo alcuni argomenti possono in realtà essere trattati in modo diverso: ad

esempio, la geometria delle ruote dentate è di primario interesse per gli allievi meccanici, mentre per gli altri può essere tralasciata, laddove rimangono invece importanti per tutti le applicazioni delle ruote stesse. Inoltre, mentre per alcuni corsi di laurea la materia è in parte propedeutica ad insegnamenti successivi, per altri deve essere conclusa in sé stessa, come ai tempi di Masi.

Un ulteriore elemento che influisce sui contenuti del corso è l'introduzione di insegnamenti specialistici – spesso a scelta – che ne sviluppano e approfondiscono alcune parti. L'evoluzione della tecnica ha infatti portato molti settori della Meccanica applicata alle macchine ad una espansione tale da giustificarne la trattazione autonoma, come nel caso della Tribologia, della Robotica e della Meccanica delle vibrazioni. Bologna dovette naturalmente fare i conti con le scarse forze disponibili: la scelta cadde allora sulle Vibrazioni, trattate nel corso “Meccanica applicata alle macchine, corso avanzato” – che dal 1993/94 assume la denominazione di “Meccanica delle vibrazioni” – e sulla Robotica, trattata nel corso di “Meccanica dei robot”.

Durante il periodo della docenza del professor Funaioli, nell'Università sopravvennero cambiamenti molto importanti. Prima di tutto, si passò dall'università di élite all'università di massa: nel 1958/59, gli allievi del triennio erano circa duecento per anno, mentre nel 1994/95 gli iscritti ai cinque anni erano 8.226 in corso, più 5.484 fuori corso; ciò comportò anche una moltiplicazione del numero dei docenti. Per quanto riguarda l'organizzazione interna, gli Istituti – con la struttura basata sulla triade professore, assistente, bidello – furono sostituiti dai Dipartimenti, governati da organismi elettivi con inevitabili, e forse opportune, dialettiche interne. Dalle cattedre si passò infine, come sopra accennato, ai settori scientifico-disciplinari, il che comportò di necessità la formazione di gruppi di ricerca molto più ampi.

Il professor Funaioli ha guidato con saggezza istituzionale e benevola disponibilità il settore della cosiddetta “meccanica fredda”, preparandolo ad affrontare al meglio la nuova situazione e i nuovi problemi. Piace qui ricordare anche la sua capacità di valo-



*Figura 14.  
Ettore Funaioli  
e il frontespizio  
del primo volume  
della prima  
edizione del suo  
testo “Meccanica  
applicata alle  
macchine”.*

Ettore Funaioli (Siena 1923 - Bologna 2006) è stato professore di Meccanica applicata alle macchine nell'Università di Bologna da 1958 al 1995. Laureatosi in Ingegneria presso l'Università di Pisa, iniziò ivi la carriera universitaria. Nel 1956 vinse il concorso alla Cattedra di Meccanica applicata alle macchine presso l'Università di Cagliari e nel 1958 fu chiamato a Bologna per ricoprire la stessa Cattedra nella Facoltà di Ingegneria, conservando tale titolarità sino alla data del pensionamento per limiti di età, quando gli fu conferito il titolo di Professore Emerito.

Fu direttore dell'Istituto di Meccanica applicata alle macchine fino a quando questo conflui nel DIEM - Dipartimento di Ingegneria delle costruzioni meccaniche, nucleari, aeronautiche e di Metallurgia, del quale fu il primo direttore. Coprì numerosi incarichi accademici, fra i quali: membro dei Comitati di coordinamento dell'Università della Calabria e della Facoltà di Ingegneria di Forlì e Prorettore dell'Università degli Studi di Bologna. Era Accademico Benedettino dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna. Nel 1979 gli fu conferito il diploma di prima classe come benemerito della scuola, della cultura e dell'arte. Fu tra i membri fondatori dell'AIMETA, Associazione Italiana di Meccanica Teorica e Applicata.

La produzione scientifica riguardò in un primo tempo argomenti di aeronautica e di aerodinamica. In seguito si occupò, sempre brillantemente, di lubrificazione, di meccanismi e loro componenti, di dinamica delle macchine. Grande attenzione riservò sempre alla trasmissione agli allievi della sua dottrina, insieme al culto della serietà, dell'onestà e dell'impegno professionale.

Alla didattica, sempre in primo piano nei suoi pensieri, Ettore Funaioli si dedicò con un impegno straordinario e senza riserve, testimoniato anche dal suo noto testo di *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine*. Dal 2007 i suoi allievi organizzano ogni anno una "Giornata di Studio Ettore Funaioli".

Figura 15. Curriculum vitae del professor Ettore Funaioli.

I VOLUME		II VOLUME	
I	Composizione dei meccanismi	I	Richiami di dinamica
II	Forze agenti sulle macchine	II	Moti oscillatori
III	Forze di contatto fra solidi	III	Equilibratura degli alberi rotanti rigidi
IV	Le coppie cinematiche lubrificate	IV	Velocità critiche degli alberi
V	Richiami di cinematica del corpo rigido ed applicazioni ai meccanismi	V	Dinamica delle macchine alternative
VI	I sistemi articolati	VI	Dinamica del quadrilatero articolato
VII	Meccanismi con sagome e camme	VII	Dinamica degli impianti funzionanti in condizioni di regime periodico
VIII	Ruote dentate	VIII	Regolazione della velocità angolare
IX	Rotismi		
X	Applicazioni degli organi flessibili. Macchine di sollevamento		
XI	Applicazioni degli organi flessibili. Trasmissione del moto fra due alberi. Freni a nastro.		

Figura 16. Capitoli della prima edizione del testo di *Meccanica applicata alle macchine* del professor Funaioli.



rizzare le risorse umane, con primaria e gerarchica considerazione per gli interessi e le necessità delle Istituzioni: Università, Facoltà, Istituto o Dipartimento, Settore disciplinare. Dal 2007 i suoi allievi organizzano annualmente una Giornata di studio intitolata al suo nome [Meneghetti e Parenti Castelli, 2017].

### ***La riforma “tre più due”***

Nel 2001/02 entrò in vigore il nuovo Ordine degli studi triennale [Cardone e La Mantia, 2007], [Diotallevi, 2012], con il successivo biennio per la laurea di II livello, denominata inizialmente Specialistica e poi Magistrale. Questa riforma provocò il dimezzamento della durata media dei singoli corsi di insegnamento, e il conseguente aumento del loro numero. Anche i contenuti, naturalmente, dovettero essere adeguati: operazione, questa, molto faticosa e non sempre riuscita al meglio.

La riforma, come è noto, introdusse i crediti formativi universitari (CFU) come misura del peso didattico dei corsi. Il corso di Meccanica applicata alle macchine della laurea triennale venne sdoppiato, per alcuni corsi di laurea, nei due insegnamenti – di sei CFU ciascuno – “Meccanica delle macchine” e “Meccanica degli azionamenti”, mentre per altri corsi di laurea ne rimase solamente uno.

L'istituzione dei due livelli di laurea permise di introdurre un numero maggiore di corsi specialistici; in particolare, nel settore disciplinare della Meccanica applicata alle macchine: “Dinamica delle macchine e dei robot LS”, “Meccanica delle macchine LS”, “Meccanica delle macchine automatiche L”, “Meccanica delle vibrazioni LS”. Negli anni successivi, la tendenza fu di aumentare ancora il numero di tali insegnamenti, ampliando l'offerta didattica e facilitandone l'aggiornamento.

La situazione del Settore nell'anno 2017/18 sarà riassunta nell'ultimo paragrafo di questo capitolo.

### ***Umberto Meneghetti e Alberto Maggiore***

Umberto Meneghetti (Mantova 1937), entrato nell'università nel 1962 come assistente, è stato professore di ruolo di Meccanica applicata alle macchine dal 1973 al 2009; dopo il pensionamento, l'Ateneo gli ha conferito il titolo di Professore Emerito. È membro dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna. Fra il 1968 e il 2016, oltre al compito istituzionale, ha tenuto per incarico numerosi corsi, tra i quali: Complementi di Meccanica applicata alle macchine, Disegno, Meccanica degli azionamenti L, Meccanica delle macchine LS, Meccanica delle macchine M, Meccanica delle vibrazioni M. In alcuni di questi corsi ha introdotto o sviluppato argomenti che nel corso di base non trovavano spazio per una trattazione adeguata: in particolare, i temi riguardanti l'accoppiamento motore-utilizzatore, la modellazione elastodinamica dei meccanismi e le vibrazioni meccaniche. Alcune di queste linee di sviluppo sono state poi riprese e ampliate, con contenuti scientificamente molto aggiornati, dai docenti e ricercatori della generazione successiva.

L'attività di ricerca ha riguardato argomenti classici – come la lubrificazione idrodinamica e organi meccanici quali le camme e le ruote dentate – e argomenti al

tempo più nuovi, come la lubrificazione a gas, la modellazione elastodinamica dei meccanismi e la diagnostica industriale mediante l'analisi delle vibrazioni.

Alberto Maggiore (Bologna 1942) iniziò la carriera universitaria entrando nell'Istituto di Meccanica applicata alle macchine come assistente nel 1968. Nel 1981 venne nominato professore straordinario di Meccanica delle macchine presso l'Università di Bologna e quindi, dal 1984, professore ordinario della stessa materia. Dal 1987 al 1994 è stato coordinatore del Dottorato di ricerca in Meccanica applicata; dal 1991 al 1994 è stato direttore del Dipartimento di Ingegneria delle costruzioni meccaniche, nucleari, aeronautiche e di metallurgia; nel biennio 2011-2012 è stato direttore del Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale - Meccanica Avanzata e Materiali. L'attività didattica ha compreso l'insegnamento di varie discipline: Diagnostica dei sistemi meccanici, Dinamica delle macchine, Disegno, Macchine utensili, Meccanica applicata alle macchine, Meccanica tecnica.

Per quanto riguarda l'attività di ricerca, si è occupato di ottimizzazione di meccanismi (sistemi articolati e camme), di studio del funzionamento e del comportamento dinamico di organi di macchine (cuscinetti a gas, volano, manipolatori per robot), di monitoraggio di macchine con organi rotanti e di monitoraggio dell'integrità strutturale degli organi delle macchine.

I professori Maggiore e Meneghetti, in collaborazione con il professor Funaioli, curarono anche una riedizione del testo di quest'ultimo. In particolare, per la laurea triennale – come già accennato – il contenuto del corso di Meccanica applicata alle macchine fu ripartito su due insegnamenti, “Meccanica delle macchine” e “Meccanica degli azionamenti”, a ciascuno dei quali è dedicato un volume del testo. Nel primo sono trattati gli argomenti di base, mentre nel secondo sono esposti quelli più applicativi, alcuni dei quali non presenti nei testi classici della Meccanica applicata alle macchine. Dopo la morte del professor Funaioli, gli stessi hanno preparato un terzo volume, rivolto agli allievi del biennio (laurea specialistica, poi magistrale), che tratta principalmente della meccanica delle vibrazioni.

### ***Dalla Facoltà di Ingegneria alla Scuola di Ingegneria e Architettura: Vincenzo Parenti Castelli***

Vincenzo Parenti Castelli (Bologna 1949), dopo essere stato prima assistente e poi professore associato di Meccanica applicata alle macchine a Bologna, nel 1990 vinse la cattedra della stessa materia e, dopo alcuni anni in altra sede, nel 1994 fu richiamato nell'Università di Bologna, dove divenne subito coordinatore del Dottorato di ricerca in Meccanica applicata.

L'attività di ricerca, inizialmente rivolta a diversi temi della disciplina, si è concentrata poi su alcuni argomenti specifici, che si possono così riassumere: metodi avanzati di analisi e sintesi di meccanismi spaziali in catena aperta o chiusa; studio di nuove architetture di meccanismi cedevoli elastici e di metodi di modellazione orientati al controllo in tempo reale; algoritmi per la valutazione dell'influenza dei giochi nei manipolatori in catena aperta e in catena chiusa; affinamento dei modelli di meccanismi equivalenti per lo studio del moto passivo delle articolazioni umane,

in particolare ginocchio e caviglia; sintesi e progettazione di arti protesici innovativi per amputati di spalla e di ginocchio.

Dal 2000 è membro dell'Istituto Lombardo - Accademia delle Scienze e Lettere, dal 2011 dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna e dal 2016 della EUAS - EU Academy of Sciences. È stato *editor* della prestigiosa rivista "Meccanica" dal 2004 al 2011. L'intenso impegno nella ricerca, l'ampio coinvolgimento internazionale attraverso collaborazioni con numerosi organismi scientifici e i prestigiosi successi ottenuti, hanno dato nuovo impulso ad una autorevole scuola di Meccanica applicata alle macchine, formata da giovani studiosi e ricercatori, alcuni dei quali hanno ormai raggiunto un'autonoma maturità scientifica.

La didattica, oltre la Meccanica applicata alle macchine, riguarda soprattutto la robotica, in particolare la meccanica e la dinamica dei robot, dove Parenti Castelli ha portato i temi più attuali della materia.

### ***Il Settore della Meccanica applicata alle macchine nel 2017/18***

Riportiamo di seguito in maniera sintetica la situazione dei corsi, dei docenti e dei ricercatori nell'anno 2017/18 nelle due sedi di Bologna e Forlì.

#### *A - Docenti e ricercatori*

Professori ordinari: Vincenzo Parenti Castelli e Alessandro Rivola. Professori associati: Marco Carricato, Giuseppe Catania, Rocco Vertechy. Ricercatori: Alberto Martini, Marco Troncosi, Nicola Sancisi, Alessandro Zanarini. Professori ordinari in pensione: Alberto Maggiore, Umberto Meneghetti.

#### *B - Docenti del Settore e rispettivi insegnamenti svolti nella sede di Bologna*

Vincenzo Parenti Castelli: 1) Fundamentals of Mechanics of Machines M – 6 CFU. Insegnamento in inglese. Laurea magistrale in Automation Engineering / Ingegneria dell'automazione; 2) Meccanica dei robot M – 6 CFU. Laurea magistrale in Ingegneria meccanica. 3) Industrial Robotics - 3 CFU. Insegnamento in inglese di complessivi 6 CFU diviso in due moduli di 3 CFU. Laurea magistrale internazionale Automotive. 4) Foundations of Mechanics of Machines, Part 2 – 5 CFU. Insegnamento in inglese di complessivi 9 CFU. Laurea Magistrale Automation Engineering. Insegnamento svolto a Shanghai nell'ambito del progetto Almatong fra Unibo e la Tongji University di Shanghai.

Giuseppe Catania: 1) Fondamenti di Meccanica delle macchine T – 6 CFU. Laurea in Ingegneria energetica; 2) Laboratorio di Meccanica delle vibrazioni e sperimentazione sui sistemi meccanici M – 6 CFU. Laurea magistrale in Ingegneria meccanica; 3) Meccanica delle vibrazioni M – 6 CFU. Componente del corso integrato Meccanica delle vibrazioni e degli azionamenti fluidodinamici M. Laurea magistrale in Ingegneria meccanica.

Marco Carricato: 1) Meccanica degli azionamenti T – 6 CFU. Laurea in Ingegneria meccanica; 2) Meccanica delle macchine M – 6 CFU. Laurea magistrale in Ingegneria meccanica.

Rocco Vertechy: 1) Meccanica delle macchine T - 6 CFU. Componente del corso integrato Meccanica applicata alle macchine T. Laurea in Ingegneria meccanica; 2) Mechanics of Machines for Automation M - 9 CFU. Insegnamento in inglese. Laurea magistrale in Automation Engineering / Ingegneria dell'automazione. 3) Industrial Robotics - 3 CFU. Insegnamento in inglese di complessivi 6 CFU diviso in due moduli di 3 CFU. Laurea magistrale internazionale Automotive.

Alessandro Zanarini: Fondamenti di Meccanica applicata alle macchine T-2 - 6 CFU. Laurea in Ingegneria dell'automazione.

Nicola Sancisi: 1) Fondamenti di Meccanica applicata alle macchine T-1, modulo 1 - 6 CFU. Laurea in Ingegneria dell'automazione; 2) Meccanica applicata alle macchine T - 6 CFU. Laurea in Ingegneria dell'energia elettrica.

Michele Conconi: Fondamenti di Meccanica applicata alle macchine T-1, modulo 2 - 3 CFU. Laurea in Ingegneria dell'automazione.

*C - Docenti del Settore e rispettivi insegnamenti svolti nella sede di Forlì*

Alessandro Rivola: 1) Meccanica applicata alle macchine - 6 CFU. Componente del corso integrato Meccanica delle macchine e dei materiali. Laurea in Ingegneria meccanica; 2) Meccanica applicata alle macchine - 6 CFU. Laurea in Ingegneria aerospaziale; 3) Meccanica e dinamica delle macchine LM - 9 CFU. Laurea magistrale in Ingegneria meccanica; 4) Meccanica e dinamica delle macchine LM (Modulo 2). Laurea magistrale in Ingegneria meccanica.

Marco Troncosi: 1) Meccanica degli azionamenti - 6 CFU. Laurea in Ingegneria meccanica; 2) Meccanica dei robot e delle macchine automatiche - 6 CFU. Laurea magistrale in Ingegneria meccanica.

Alberto Martini: 1) Costruzione di macchine automatiche e robot LM (Modulo 2). Laurea magistrale in Ingegneria meccanica. 2) Motorcycle Dynamics - 3 CFU. Insegnamento in inglese di complessivi 6 CFU. Laurea magistrale internazionale Automotive.

## 2.2.5. Conclusioni

L'analisi condotta, sia pure in modo succinto, a partire dall'inizio del XIX secolo - cioè da prima che la Meccanica applicata alle macchine esistesse con tale nome - ha permesso di evidenziare le linee evolutive della disciplina.

All'inizio, infatti, un'unica materia d'insegnamento, Meccanica applicata, comprendeva tutta la "Meccanica dell'Ingegneria", cioè la Meccanica razionale, la Meccanica dei solidi, la Scienza e la Tecnica delle costruzioni, la Meccanica delle macchine e l'Idraulica. Alla Meccanica applicata, infatti, fra la seconda metà del XVIII e l'inizio del XIX secolo, illustri studiosi avevano finalmente conferito, a livello internazionale, un'adeguata dignità scientifica. A poco a poco, il successivo sviluppo della scienza e della tecnica portò al riconoscimento dell'importanza pratica e del

peso scientifico delle singole branche della Meccanica applicata, e, in particolare, alla nascita della Meccanica applicata alle macchine.

Limitandoci a considerare quest'ultima disciplina, l'inarrestabile ingresso nella ricerca e nella tecnica di nuovi temi e lo sviluppo di quelli classici ha reso necessaria la comparsa, nel suo ambito, di ulteriori materie, in grado di introdurre anche nella didattica almeno le novità più significative. A Bologna, in particolare, ricerca e didattica si sono sviluppate in tre campi: quello delle Vibrazioni meccaniche, considerate anche sotto l'aspetto dei rilievi sperimentali e delle loro applicazioni; quello della Biomeccanica, con particolare riguardo alle applicazioni al settore della salute, quali protesi, ortesi e altro; e infine quello dell'Automazione, con argomenti quali le macchine automatiche, i robot, la mecatronica. Questo, lungi dal diminuire l'importanza della disciplina di base, ne ha esaltato la funzione di ricondurre anche le nuove materie al loro denominatore comune, evitando il rischio che esse possano diventare uno sterile inseguimento di novità transitorie, destinate ad essere presto superate da altre.

Fortunatamente ciò non si è verificato, e l'intero settore della Meccanica applicata alle macchine dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna – malgrado la insoddisfacente consistenza numerica del corpo ricercatore e docente – gode oggi di ottima salute, sia sotto l'aspetto della ricerca, sia sotto quello della didattica.

## Riferimenti

- Agricola G. (1563), *De Re Metallica*. ANIM, 1994.
- Annuario della Regia Università di Bologna*, <http://amshistorica.unibo.it/193>.
- Borgnis J.A. (1818), *Traité complet de mécanique appliquée aux art*. Paris, Bachelier.
- Calcagno G.C. (1997), *La Scuola per gli ingegneri dell'Università di Bologna tra Otto e Novecento*. Annali di storia delle università italiane, Vol. 1.
- Cardone V., La Mantia F.P., a cura di, (2007), *La storia dell'ingegneria e degli studi di ingegneria a Palermo e in Italia*. Quaderni della Conferenza dei Presidi delle Facoltà di Ingegneria, Cooperativa Editrice Universitaria Salernitana, ISBN 978-88-95028-03-1.
- Ceccarelli M. (2012), *Attività e influenza di Francesco Masi in Italia alla fine del XIX secolo*. In: *Scienza e tecnica nel Settecento e nell'Ottocento*, a cura di E. Mesini e D. Mirri, Bologna, CLUEB, 467-492. ISBN 878 88 4913697 5.
- Ceccarelli M., Molari P.G. (2016), *Come insegnare la meccanica. Il metodo di Francesco Masi all'Università di Bologna e all'Istituto Aldini Valeriani*. Museo del Patrimonio Industriale di Bologna, Rivista "Scuola e Officina", n. 2.
- Chelini D. (1860), *Elementi di meccanica razionale, con appendice sui principii fondamentali delle matematiche*. Bologna, Giuseppe Legnani.
- D'Agostino S. (2014), *Note di Storia dell'Ingegneria in Italia*. In: *Storia dell'ingegneria. Atti del 5° Convegno nazionale*. Cuzzolin, ISBN 8887479801.
- Decretales Gregorii IX* (c. 1300-1340), London, British Library, Manuscript Royal 10E, f.99v.
- de Honnecourt V. (XIII sec.), *The Medieval Sketchbook*. New York, Dover, 2006, ISBN 0486443582.

- Della Fratta Montalbano M.A. (1678), *Pratica minerale*. Bologna, Manolessi.
- Diotallevi P.P. (2012), *Una Facoltà tra due Scuole. La Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, 1935-2012*. In: E. Masini e D. Mirri (a cura di), *Scienza e Tecnica nel Settecento e nell'Ottocento*, Bologna, CLUEB, ISBN 978 88 491 3697 5.
- Funaioli E. (1970), *Corso di Meccanica applicata alle macchine*. Bologna, Casa editrice Prof. Riccardo Pàtron.
- Funaioli E., Maggiore A., Meneghetti U. (2008), *Lezioni di Meccanica applicata alle macchine. Prima parte: Fondamenti di Meccanica delle macchine*. Bologna, Pàtron, ISBN 88 555 2829 7.
- Galilei G. (1594), *Delle Meccaniche, per la prima volta pubblicate ed illustrate da A. Favaro*, Venezia, 1899.
- Gasnault F. (2001), *La cattedra, l'altare, la nazione. Carriere universitarie nell'Università di Bologna, 1803-1859*. Bologna, CLUEB, ISBN 88 491 1595 4.
- Gautero G. (1876), *Principii generali di meccanica e di statica grafica*. Biella, Tip. Amosso.
- Gies F., Gies J. (1995), *Cathedral, Forge, and Waterwheel*. New York, Harper Collins, ISBN 0 06 092501 7.
- Gimpel J. (1975), *La Révolution industrielle du Moyen Âge*. Paris, Seuil, ISBN 2 02 054151 3.
- Giulio C.I. (1854), *Elementi di cinematica applicata alle arti*. Torino, Stamperia Reale.
- Groff H. (1529), *La mine mode d'emploi*. Paris, Gallimard, 1992, ISBN 2 07 0568 X.
- Hartenberg R.S., Denavit J. (1964), *Kinematic Synthesis of Linkages*. New York, McGraw-Hill, ISBN 0 07 02691 06.
- ingegneria.sba.unibo.it/chi-siamo/storia-e-collezioni/fonti-per-la-storia-della-scuola* Alma Mater Studiorum – Università di Bologna. Biblioteca interdipartimentale di Ingegneria e Architettura. Progetto di digitalizzazione degli Annuari della Scuola dal 1877 al 1935.
- Kalendarium Archigymnasii Bononiensis (1828-1859)*, <http://amshistorica.unibo.it/188>
- Masetti G.B. (1827), *Note ed aggiunte agli elementi di meccanica e d'idraulica del professore Giuseppe Venturoli compilate da G. B. Masetti*. Bologna, Tipografia Cardinali e Frulli.
- Masi F. (1897<sup>1</sup>), *Le nuove vedute nelle ricerche teoriche ed sperimentali sull'attrito. Determinazione del valore industriale dei lubrificanti*. Bologna, N. Zanichelli.
- Masi F. (1897<sup>2</sup>), *La teoria dei meccanismi*. Bologna, N. Zanichelli.
- Masi F. (1930), *Antonio Silvani: Commemorazione letta alla Società Agraria di Bologna nell'adunanza del 13 dicembre 1929*. Tip. Cuppini, 1930. Estratto da: *Annali della Società Agraria di Bologna*, Vol. 57. Consultabile presso la Biblioteca dell'Archiginnasio di Bologna.
- Masi F. (s.d.), *Meccanica applicata alle macchine*. Biblioteca interdipartimentale di Ingegneria e architettura, Cod. SBN UBO3525869.
- Mazzetti S. (1847), *Repertorio di tutti i professori antichi, e moderni, della famosa università, e del celebre istituto delle scienze di Bologna*. Bologna, Tipografia S. Tommaso d'Aquino. Reperibile in: <https://books.google.it>.
- Meneghetti U. (2016), *Dynamic Analysis of an Ancient Tilt-Hammer*. In: López-Cajún C., Ceccarelli M., Eds., *Explorations in the History of Machines and Mechanisms. Proc. of the 5th IFToMM Symposium on the History of Machines and Mechanisms*, 235-244, ISBN 978 3 319 31182 1.
- Meneghetti U. (2017), *L'organizzazione della didattica nella Scuola di Ingegneria di Bologna al tempo di Francesco Masi 1891-1927*. In: *Decima Giornata di Studio Ettore Funaioli, 15 luglio 2016*, ISBN 978 88 9385 037 7.
- Meneghetti U., Parenti Castelli V., a cura di, (2017), *Decima Giornata di Studio Ettore Funaioli, 15 luglio 2016*, ISBN 978 88 9385 037 7.

- Molari P.G. (2012), *Quirico Filopanti professore di meccanica applicata*. In: E. Mesini e D. Mirri (a cura di), *Scienza e tecnica nel Settecento e nell'Ottocento*, Bologna, CLUEB, 493-518.
- Prosciutto A. (1956), *Elementi di Meccanica applicata alle macchine*. Bologna, R. Pàtron.
- Regolamento per l'abilitazione alle professioni di Perito, Architetto, ed Ingegnere Civile* (1882), In: *Collezione di pubbliche disposizioni emanate in seguito al moto proprio di N. S. Papa Pio Settimo sulla organizzazione dell'amministrazione pubblica, Tomo V*. Roma, presso Vincenzo Poggioli.
- Rees A., ed., (1820), *The Cyclopaedia; or, Universal Dictionary of Arts, Sciences, and Literature*. London, T.N. Longman and O. Rees.
- Reuleaux F. (1876), *Principi fondamentali di una teoria generale delle macchine (Theoretische Kinematik*, traduzione G. Colombo). Milano, Hoepli.
- Venturi L. (1890), *Notizie sulla condizione del dottor ingegnere Luigi Venturi*. Bologna, Biblioteca di Casa Carducci, Codice SBN UBO2366801.
- White L. Jr (1962), *Medieval Technology & Social Change*. Oxford, Oxford University Press, ISBN 978 0 19 500266 9.
- Willis R. (1841), *Principles of Mechanism*. London, John W. Parker.

## 2.3. DISCIPLINE STORICHE E FORMAZIONE DEGLI ARCHITETTI E INGEGNERI ALL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA TRA OTTO E NOVECENTO

*Francesco Ceccarelli*

### 2.3.1. Premessa storica

Una lunga e ben solida tradizione dell'insegnamento delle "matematiche miste", ovvero sia applicate, fu alla base della formazione scientifica degli apprendisti ingegneri e architetti che frequentarono l'università di Bologna tra Settecento e Ottocento. Per tutti coloro che volevano acquisire delle rigorose competenze professionali da spendere poi al servizio di una sempre più esigente committenza sia pubblica che privata, il prestigio della istituzione universitaria bolognese fu a lungo un magnete dalla forte capacità attrattiva. Lo Studio preparava infatti "matematici pratici" grazie a un processo formativo che da sempre privilegiava gli aspetti teorici, senza perdere di vista un' altrettanto rigorosa preparazione sperimentale e sul campo.

Questo modello formativo teorico-pratico per la preparazione dei tecnici nei campi della *res aedificatoria* e della *mechanica*, che risaliva a esperienze cinquecentesche in larga parte ancora da approfondire<sup>1</sup> e prima ancora alle medievali scuole di abaco, si sarebbe consolidato nel corso del Settecento attorno a quella straordinaria scuola sperimentale che fu l'Istituto delle Scienze e delle Arti, fondato da Luigi Ferdinando Marsili nel 1711, ricalcando l'impianto della *Royal Society* londinese e della *Académie des sciences* di Colbert<sup>2</sup>. È infatti grazie al prestigio di questo fecondo laboratorio accademico che la scuola bolognese avrebbe poi giocato per tutto il XVIII secolo un ruolo di assoluto rilievo, affiancandosi all'antico Studio sia per garantire una preparazione più solida nel campo delle scienze, sia per formalizzare quei precoci tentativi di "certificazione" e tutela giuridica delle professioni degli ingegneri, architetti e periti, che nella città emiliana risalgono addirittura al 1744<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Ancora tutto da esplorare è il tema delle esercitazioni di carattere architettonico e prospettico tenute all'interno dell'accademia carraccesca, a cui accenna C.C. Malvasia, *Felsina Pittrice*, Bologna 1678, I, pp. 277 e 308; per cui si veda anche G. P. Zanotti, *Storia dell'Accademia Clementina di Bologna aggregata all'Istituto delle Scienze e delle Arti*, Bologna 1739, I, p. 5. Sull'insegnamento dell'architettura di Ulisse Aldrovandi presso lo Studium bolognese nel secondo Cinquecento, si rinvia a F. Ceccarelli, *Studi di Architettura di Ulisse Aldrovandi*, in «Annali di Architettura» n. 28, 2016, pp. 63-82.

<sup>2</sup> Sull'Istituto delle Scienze e delle Arti di Marsili la bibliografia è vastissima. Si veda almeno: *De Bononiensi Sceniarum et Artium Instituto atque Academia Commentarii*, a cura di F.M. Zanotti e S. Canterzani, 10 voll., Bologna 1731-1791; G. Bolletti, *Dell'origine e dei progressi dell'Istituto delle Scienze di Bologna*, Bologna 1751; M. Cavazza, *L'istituto delle scienze: il contesto cittadino: la costruzione di una nuova "casa di Salomone"*, in *L'università a Bologna: maestri, studenti e luoghi dal 16° al 20° secolo*, a cura di G.P. Brizzi, L. Marini, P. Pombeni, Cinisello Balsamo 1988, pp. 165-174.

<sup>3</sup> Cfr. D. Lenzi, *L'insegnamento dell'architettura e la formazione dell'architetto a Bologna nel secolo XVIII*, in *L'architettura nelle accademie riformate. Insegnamento, dibattito culturale, interventi pubblici*, a cura di G. Ricci, Milano 1992, pp. 71-96; M. Giumanini, *La scuola di architettura nella Accademia Clementina di Bologna*,



Alla metà del XVIII secolo il governo bolognese avviò pertanto un processo di inquadramento normativo delle attività professionali che si affermò in parallelo a un decisivo miglioramento qualitativo nella formazione dei tecnici e a un rilancio della città degli studi nel suo complesso. I corsi teorici di geometria, di prospettiva e di meccanica forniti dall'Istituto marsiliano si sarebbero svolti parallelamente a quelli pratici e di disegno offerti dalla Accademia Clementina, assicurando un *mix* virtuoso di competenze specializzate e garantite dal continuo interscambio culturale e operativo.

È importante sottolineare come nel progetto marsiliano di istruzione superiore, l'educazione dei tecnici e in particolare quella degli ingegneri e degli architetti, dovesse essere potenziata da robuste iniezioni di teoria (ancora una volta in particolare le matematiche), di cultura storica (prevalentemente legata a nozioni di architettura romana e rinascimentale), di disegno e di sapienza pratica, queste ultime da ottenersi soprattutto potenziando le risorse della biblioteca e del gabinetto sperimentale dei modelli, radunati in una camera particolarmente ben allestita di quella moderna e baconiana "casa di Salomone" che Bernard de Fontenelle riconobbe come compiutamente realizzata proprio in questo contesto bolognese<sup>4</sup>. In particolare la dimensione storica dell'architettura e la conoscenza del suo linguaggio espressivo per via di confronti stilistici e dell'apprendimento degli ordini, fu tenuta in alta considerazione all'interno dell'Istituto sia per quanto riguardò l'organizzazione dei corsi di architettura civile (basilare in questo caso fu l'impiego del manuale di Ferdinando Galli Bibiena, *Direzioni a giovani studenti nel disegno dell'architettura civile*) che per quelli di architettura militare, come ben testimonia ancora la Camera di Architettura militare riallestita nei moderni musei universitari, dove l'insegnamento veniva impartito anche attraverso lo studio comparato dei "sistemi" fortificati messi a punto fin dal secondo Cinquecento<sup>5</sup>.

Con la riforma napoleonica degli studi del 1802, l'università di Bologna godette, in misura superiore a quella di Pavia, di particolari attenzioni politiche e finanziarie, prima da parte della amministrazione della Repubblica italiana e poi di quella del Regno d'Italia. Oltre alla approvazione del grandioso "piano per i locali studi" del 1805 ideato dai commissari napoleonici Barnaba Oriani e Giuseppe Bossi e disegnato dall'architetto Giovan Battista Martinetti (1764-1830), che comportò la realizzazione di quello che va riconosciuto come il primo moderno campus universitario italiano, realizzato attraverso nuovi stabilimenti immersi nel verde degli orti accademici disposti a ridosso della Porta San Donato, Bologna sperimentò anche una nuova

---

in *La memoria disegnata, documenti, lettura, conservazione, utilizzo*, Atti delle giornate di studi mengoniani (Fontanelice, 15 novembre 2003), a cura di A.M. Guccini, Bologna 2004, pp. 37-60.

<sup>4</sup> M. Cavazza, *La "casa di Salomone" realizzata?*, in *I materiali dell'Istituto delle Scienze*, a cura di A. Emiliani, Bologna 1979, pp. 42-54.

<sup>5</sup> S. Leydi, *I modelli di fortificazione della camera di architettura militare*, in *La scienza delle armi. Luigi Ferdinando Marsili 1658-1730*, Bologna 2012, pp. 155-165; cfr. anche l'ottimo inquadramento generale sul tema fornito da F. Simoni, *Scuola d'artiglieria, laboratorio scientifico, museo delle meraviglie: apparenze e sostanza dell'architettura militare dell'Istituto delle Scienze di Bologna*, in *La Scienza delle armi*, cit., pp. 125-142.

organizzazione didattica attraverso la moderna suddivisione in facoltà, che si sarebbe poi conservata per tutto il XIX secolo e oltre<sup>6</sup>.

Come si sarebbero formati i tecnici, architetti e ingegneri, in questa università riformata? In primo luogo dovevano conseguire i gradi accademici presso la facoltà fisico-matematica seguendo un percorso di quattro anni strutturato in modo da sostenere due esami alla fine di ogni biennio. L'organizzazione curriculare prevedeva infatti la frequenza di 15 corsi che coprivano soprattutto materie scientifiche e dunque: fisica generale e sperimentale, geometria, algebra, calcolo sublime, matematica applicata, architettura civile e militare, ma anche analisi delle idee, eloquenza italiana e latina, retorica e diritto civile. Per ottenere poi l'ambita patente, oltre al possesso dei gradi accademici, gli aspiranti ingegneri dovevano infine superare un esame di abilitazione, dimostrando di avere svolto quattro anni di praticantato (che si riducevano a due per gli architetti) come tirocinanti presso un professionista abilitato<sup>7</sup>.

Si consideri poi che a Bologna la riforma universitaria napoleonica riuscì ad innestarsi senza traumi sul ceppo della didattica sperimentale già praticata nell'Istituto delle Scienze, contribuendo a darle continuità e in teoria anche un rinnovato vigore. In accordo con l'impostazione culturale di stampo illuminista che aveva guidato l'esperienza marsiliana, negli anni napoleonici si riaffermò con convinzione una piena adesione dei saperi tecnici ai loro fondamenti scientifici, garantiti dall'ampia offerta di corsi fisico-matematici ancora una volta potenziati dall'osmosi con le discipline artistiche, in primo luogo il disegno prospettico e l'ornato, ma anche lo studio di figura, i cui corsi erano mutuati presso l'Accademia nazionale di Belle Arti, anch'essa altrettanto riformata nello stesso periodo.

La figura di docente-architetto che più caratterizza questi anni di primo Ottocento nell'ateneo bolognese è senz'altro quella di Giovanni Antonio Antolini (1753-1841) (Fig. 1) il quale, da architetto reale responsabile delle fabbriche e dei beni della Corona, fu chiamato nel 1805 a ricoprire la prima cattedra di Architettura civile e militare e quella di Geodesia presso la facoltà fisico-matematica dell'Università Nazionale, dove esercitò un peso culturale significativo, sia proponendo una didattica aggiornata e sviluppata attraverso l'applicazione di "regole generali" aderenti a una sua personale visione dei principi dell'estetica neoclassica, di cui ci restano tracce nelle sue *Idee elementari di architettura civile* del 1813 (Fig. 2) (poi ripubblicate nel 1829), redatte come dispense per gli studenti, sia riordinando criticamente i fondi bibliotecari di architettura acquisiti dalla nuova Università napoleonica, per accompagnare lo studio dell'architettura del passato attraverso il più largo impiego della trattatistica<sup>8</sup>.

<sup>6</sup> Per una sintesi sull'argomento si rinvia a: F. Ceccarelli, *Architettura universitaria e città degli Studi a Bologna negli anni del Regno d'Italia*, in *Istituzioni e cultura in età napoleonica*, a cura di E. Brambilla, C. Capra, A. Scotti, Atti del convegno di studi *Istituzioni e vita culturale in età napoleonica. Repubblica Italiana e Regno d'Italia*, Milano ottobre 2005, Milano 2008, pp. 552-566.

<sup>7</sup> Cfr. M. Giumanini, *Patenti di ingegnere, architetto e perito agrimensore o misuratore nell'Università di Bologna nella prima metà dell'Ottocento*, in «Annali di Storia delle Università italiane», 3, 1999, pp. 183-191.

<sup>8</sup> *L'insegnamento dell'architettura nell'Accademia Braidense ed il contributo di Giovanni Antonio Antolini*, in *Architettura e urbanistica in età neoclassica: Giovanni Antonio Antolini (1753-1841)*, Atti del 1° Convegno di

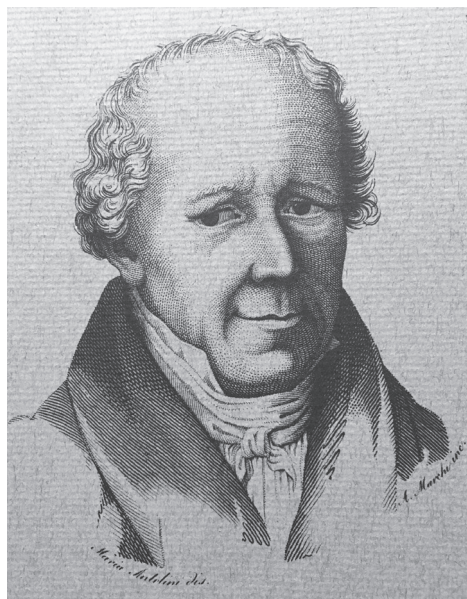


Figura 1. Ritratto di Giovanni Antonio Antolini (1753-1841) (Incisione di A. Marchi da un disegno di Maria Antolini).

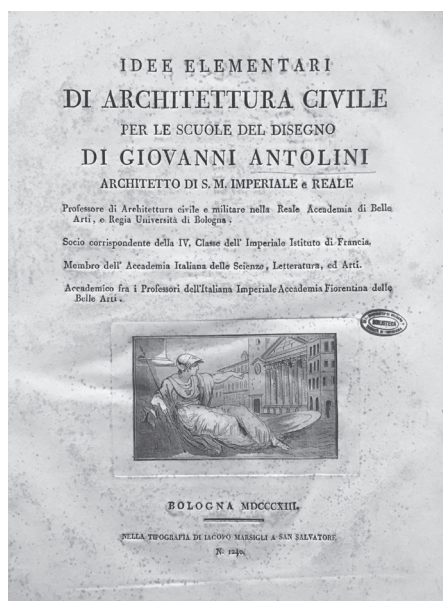


Figura 2. G.A. Antolini, "Idee elementari di architettura civile per le scuole del disegno", Bologna 1813, frontespizio (Biblioteca interdipartimentale di Ingegneria e Architettura, Bologna).

È importante anche ricordare che gli insegnamenti di idrometria e idrostatica, tenuti in alta considerazione nello Studio bolognese del Sei-Settecento, erano stati soppressi localmente dalla riforma napoleonica, che viceversa aveva favorito la istituzione di una Scuola Speciale di Idrostatica aperta a Ferrara nel 1804 in continuità con l'antica tradizione ferrarese di studi idraulici. Su questo ceppo si sarebbe poi innestata, dopo la Restaurazione, la Scuola degli ingegneri pontifici di Ferrara, una delle due Scuole speciali per gli ingegneri dello stato ecclesiastico (l'altra fu aperta a Roma), finalizzate alla formazione del personale tecnico addetto alle opere pubbliche su fiumi e strade dei territori dello Stato della Chiesa.

A queste prime Scuole superiori pontificie per gli ingegneri, potevano tuttavia accedere soltanto coloro che avessero ottenuto i gradi accademici presso la classe filosofico matematica della università di Bologna e di Roma e che dimostrassero di avere pratica del disegno architettonico e della evoluzione degli stili. Nel 1825, per razionalizzare questa organizzazione accademica per certi versi multipolare, Giuseppe

studi antoliniani, a cura di M.G. Marziliano, Faenza, 2003, pp. 277-284; e soprattutto A. Scotti Tosini, *Giovanni Antonio Antolini e l'architettura. Opinioni di un architetto neoclassico sulla trattatistica architettonica*, in *Dal trattato al manuale. La circolazione dei modelli a stampa nell'architettura tra età moderna e contemporanea*, a cura di A. Scotti Tosini, Palermo, 2013, pp. 5-32. Per un profilo biografico dell'Antolini rinvio a F. Ceccarelli, *Giovanni Antonio Antolini (1753-1841)*, in *Contro il Barocco. Apprendistato a Roma e pratica dell'architettura civile in Italia, 1780-1820*, a cura di A. Cipriani, G.P. Consoli, S. Pasquali, Roma, 2007, pp. 351-356.

Venturoli, direttore della Scuola per gli ingegneri di Roma e docente all'università di Bologna, elaborò un progetto per incorporare le scuole per gli ingegneri all'interno delle università, nel tentativo di dare forma a una facoltà tecnica a tutti gli effetti. La sua idea prevedeva di istituire corsi specifici nei soli due atenei primari dello stato della Chiesa, a Roma e Bologna, con l'obiettivo di formare gli studenti riducendo gli studi teorici di base e creando occasioni di tirocinio pratico (condivisi anche con le due accademie di Belle Arti locali) al posto di quel praticantato presso gli studi professionali reputato oramai da più parti come inadeguato e addirittura generatore di fenomeni corruttivi. La riforma andò in porto, ma zoppa, in quanto la Scuola per gli ingegneri venne istituita solo a Roma, mentre a Bologna continuò a funzionare, depotenziato, il percorso universitario tradizionale che prevedeva la frequenza della classe filosofico-matematica nel frattempo alleggerita della cattedra di architettura civile di cui era stato titolare Giovanni Antolini.

Negli anni della Restaurazione l'insegnamento specifico delle discipline architettoniche (limitatamente all'architettura civile) si impartì a Bologna esclusivamente nella pontificia Accademia di Belle Arti, dove fu anche trasferito il gabinetto universitario della Scuola di architettura (con parte delle attrezzature che lo caratterizzavano fin dal tardo Settecento)<sup>9</sup>. Questo contribuì ad accentuare la separazione tra la didattica dei corsi universitari e quella organizzata dentro le Accademie, allargando nuovamente la distanza tra la formazione scientifica di base e la pratica artistica (collegata anche alla conoscenza storica), anziché puntare a una maggiore integrazione tra le due. Restarono invece sostanzialmente immutate le condizioni per il conseguimento dell'abilitazione professionale e delle relative patenti. Si diventava architetti o ingegneri solo dopo avere conseguito i gradi accademici nella classe filosofico matematica, dimostrando di aver frequentato alcuni corsi presso l'Accademia di Belle Arti e sommando gli anni di praticantato negli studi professionali<sup>10</sup>.

Fino a tutti gli anni Cinquanta dell'Ottocento, l'università pontificia si limitò a fornire soltanto una preparazione matematica di base ai futuri professionisti, continuando a delegare ai tirocini esterni l'apprendimento pratico da acquisirsi sul campo. L'insegnamento dell'architettura civile, assieme a quella dell'ornato, venne invece mantenuto in vita presso l'Accademia di Belle Arti dove si avvicendarono nel suo insegnamento docenti architetti che vi si erano formati durante la stagione napoleonica, come Ercole Gasparini (1771-1829), Leandro Marconi (1763-1837), Antonio Serra (1783-1847) e infine Filippo Antolini (1787-1859), figlio del più celebre Giovanni Antonio, i quali rimasero fedeli all'impostazione neoclassica ricevuta per tutta la loro carriera<sup>11</sup>. La cultura storica che costituiva il sostrato dei loro corsi

<sup>9</sup> È documentato il caso dei modelli, tavole ecc. raccolti nella Stanza di architettura militare dell'Istituto delle Scienze, che furono trasferiti alla Accademia di Belle Arti con la perdita di numerosi pezzi, per poi peregrinare in altri ambienti cittadini e infine rientrare a Palazzo Poggi con la istituzione del moderno nucleo dei Musei universitari. Cfr. F. Simoni, *Scuola d'artiglieria*, cit., p. 138, nota 66.

<sup>10</sup> M. Giumanini, *Patenti di ingegnere*, cit.

<sup>11</sup> Per un profilo biografico di questi insegnanti si rinvia a M. Giumanini, *Uomini dell'Accademia: studio prosopografico sui presidenti e sul personale dell'Accademia di belle arti di Bologna (1803-1877)*, Bologna 2008.

consisteva prevalentemente nella conoscenza sommaria del linguaggio degli ordini architettonici codificato dalla trattatistica cinquecentesca e in primo luogo dalla *Regola* del Vignola e nel procedimento di copia di celebri modelli architettonici tratti dall'antico.

Questo modello di formazione universitaria e accademica subì un radicale ripensamento all'indomani dell'entrata delle truppe piemontesi in città e al riassetto generale del sistema dell'istruzione pubblica che ne seguì<sup>12</sup>.

Tutte le vicende dell'insegnamento dell'ingegneria e dell'architettura a Bologna dopo l'Unità d'Italia vanno, infatti, lette nel più vasto contesto della riorganizzazione degli studi tecnici superiori, che fu uno dei grandi temi del dibattito sull'Università nazionale dei decenni 1860-1880.

In questo arco di tempo, due istanze contraddittorie si scontrarono. Da una parte ci furono pressioni affinché l'insegnamento tecnico superiore al livello universitario nell'Italia settentrionale fosse concentrato nelle sole sedi di Milano e di Torino, che avrebbero dovuto essere potenziate secondo i modelli internazionali e segnatamente dei politecnici tedeschi. In particolare si insisteva sulle nuove specializzazioni richieste agli ingegneri in una società che stava attraversando profonde trasformazioni produttive, oltre che sulla impossibilità operativa a estendere la costruzione di nuovi politecnici. Di contro, si rivendicavano i precedenti storici dell'insegnamento proprio dell'ingegneria civile e dell'architettura presso varie sedi universitarie, tra cui appunto Bologna. In un primo tempo furono queste istanze più particolaristiche a prevalere, anche perché esse furono fatte valere al momento dell'annessione dei vari stati al Regno d'Italia.

Vale la pena di ripercorrere rapidamente quanto accadde a Bologna, sia per l'importanza storica della sede universitaria e dunque per il valore anche simbolico e identitario che le politiche di riforma giocarono a livello locale, sia per gli esiti di lungo periodo che le scelte di allora comportarono sulla organizzazione degli studi e i percorsi professionali successivi.

### 2.3.2. Storia e stili architettonici negli anni post-unitari

Nel 1859 Bologna e la Romagna si unirono al regno Sabauda. Nello stesso anno venne promulgata a Torino la ben nota legge Casati che tuttavia non si estese immediatamente all'antico Studio Bolognese, per cui restò invece valido il decreto Cipriani, emesso dal governo di transizione prerreferendario del 1859. Per quanto ci interessa, la formazione di ingegneri e architetti si riconfermava a pieno titolo nel quadro del solo sistema universitario, mentre l'insegnamento dell'architettura nelle Accademie

---

<sup>12</sup> G. Forni, *L'Università di Bologna dalla restaurazione alla unità nazionale*, in «Bollettino del Museo del Risorgimento», 1960, pp. 499-509; A. Körner, *Politics of Culture in Liberal Italy. From Unification to Fascism*, New York & London 2009; C. Collina, F. Tarozzi (a cura di), *E finalmente potremo dirci italiani. Bologna e le estinte Legazioni tra cultura e politica nazionale 1859-1911*, Bologna 2011.

di Belle Arti venne ridimensionato a funzioni ancillari. La facoltà fisico matematica, dalla durata di cinque anni, tornò ad essere al centro del sistema educativo dei tecnici, nel cui piano di studi marcatamente scientifico rientrò nuovamente, dopo una eclissi di quasi mezzo secolo, anche l'insegnamento della "Architettura superiore", già impartito presso la sola Accademia di Belle Arti e proposto in continuità con il precedente corso di Architettura Civile di inizio secolo.

A tenerne l'insegnamento nell'ateneo felsineo a partire dal 1859 fu Fortunato Lodi (1805-1882), un architetto di formazione bolognese, ma a lungo assente dalla scena artistica italiana per avere trascorso diversi anni in Portogallo dove si era affermato come protagonista della progettazione architettonica nella capitale lusitana, ottenendo numerosi riconoscimenti<sup>13</sup>. Una volta rientrato in patria avrebbe partecipato ai moti risorgimentali distinguendosi per attivismo patriottico come l'"architetto delle barricate", secondo la definizione che di lui diede il generale Radetzky. Di idee liberali, fu particolarmente vicino a Marco Minghetti, di cui fu anche l'architetto progettista per l'ampliamento della sua residenza bolognese.

Lodi venne chiamato a Bologna, forse a seguito di una precisa scelta politico culturale del governo provvisorio, per ricoprire simultaneamente gli incarichi vacanti di professore di Architettura superiore alla nuova Accademia centrale di Belle Arti dell'Emilia e di professore di Disegno geometrico e architettura nella facoltà di Scienze fisiche, matematiche e naturali dell'università. Fu dunque lui, fedele a Minghetti come lo fu Coriolano Monti (1815-1880), il progettista perugino messo a capo dell'ufficio tecnico comunale di Bologna negli stessi mesi, a governare la delicata partita per il riordino delle materie di insegnamento e dei *curricula* dei tecnici del progetto. Appena insediato come professore ordinario di Architettura, Lodi si attivò tempestivamente per riordinare la didattica dell'Architettura civile e del disegno (con elementi di Storia dell'Arte), in primo luogo attraverso un rilancio dei laboratori tecnici. Fu titolare dell'insegnamento di Architettura anche presso l'Accademia di Belle Arti, fino a quando, nel 1861, quella Scuola superiore di Architettura non venne trasferita con decreto ministeriale all'Università.

Non a caso, l'anno seguente, nel 1862, la facoltà di scienze matematiche potenziò la sua offerta didattica istituendo per la prima volta un "Corso pratico per gl'ingegneri civili e gli architetti", della durata di due anni, e di carattere specialistico destinato ai più promettenti giovani appena laureati. La competenza matematico fisica dimostrava di essere ancora una volta al centro dell'iter formativo, assieme alla geometria e alla meccanica e, nuovamente, anche al disegno tecnico e architettonico, dove la storia si apprendeva ancora una volta attraverso la copia dei modelli dall'antico. Nel 1868 Lodi guadagnò una nuova carica e venne nominato direttore anche della nuova

<sup>13</sup> L. Franzoni Gamberini, *L'Accademia di Belle Arti di Bologna al momento dell'annessione. 1859, Cincinnato Baruzzi e Fortunato Lodi in due lettere inedite di Silvestro Gherardi a Carlo Mayr*, in «Strenna Storica Bolognese», 1957, pp. 295-300; D. Ravaioli, *Per un profilo di Fortunato Lodi (1805-1882)*, in «Annuario della Scuola di specializzazione in storia dell'arte dell'Università di Bologna», 2003/04, pp. 62-83; Id., *Fortunato Lodi architetto della nuova Pretura urbana di Bergamo*, Bergamo 2004.

Scuola di Disegno e Architettura dell'Ateneo, una originale istituzione che come vedremo giocò un ruolo culturale rilevante, eppure ancora per certi aspetti sottostimato, nella storia recente dell'Università di Bologna. Questa Scuola, classificata negli Annuari dell'Università tra gli stabilimenti scientifici e i musei di ateneo, si sarebbe presto affermata come centro di una didattica pratica e della ricerca laboratoriale di base, rafforzando l'offerta formativa sempre della facoltà fisico matematica.

È interessante notare come questa nuova Scuola si caratterizzasse subito per la presenza di un proprio specifico corredo librario e per le dotazioni del gabinetto di modelli, fotografia e strumentazioni annesso<sup>14</sup>. Questo patrimonio non fu solo oggetto di acquisti mirati, ma risulterebbe provenire anche da fondi preesistenti dell'Accademia di Belle Arti. La circostanza in effetti non dovrebbe stupire, dal momento che proprio all'Accademia di Belle Arti era confluito in precedenza, durante la restaurazione pontificia, il patrimonio del gabinetto di Architettura, già dell'Università, e pertinente alla cattedra di Giovanni Antolini. Probabilmente in età post-unitaria avvenne semplicemente un "rientro" in seno all'Università di quei materiali che ne erano usciti al momento del tramonto del sistema di istruzione napoleonico. Una migrazione che la dice lunga sul modello culturale che si era affermato nell'ateneo pontificio durante la Restaurazione, ma che indica anche la determinazione a rilanciare l'istruzione tecnico scientifica anche mediante l'uso di laboratori nei primi anni di attività della Regia Università.

Purtroppo sappiamo ancora molto poco della didattica che si svolgeva presso la Scuola di Disegno e Architettura, almeno nella sua fase iniziale, avviata all'indomani della nascita del Corso pratico per gli ingegneri civili e gli architetti. Allestita in un primo momento all'interno delle aule cinquecentesche di Palazzo Poggi, la nuova Scuola doveva richiamare alla mente la Camera di Architettura di marsiliana memoria, riallacciandosi, forse non solo idealmente, a quella idea di sapere pratico, e al tempo stesso ben radicato nella cultura storica attraverso la conoscenza dei diversi stili, che tanto era stata coltivata un secolo prima all'interno dell'Istituto delle Scienze. Ciò che maggiormente colpisce, in un'epoca in cui l'organizzazione universitaria stentava a tenere il passo con il progresso tecnico e i programmi di studio risultavano in ritardo cronico rispetto alle dinamiche accelerate dell'innovazione scientifica, è soprattutto il fatto che la Scuola di Disegno e Architettura sia riuscita a rimanere attiva e operante per un arco di tempo di oltre ottant'anni, fino al secondo dopoguerra, chiudendo i battenti soltanto nel 1950.

Non solo essa riuscì a resistere alla crisi contingente e alla soppressione del Corso pratico per gli ingegneri, ritenuto inadeguato rispetto alle sue finalità e chiuso fin dal 1875 assieme a quello di Pisa, ma fu addirittura potenziata in quello stesso anno, al momento della apertura della nuova Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri, di cui fece poi parte integrante per tutta la sua storia, addirittura sopravvivendole per larga

---

<sup>14</sup> Cfr. R. Biavati, *Il fondo librario della Scuola di Disegno e Architettura nella Biblioteca del Dipartimento di Matematica dell'Università di Bologna*, in *Attilio Muggia, Una storia per gli ingegneri*, a cura di M.B. Bettazzi, P. Lipparini, Bologna 2011, pp. 225-228.

parte del Novecento. La ragione di questa longevità va compresa alla luce del fatto che la Scuola di Disegno e Architettura, fu conservata all'interno della facoltà di Matematica, tanto da diventarne, col tempo, un'espressione organica.

Quando nel 1875 fu aperta la Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri, dalla durata triennale, l'iscrizione ai suoi corsi era infatti consentita soltanto a coloro che avessero già conseguito la licenza fisico matematica dell'omonimo corso biennale e la Scuola di Disegno e Architettura era componente integrante di questa propedeuticità. Si veniva così a stabilire una formazione 2 + 3, in cui il biennio di base avrebbe continuato a fornire i fondamenti teorico pratici indispensabili a proseguire nello studio più specialistico e professionalizzante del triennio della Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri. Al biennio si frequentavano sia dei corsi di analisi matematica e di fisica, ma anche di architettura, di disegno e geometria descrittiva con docenti talvolta di eccezionale levatura, come nel caso di Federico Enriquez, a cui fu affidata per anni proprio quest'ultima cattedra. La Scuola di Disegno e Architettura era dunque calata nel biennio della facoltà di Matematica e la sua funzione fu quella di garantire i primi fondamenti disciplinari a chi si avvicinava alle discipline tecniche dopo avere frequentato le scuole superiori. Come ebbe a dire qualche anno più tardi il suo direttore, Antonio Zannoni (1833-1910), era durante il biennio che si conducevano gli studenti «al cospetto del pronao del sapere architettonico», mentre nel triennio della Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri, li si introduceva all'interno dell'edificio per conoscerlo a fondo.

Scompaiono invece dal piano di studi gli insegnamenti di Architettura civile, di matrice dichiaratamente logica, razionale e illuministica, che per oltre un secolo avevano caratterizzato il percorso disciplinare per la formazione degli architetti, mentre al loro posto si sarebbero affermati d'allora in avanti i corsi di Architettura tecnica. Quest'ultima era una materia mista e strategica, funzionale a quel progetto didattico di segno positivista che si proponeva di colmare il ritardo che l'Università italiana scontava rispetto agli altri paesi più industrializzati d'Europa. Nell'insegnamento si provvedeva a dosare in equa misura le nozioni di storia dell'architettura e delle tecniche costruttive con i rudimenti di estetica, i fondamenti di analisi dei repertori tipologici associati allo studio di quelli distributivi, fino ai primi lineamenti di urbanistica.

Fortunato Lodi fu il primo docente dell'Università di Bologna ad essere incaricato dell'insegnamento di Architettura tecnica, tracciando un profondo discrimine con i precedenti corsi di Architettura civile. Nel ricordo che di lui diede Antonio Zannoni all'epoca della sua scomparsa, si sottolinea la sua volontà a superare gli steccati stilistici tradizionali, sia nella prassi professionale che nella didattica superiore, per abbracciare le moderne tecniche costruttive, i nuovi linguaggi espressivi attraverso ibridazioni culturali, in particolare con l'architettura araba o "moresca" da lui conosciuta ed apprezzata nella penisola iberica, capaci di conciliare «le tradizioni nazionali colla necessità della vita moderna»<sup>15</sup>. Lodi diresse anche il Gabinetto di Architettura Tecnica, anch'esso dotato di sue proprie collezioni con modelli, stampe fotografiche

<sup>15</sup> A. Zannoni, *Necrologia del Cav. Prof. Fortunato Lodi*, Bologna 1883, p. 12.



e libri scelti, che vengono elencati in una descrizione del 1881<sup>16</sup>. Nel 1879 fu inoltre attivato per la prima volta uno specifico corso di Stili architettonici, posizionato dapprima al primo anno del triennio della Scuola d'Applicazione e poi al secondo, di cui fu incaricato Raffaele Faccioli (1836-1914), architetto ex garibaldino e membro del Consiglio Comunale cittadino, che si era formato alla Accademia di Belle Arti di Bologna ed era poi cresciuto professionalmente a Roma come assistente di Antonio Cipolla<sup>17</sup>. Faccioli giunge all'insegnamento universitario dopo avere sovrinteso ai restauri del complesso stefaniano di Bologna ed essersi misurato con le teorie di Viollet-le-Duc e del risarcimento storico dell'architettura medievale secondo la lettura storica che in quegli anni ne dava Ferdinand de Darstein (1838-1912)<sup>18</sup>. Con la sua presenza si assicurava così un ulteriore allargamento dell'orizzonte storiografico e stilistico entro il quale si formavano i futuri progettisti, aprendosi anche in questo caso a epoche e linguaggi espressivi che per lungo tempo erano stati esclusi dal repertorio di ormai logori modelli di riferimento, canonizzati prevalentemente attraverso alcuni classici esempi ricorrenti di architettura greco-romana. L'eclettismo di fine secolo trovò pertanto diversi canali per penetrare nelle aule universitarie e incidere durevolmente sulla formazione dei tecnici dell'epoca. L'educazione ai modelli storici passava in primo luogo attraverso i corsi di Disegno, di Architettura tecnica e di Stili architettonici. Significativa fu la creazione del Gabinetto di Stili Architettonici e delle relative Collezioni, la cui direzione fu affidata sempre a Faccioli. Tra i suoi intenti la nuova istituzione aveva dichiaratamente quella di «erudire gli allievi nella storia dell'architettura onde porli in grado di apprezzare i monumenti antichi e di saperne dirigere i restauri»<sup>19</sup>. Anche in questo caso veniva assicurata una solida dotazione di 70 modelli in gesso di ornamenti e modani architettonici, 350 fotografie di monumenti e 320 «carte murali», ossia disegni eseguiti sotto la direzione del docente<sup>20</sup>. La didattica della storia era dunque impostata in chiave fortemente laboratoriale.

Il biennio matematico e la annessa Scuola di Disegno e Architettura non si confusero mai con la Scuola d'Applicazione, ma restarono due corpi distinti, anche se strettamente comunicanti. La vicenda è esemplificata chiaramente dalla storia delle rispettive due biblioteche. Quella della Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri si formò mediante crescenti acquisti distribuiti a ventaglio sulle diverse discipline in-

<sup>16</sup> R. Scuola d'Applicazione per gl'Ingegneri in Bologna, *Notizie concernenti la Scuola e monografie dei Gabinetti*, Bologna 1881, pp. 233-234.

<sup>17</sup> Un profilo biografico di Raffaele Faccioli in P. Monari, *La tormentata formazione degli uffici per la conservazione degli edifici monumentali*, in *Norma e arbitrio. Architetti e ingegneri a Bologna 1850-1950*, a cura di G. Gresleri e P.G. Massaretti, Venezia 2001, pp. 311-316.

<sup>18</sup> Per un inquadramento storico del fenomeno della architettura neomedievale nell'Italia del tempo, cfr. E. Dellapiana, *Il mito del medioevo*, in *Storia dell'architettura italiana. L'Ottocento*, a cura di A. Restucci, vol. II, Milano 2005, pp. 400-421.

<sup>19</sup> R. Scuola d'Applicazione per gl'Ingegneri in Bologna, *Notizie concernenti la Scuola e monografie dei Gabinetti*, Bologna 1881, p. 103.

<sup>20</sup> Ivi, p. 104. Parte dei materiali didattici del Gabinetto di Stili architettonici sono stati recentemente identificati nei depositi della Biblioteca Universitaria di Bologna e saranno presto catalogati e resi accessibili alla consultazione.

gegneristiche con particolare attenzione verso il settore industriale, mentre quella della Scuola di Disegno e architettura, che poteva già contare su una dotazione di prim'ordine, si specializzò investendo prevalentemente nelle discipline del disegno, della storia, dell'archeologia e della progettazione architettonica<sup>21</sup>. Solo saltuariamente un libro comperato per la biblioteca di una Scuola veniva acquistato anche per quella dell'altra, a riprova di un sistema ben regolato e alimentato da precisi investimenti librari mirati e probabilmente concordati preventivamente tra i responsabili scientifici delle due istituzioni. Per inciso, vale la pena di ricordare come ancora oggi il patrimonio librario storico con riferimento alle discipline dell'Architettura proveniente da questi due depositi (uno conservato presso la Biblioteca interdipartimentale di Ingegneria e Architettura "Gian Paolo Dore" e uno presso la Biblioteca del Dipartimento di Matematica) sia di notevole consistenza antiquaria, oltre che ottimamente conservato, e meriti di essere largamente conosciuto e valorizzato culturalmente.

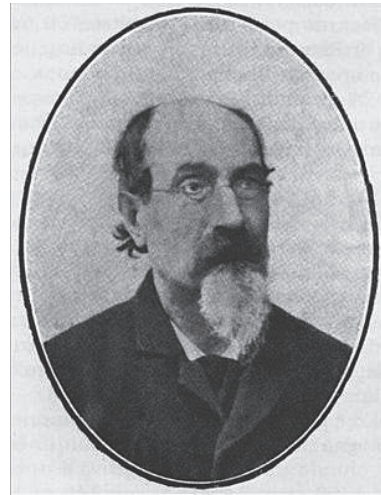


Figura 3. Ritratto di Antonio Zannoni (1833-1910).

Negli ultimi due decenni dell'Ottocento, l'incontro con la dimensione storica dell'architettura da parte degli studenti universitari bolognesi, continuò a tenersi sia in seno al biennio di matematica sia nel successivo triennio della Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri, grazie alla presenza di alcuni docenti particolarmente inclini a questo approccio.

Alla scomparsa di Lodi, nel 1882, si affermò incontrastata la già citata figura di Antonio Zannoni (Fig. 3), il quale si impegnò per l'arco del trentennio al tornante del secolo nell'organizzare una didattica rigorosa e soprattutto compendiarica sia della dimensione storica ed estetica dell'architettura, sia della sua componente più squisitamente tecnico-costruttiva.

Zannoni giunge all'insegnamento universitario nella maturità di una brillante carriera professionale che lo aveva portato a realizzare alcuni dei più significativi progetti della Bologna post-unitaria come ingegnere capo del Comune e libero professionista<sup>22</sup>. Pur spendendo le sue energie in campo accademico prevalentemente nell'insegnamento dell'Architettura tecnica, di cui fu dapprima professore incaricato, poi straordinario (1891) e infine ordinario (dal 1899) presso la Scuola d'Applica-

<sup>21</sup> Cfr. M.P. Torricelli, *La biblioteca della Scuola di Applicazione per gli ingegneri*, in *Attilio Muggia, Una storia*, cit., p. 229.

<sup>22</sup> Su Antonio Zannoni si rinvia a: *Antonio Zannoni nel 150° dell'Unità d'Italia*, a cura di P. Furlan, Bologna 2013 e ai saggi contenuti nel numero monografico a lui dedicato in «Torricelliana, Bollettino della Società Torricelliana di Scienze e Lettere», n. 68, 2017.

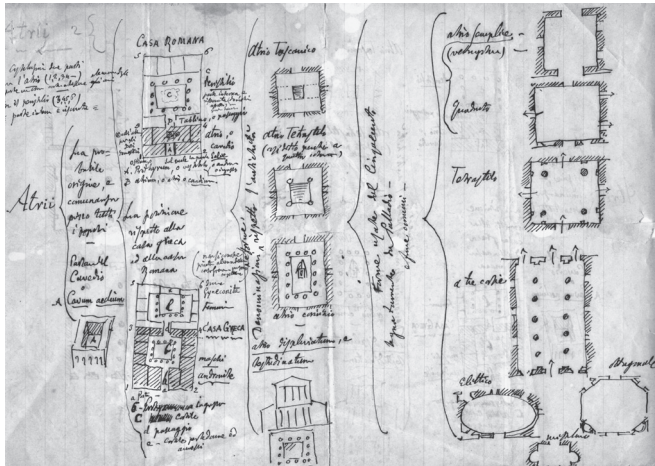


Figura 4. A. Zannoni, “Appunti delle lezioni di storia dell’architettura per il corso di Architettura tecnica” (Biblioteca Universitaria di Bologna).

zione per gli Ingegneri, egli si dedicò intensamente anche alla didattica di base del biennio, dove fu direttore della Scuola di Disegno e Architettura e incaricato di Disegno di ornato e architettura elementare a partire dal 1882. Le sue lezioni, di cui si conservano sia le dispense a cura degli studenti dei corsi sia tracce degli appunti preliminari (Fig. 4), proponevano un insegnamento dell’architettura a partire da una prospettiva storico evolutiva di stampo enciclopedico, basata sulla presentazione di casi esposti attraverso diverse soluzioni tipologiche.

Proponendosi in primo luogo di contrastare quello che egli considerava un diffuso «analfabetismo dell’architettura»<sup>23</sup>, Zannoni fu dichiaratamente contrario a una didattica puramente “manualistica” che riteneva dovesse essere superata attraverso una visione critica fondata su di una consapevole estetica dell’Architettura tecnica<sup>24</sup> e su di una profonda conoscenza dei caratteri degli edifici. Per lui la storia dell’architettura all’interno dei corsi non doveva più essere intesa come mera elencazione di monumenti proposti come *exempla* da copiare per impossessarsi della grammatica degli stili storici, ma come conoscenza critica guidata da principi tipologici ed estetici generali<sup>25</sup>.

Negli ultimi anni della sua carriera accademica Zannoni si spese per estendere i *curricula* dei futuri architetti che si diplomavano all’Università, con nuove mutuaioni di corsi impartiti presso l’Accademia di Belle Arti, tra cui, a partire dal 1904, quelli di Architettura artistica, ornato, plastica e storia dell’arte, a riprova dell’importanza che egli attribuiva a queste discipline “umanistiche”. Va infine registrato come, proprio nel suo ultimo anno di insegnamento (1910), Zannoni nominò suo assistente alla direzione della Scuola di Disegno e Architettura il giovane ingegnere Guido

<sup>23</sup> A. Zannoni, *Dell’uso degli ordini architettonici, nota critica*, Firenze 1896, p. 4.

<sup>24</sup> Per una definizione dell’Estetica dell’Architettura tecnica come «cognizione dei principii tutti costituenti l’edificio», cfr. A. Zannoni, *Lezioni di Architettura Tecnica*, s.n.t., Bologna 1904-1905, pp. 1-3.

<sup>25</sup> Al proposito si veda A. Zannoni, *Lezioni di Architettura Tecnica*, s.n.t., Bologna 1904/05. Sulla didattica di Zannoni si veda anche M.B. Bettazzi, *Antonio Zannoni: Arte e tecnica. La didattica per gli allievi ingegneri*, in «Torricelliana, Bollettino della Società Torricelliana di Scienze e Lettere», n. 68, 2017, pp. 59-72.

Zucchini (Fig. 5) (1882-1957), figura emergente del Comitato per Bologna Storica e Artistica, brillante allievo di Alfonso Rubbiani e suo vero e proprio erede nel campo dei restauri bolognesi durante il periodo tra le due guerre<sup>26</sup>.

La scelta è indicativa della volontà di promuovere una figura di ingegnere civile di ultima generazione, con un robusto *background* tecnico alle spalle e altrettanto sensibile alla conservazione del patrimonio architettonico storico, in particolare quello della città di Bologna, che proprio grazie agli studi storici dello stesso Zucchini, oltre che di Francesco Malaguzzi Valeri, di Corrado Ricci e naturalmente di Alfonso Rubbiani, viveva sempre in quegli anni una stagione di profonda rivalutazione critica e di “riabbellimenti” mediante diffuse campagne di restauri. A ricoprire il ruolo di direttore della Scuola di Disegno e Architettura, alla morte di Zannoni, fu però Edoardo Collamarini (1863-1928), anch’egli cresciuto nell’entourage di Alfonso Rubbiani e all’epoca forse l’architetto emiliano più affermato professionalmente<sup>27</sup>, il quale fu incaricato anche dei corsi di Disegno d’ornato e di Architettura elementare sempre nel biennio. Guido Zucchini conservò comunque il ruolo di assistente alla direzione della Scuola; una scelta che si pone in continuità con l’esperienza precedente e che dimostra la volontà di mantenere in essere un’esperienza didattica di base affidata a tecnici professionisti tanto bene attrezzati nel campo della storia dell’arte e dell’architettura, quanto ben calati negli ambienti professionali e nelle istituzioni sorelle cittadine, come fu l’Accademia di Belle Arti, che sempre il Collamarini arrivò a presiedere nel 1924. Per tutto il periodo che va dall’Unità d’Italia fino alla Prima guerra mondiale, va sottolineata questa relazione di continuità tra gli accademici e la città. I professori di Architettura che si susseguirono dopo la scomparsa di Lodi nel 1882, furono infatti sempre dei professionisti fortemente legati alla municipalità e tra i principali responsabili della sua politica urbana. Uomini dal notevole spessore intellettuale, contribuirono a dare concretezza ai corsi accademici e a valorizzare il contesto operativo locale.

Mentre Collamarini fu in primo luogo un architetto progettista prestato all’insegnamento universitario e alla ricerca scientifica, non altrettanto può dirsi dello



Figura 5. Guido Zucchini (1882-1957), (Bologna, Archivio Comitato per Bologna Storica e Artistica).

<sup>26</sup> Sulla figura di Guido Zucchini si rinvia a L. Ciancabilla, *Guido Zucchini, una biografia*, in «Annali di critica d’arte», n. 5 (2009), pp. 206-227 e M. Fanti, *Le carte di Guido Zucchini donate al Comitato per Bologna Storica e Artistica. Testimonianze del passato guardando al futuro*, in «Strenna Storica Bolognese», 59 (2009), pp. 9-18.

<sup>27</sup> Su Edoardo Collamarini, cfr. G. Miano, *Ad Vocem*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 26, 1982. Alla sua morte fu sostituito da Pietro Ricci nella direzione della Scuola di Disegno e Architettura, di cui conservò la carica solo per un triennio.



Figura 6. Attilio Muggia (1861-1936), (Collezione privata).

Zucchini, che dedicò buona parte del suo tempo alla ricerca storica proprio nel campo dell'architettura, attraverso lo studio accurato e rigoroso delle fonti archivistiche, finalizzato alla ricostruzione delle vicende delle singole fabbriche e del loro restauro, secondo un modello che si ispirava al magistero di Adolfo Venturi e di Corrado Ricci. La presenza di Zucchini nella Scuola bolognese sta a dimostrare che in quel contesto e a quelle date la storia dell'architettura non fu solo materia di insegnamento elementare all'interno di corsi dai contenuti più progettuali, ma un preciso settore di ricerca che doveva svilupparsi con rigore scientifico e spirito critico.

A dare continuità all'insegnamento di Zannoni nel triennio della Scuola d'Applicazione fu invece Attilio Muggia (1861-1936)<sup>28</sup>, che conservò il corso di Architettura tecnica conseguendo l'ordinariato nel 1912 e sviluppandone i programmi didattici secondo una visione omologa a quella che stava affermandosi nell'ateneo patavino per impulso del coetaneo Daniele Donghi (1861-1938), la quale prevedeva il superamento di schemi oramai antiquati a favore di una nuova sintesi tra la figura dell'ingegnere civile e quella dell'architetto *Beaux Arts*. A Muggia (Fig. 6), vero ingegnere omnibus profondamente calato nel ruolo di riformatore dell'ordinamento della Scuola di Ingegneria durante il periodo interbellico, toccò un difficile compito di *governance* proprio negli anni in cui la nascita delle moderne facoltà di Architettura avrebbe profondamente trasformato il quadro della formazione dei tecnici nel campo dell'edilizia.

Dopo essersi formato negli anni del più vivace eclettismo di fine secolo, Muggia accolse con favore le tesi funzionaliste, come già aveva fatto il suo mentore Zannoni, mantenendo però le distanze da esiti formali che non gli furono mai congeniali. Più di lui, Muggia fu sensibile a un'impostazione didattica che tenesse conto delle diverse espressioni dell'architettura in una prospettiva storica globalizzante e, a fine carriera, si dedicò a produrre una ponderosa *Storia dell'architettura dai primordi ai nostri giorni*, pubblicata da Vallardi nel 1933 (Figg. 7-8), con l'idea che potesse fungere da guida illustrata (il volume conta ben 900 immagini tra disegni e fotografie) e compendiarica di esperienze edificatorie millenarie ad uso dei futuri progettisti.

Composto sulla scorta di un lavoro di ordinamento, rielaborazione e potenziamento delle dispense delle proprie lezioni di Storia dell'Architettura (Fig. 9) (tenute

<sup>28</sup> Sulla figura accademica di Attilio Muggia, cfr. P. Lipparini, *Ad vocem*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 77, 2012; Id., *Attilio Muggia. Tecnica e didattica nell'architettura*, in «Strenna Storica Bolognese», 48, 1998, pp. 259-279 e *Attilio Muggia, Una storia*, cit.



Figure 7-8. A. Muggia, “Storia dell’architettura dai primordi ai nostri giorni”, Milano 1933; frontespizio; p. 20: L’architettura del Rinascimento in Emilia.

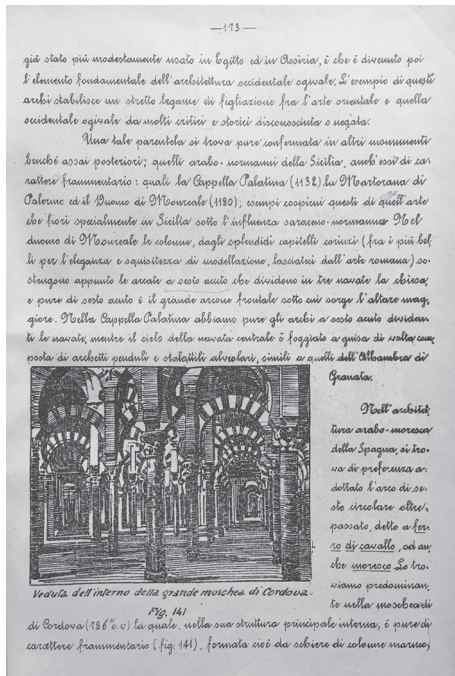


Figura 9. A. Muggia, “Dispense delle lezioni di storia dell’architettura per il corso di Architettura Tecnica”, (Biblioteca interdipartimentale di Ingegneria e Architettura, Bologna).

all'interno del suo corso di Architettura tecnica)<sup>29</sup>, il libro andò presto esaurito ed ebbe una nuova edizione nel secondo dopoguerra, la quale tuttavia non incontrò il favore di un pubblico oramai alla ricerca di proposte culturali più aggiornate.

Nella sua prefazione, Muggia dichiara di avere voluto colmare una lacuna nella letteratura tecnica e artistica italiana, priva di testi monografici del genere, rivendicandosi il merito di estensore di una prima storia generale dell'architettura per la didattica superiore. L'opera merita di essere segnalata per la chiarezza compilativa e l'allargamento tematico (tra i tanti, sono inclusi cenni all'architettura islamica, armena, indiana e cinese) che la qualifica come un prodotto editoriale che puntava sulla storia degli edifici e delle tecniche costruttive, piuttosto che degli stili, delle forme o degli architetti progettisti, senza peraltro ambire a inserirsi nel dibattito ideologico sull'uso della storia per la costruzione di uno "stile nazionale". La *Storia dell'architettura* di Muggia si pone piuttosto in concorrenza con un testo di simile impostazione compendiarica (su più volumi, ma dedicati alla sola esperienza italiana e in minima parte europea) sempre pubblicato da Vallardi in un arco di tempo decennale (1931-1940), quale fu *Le Forme Architettoniche* di Giovan Battista Milani e Vincenzo Fasolo, frutto della esperienza didattica che si andava sviluppando durante gli anni Trenta nella neonata facoltà di Architettura di Roma e che avrebbe viceversa dovuto «consolidare, in chi è destinato ad operare nel tema architettonico, la coscienza della nostra razza, della sua storia, a chiarirne gli aspetti, la fisionomia, il carattere, [...] a creare il convincimento che solo operando secondo questa tradizione in continua evoluzione, si può fare cosa duratura nel tempo»<sup>30</sup>.

In seguito all'istituzione della facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna nel 1935 e al contemporaneo pensionamento di Muggia, fu il solo Guido Zucchini a mantenere viva l'attenzione nei confronti della storia dell'architettura nell'ateneo felsineo negli anni successivi. Zucchini, che aveva conseguito la libera docenza in Storia dell'architettura e scienza del restauro nel 1930, conservò infatti l'incarico di insegnamento alla facoltà di Matematica, presso la Scuola di Disegno e Architettura di cui fu anche direttore dal 1931 fino alla definitiva chiusura nel 1950. Nel frattempo i programmi dei corsi più avanzati di Architettura tecnica alla facoltà di Ingegneria, finalizzati alla sola laurea in ingegneria civile, avevano rinunciato a fornire un inquadramento storico della disciplina, mentre si era esaurita anche la stagione della mutuazione di corsi esterni tenuti presso l'Accademia di Belle Arti ponendo fine a un'esperienza di cooperazione ultrasecolare tra le due istituzioni, che coincide con la

---

<sup>29</sup> Cfr. A. Muggia, *Lezioni di storia dell'architettura*, pubblicate a cura del Sindacato nazionale allievi Ingegneri, sezione di Bologna, Anno Accademico 1922/23, Bologna 1923. Su questa monografia di Muggia si veda anche M.B. Bettazzi, *Il caso di Bologna e la Storia di Muggia*, in *Attilio Muggia, Una storia*, cit., pp. 181-210. Va probabilmente ricondotto al materiale di supporto all'insegnamento di Storia dell'Architettura di Attilio Muggia anche il ricco materiale fotografico (in lastre 6x6 per la proiezione) ancora oggi conservato presso la sede del Dipartimento di Architettura in viale Risorgimento 2 a Bologna e che fu poi utilizzato e potenziato nel dopoguerra anche da Giovanni Michelucci.

<sup>30</sup> Così Vincenzo Fasolo nella *Introduzione* a G.B. Milani, V. Fasolo, *Le forme architettoniche*, vol. III, Milano 1940, p. vi.

cessazione dell'indirizzo di laurea in architettura presso l'Università di Bologna, poi rimasta priva di un tale, specifico percorso accademico per oltre 60 anni.

### 2.3.3. L'insegnamento della Storia dell'Architettura nel secondo dopoguerra

Soltanto nel quadro del rinnovamento dei programmi universitari del secondo dopoguerra, con l'arrivo di Giovanni Michelucci (1891-1990) da Firenze nel 1947/48 grazie a un trasferimento discusso fin dal 1936<sup>31</sup>, e con l'avvio degli insegnamenti di Architettura e composizione architettonica e di Tecnica urbanistica da lui tenuti alla facoltà di Ingegneria, si osserva, sulla base dalle indicazioni riportate dagli *Annuari*, una ripresa di attenzione specifica sui temi dell' "analisi storica" delle architetture e della città, non disgiunta da una specifica "preparazione critica" richiesta a coloro che frequentavano i corsi<sup>32</sup>. La proposta didattica era tuttavia radicalmente diversa da quella dell'anteguerra. Il corso di laurea in Ingegneria civile entro cui fu attivato l'insegnamento di Michelucci non prevedeva infatti uno specifico insegnamento di storia dell'architettura e l'architetto fiorentino si limitò a fornire soltanto dei brevi lineamenti introduttivi sugli stili storici che potessero risultare funzionali alla comprensione dei fatti urbani e alla operatività richiesta nel suo corso, come si può ben comprendere dagli appunti preparatori delle sue lezioni (Fig. 10), conservati alla Fondazione Michelucci di Firenze<sup>33</sup>.

In alcune riflessioni epistolari sviluppate in tarda età proprio sulla sua attività didattica, egli peraltro ricordò che «tutto l'insegnamento che io ho impartito è sempre stato di carattere storico e di impegno etico verso l'architettura, per raggiungere una verifica delle relazioni che esistono tra la vita e la forma urbanistica o architettonica»<sup>34</sup>.

Sulla scia di Michelucci, i suoi allievi proposero poi un quadro didattico più sfaccettato, che continuò tuttavia a considerare la storia dell'architettura e dell'urbanistica come inquadramenti tematici complementari, dal carattere operativo, puramente funzionali al progetto e non come discipline autonome capaci di generare conoscenza di per sé. Nereo De Mayer, Renzo Sansoni e in particolare Ferdinando Clemente (1917-1998), che "rifonda" l'Istituto di Architettura e Urbanistica dal precedente Istituto di Architettura Tecnica, si impegnarono nel dare continuità alla didattica del

<sup>31</sup> Fin dal dicembre del 1936, in seguito alla scomparsa di Muggia, il Rettore dell'Università di Bologna, Alessandro Chigi, aveva inviato al Ministero dell'Educazione Nazionale la richiesta di chiamare Michelucci per coprire la cattedra di Architettura tecnica alla Facoltà di Ingegneria, ma non se ne era fatto nulla. Cfr. C. Conforti, *Gli esordi accademici di Giovanni Michelucci*, in G. Corsani, M. Bini (a cura di), *La Facoltà di Architettura di Firenze fra tradizione e cambiamento*, Firenze 2007, p. 137.

<sup>32</sup> Al proposito, si rinvia ai programmi ufficiali del corso di "Architettura e composizione architettonica" pubblicati sull'*Annuario* dell'Università di Bologna tra gli A.A. 1947/48 e 1960/61.

<sup>33</sup> Cfr. *Giovanni Michelucci. Inventario delle lezioni*, a cura di N. Musumeci e P. Ricco, disponibile all'url: <http://www.michelucci.it/wp-content/uploads/2018/08/Inventario-Lezioni-Universitarie-Archivio-Fondazione-Giovanni-Michelucci.pdf>

<sup>34</sup> R. Inglese, *L'attività di Giovanni Michelucci a Bologna*, Tesi di dottorato di ricerca in Architettura e costruzione, Università di Roma Tor Vergata, XX ciclo, A.A. 2005-2007, p. 86.



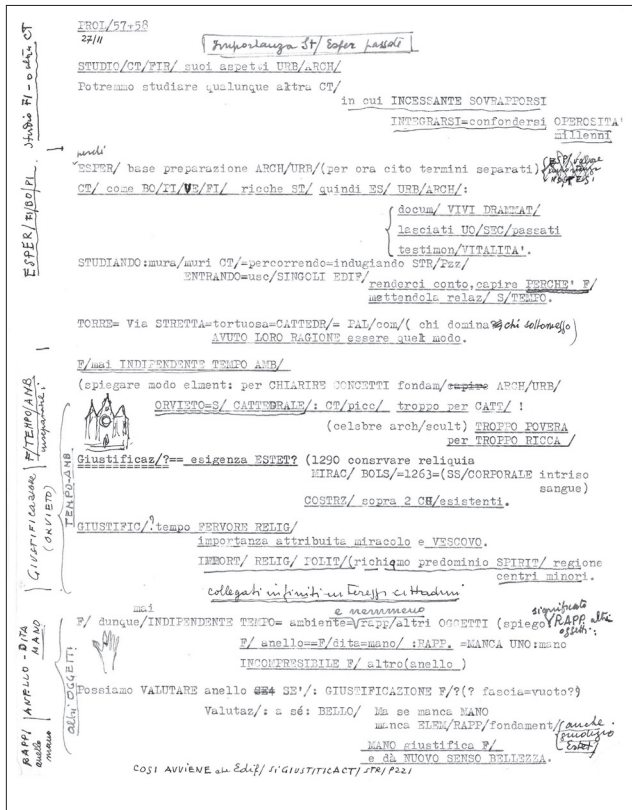


Figura 10. G. Michelucci, "Appunti relativi all'insegnamento della storia per le lezioni di Composizione architettonica", 1957, (Archivio Fondazione Giovanni Michelucci, Fiesole).

maestro fiorentino, ritagliando una breve introduzione di carattere storico all'interno dei loro corsi di Tecnica urbanistica che permettesse di inquadrare la disciplina dalle origini fino al Movimento moderno, una tendenza che si sarebbe peraltro estesa anche ad altri insegnamenti, come a quello di Architettura tecnica tenuto da Giampiero Cuppini, a partire dal 1973.

Una storia dell'architettura slegata dalla operatività professionale dell'architetto, ma complementare alla formazione avanzata dello storico dell'arte e del conservatore, viene nel frattempo coltivata, sempre nell'ateneo di Bologna e a partire dagli anni Settanta, anche presso le facoltà di Magistero e di Lettere e Filosofia, dove l'attenzione per la materia, fondata su solide basi documentarie e stilistiche, si richiamava agli indirizzi di ricerca dei padri fondatori dell'Istituto di Storia dell'Arte, tra cui Igino Benvenuto Supino (1858-1940), che a suo tempo era stato molto vicino a Gino Zucchini. Sotto alla guida di Rodolfo Pallucchini (1908-1989) e di Stefano Bottari (1907-1967) e influenzata da André Chastel e Bruno Zevi, si forma in questi anni Anna Maria Matteucci, dapprima assistente di ruolo in Storia dell'Arte alla Facoltà di Magistero (1968), dove fu successivamente nominata professore straordinario di Storia dell'Arte Medievale e Moderna (1982), prima di passare alla facoltà di Lettere come professore ordinario (1984). Matteucci fu la prima docente dell'Università di

Bologna nel dopoguerra ad essere incaricata di uno specifico insegnamento di Storia dell'Architettura (dal 1972 fino al 1977) all'interno del neo istituito Corso di Laurea DAMS della Facoltà di Lettere (da lei poi tenuto a partire dal 1978 al Corso di Perfezionamento in Storia dell'Arte presso la Facoltà di Lettere), inaugurando una fertile stagione di ricerche a tutto campo sull'architettura dell'Emilia-Romagna e dei suoi maestri progettisti, che ha permesso di indirizzare modernamente le indagini sul patrimonio edilizio e monumentale della regione, diffondendone la conoscenza e contribuendo a formare almeno due generazioni di funzionari e professionisti della disciplina anche attraverso una larga messe di tesi di laurea e di specializzazione. In continuità con il suo insegnamento, sia per affinità negli argomenti di ricerca sia nell'orizzonte cronologico degli studi, si colloca anche il percorso accademico di Deanna Lenzi, professore straordinario di Storia dell'Arte (2000) e poi ordinario (2003) e incaricata dei corsi di Storia dell'Architettura a partire dal 1978. Studiosa di storia dell'architettura teatrale e del disegno scenografico, Lenzi è stata anche una protagonista dell'esperienza fondativa del Corso di Laurea in Conservazione dei Beni Culturali a Ravenna (dal 1995), nell'ambito del progetto di diffusione *multicampus* in Romagna, che a fine XX secolo vide anche la nascita della facoltà di Architettura a Cesena, nell'Anno Accademico 1999/2000. La Facoltà di Lettere non mancò poi di allargare l'offerta didattica nel campo dell'architettura attivando anche gli insegnamenti di storia dell'architettura contemporanea con il coinvolgimento prima di Vittorio Savi (1998-2011) e poi, dal 1995 al 2008, di Mario Lupano.

Nel frattempo, durante gli anni Settanta, con il potenziamento del corso di laurea in Ingegneria Civile Edile e il rafforzarsi dell'Istituto di Architettura e Urbanistica si assiste a un significativo ampliamento dell'offerta didattica volta al potenziamento tecnico e culturale dei curricula degli studenti ingegneri, di cui fin dalla metà degli anni Sessanta erano cresciute notevolmente le immatricolazioni, che arriverà finalmente a comprendere anche l'istituzione di uno specifico insegnamento di Storia dell'architettura e dell'urbanistica. Il corso fu inizialmente affidato a Roberto Berardi (1937-2008), allievo di Edoardo Detti e Ludovico Quaroni, il quale, a partire dal 1978/79, trattò l'argomento prevalentemente sotto il profilo della storia della cultura dell'abitare tra età moderna e contemporanea<sup>35</sup>. Quando Berardi si trasferì a Firenze nel 1983 per poi seguire una carriera di docente di progettazione architettonica, la titolarità dell'insegnamento passò a Leonardo Lugli (dal 1984 al 1989), poi a Ivo Tagliaventi (1990) e a Roberto Fregna (dal 1991 al 1994). A partire dal 1994 l'insegnamento fu infine affidato a Giuliano Gresleri, architetto formatosi all'Università di Firenze con Leonardo Benevolo e maturato attraverso esperienze professionali che lo portarono a contatto con alcuni dei maestri del Movimento Moderno, tra cui Alvar Aalto, Le Corbusier e Kenzo Tange. Dopo avere insegnato Storia dell'Architettura e dell'Urbanistica presso le facoltà di Architettura di Firenze e Pescara (1970-1975),

<sup>35</sup> Al proposito si rinvia a: Università degli Studi di Bologna, *Guida dello studente per la Facoltà di Ingegneria*, Programma dell'insegnamento di Storia dell'architettura e dell'urbanistica per gli Anni Accademici dal 1978/79 al 1983/84.

Gresleri fu dapprima contrattista, poi ricercatore e professore associato alla Facoltà di Ingegneria di Bologna con incarichi di insegnamento dal 1976 al 1999. In seguito parteciperà alla fase preparatoria e di avvio della Facoltà di Architettura a Cesena come professore straordinario (dal 2000) e quindi ordinario dal 2003. Con un approccio multidisciplinare e anticonformista, Gresleri si dedica a una didattica della storia fondata su di un metodo narrativo e al tempo stesso ben concreto (impostato anche su proficue discussioni sul campo, realizzazione di modelli e schizzi critici) che, come lui stesso scrive: «considera lo studio della Storia dell'architettura come lo studio della storia degli edifici, degli architetti, dei committenti, delle ideologie, dei luoghi, dei materiali, della letteratura artistica e tecnica, come “Storia delle Storie e dei loro Storici”»<sup>36</sup>. La sua ricerca sarà prevalentemente orientata alla esplorazione dell'architettura europea tra Otto e Novecento e agli studi sulle avanguardie storiche, con una particolare attenzione nei confronti dell'opera di Le Corbusier. A lui si deve anche la ripresa di un interesse storico nei confronti della costruzione della “Bologna Moderna” tra Otto e Novecento e dei suoi protagonisti; una rilettura critica che ha permesso anche di operare positivamente per il recupero di un patrimonio monumentale in pericolo e per la salvaguardia di archivi professionali di architetti e ingegneri operanti tra Otto e Novecento che rischiavano la dispersione e l'oblio.

#### 2.3.4. Prospettive recenti

È senz'altro grazie alla istituzione della Facoltà di Architettura a Cesena (1999), nel quadro del più ambizioso programma di decentramento universitario italiano del dopoguerra, che si schiudono delle significative opportunità per il potenziamento delle risorse umane impregnate nella disciplina, con un incremento significativo nel numero dei ricercatori e dei corsi e una loro maggiore coesione. Nell'arco di pochi anni si assiste a una trasformazione culturale profonda, che si assesterà con il passaggio dal Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale (DAPT) alla messa a regime del Dipartimento di Architettura (DA), un più ambizioso centro di ricerca che deve gestire una sempre più vasta rete di interessi scientifici i quali ruotano attorno ai tanti rami della cultura del progetto e alla complessità di una didattica su tre sedi (Bologna, Cesena e Ravenna).

Con l'avvento del nuovo millennio e sfruttando una fase espansiva, cresce infatti l'organico a Cesena con l'entrata nei ruoli per concorso di Maristella Casciato, Francesco Ceccarelli e Piergiorgio Massaretti, mentre prende servizio per trasferimento Giovanni Leoni, già professore ordinario nell'Università di Bari (2004), che sarà poi eletto direttore del Dipartimento di Architettura. Nel 2005 viene inoltre chiamato come professore ordinario per chiara fama dagli USA Richard J. Tuttle (1941-2009) (Fig. 11), uno dei massimi studiosi di storia dell'architettura rinasci-

<sup>36</sup> Per le informazioni sulla attività didattica di Giuliano Gresleri, oltre alle notizie tratte dalla *Guida dello studente per la Facoltà di Ingegneria*, si rinvia a: <https://giulianogresleri.wordpress.com>, pagina: Info.

mentale italiana, il quale scomparirà prematuramente nel 2009, lasciando la sua preziosa raccolta di libri e l'archivio professionale in dono alla biblioteca di dipartimento Giovanni Michelucci.

Più di recente il Dipartimento si è arricchito della presenza di Micaela Antonucci come ricercatore. Analoghi avvicendamenti, nel rinnovamento dei ruoli, si è registrato nel Dipartimento delle Arti, dove hanno preso servizio nuovi docenti di storia dell'architettura come Anna Rosellini e Francesco Benelli e nel Dipartimento di Scienze per la Qualità della vita con la ricercatrice Ines Tolic.

Con questi nuovi docenti si pongono le basi per un rafforzamento del settore su cui si fondano le future prospettive di sviluppo di una ricerca che nel corso del tempo si è affinata e organizzata in diversi ambiti di specializzazione e che trova modo di esprimersi anche nei corsi del Dottorato di Ricerca in Architettura e Culture del Progetto. Oltre alla più tradizionale storia dell'architettura come storia del patrimonio architettonico, oggi trovano ampio spazio soprattutto la storia della critica architettonica, la storia della città e del territorio, la storia della rappresentazione e della tecnologia architettonica, con risultati di eccellenza che premiano un faticoso lavoro sul campo svolto secondo una visione sinergica e multidisciplinare da sempre al servizio della conoscenza scientifica delle dinamiche insediamentali, della cultura dell'abitare e del costruire, della conservazione e del restauro. Una ricerca originale e dai molteplici risvolti operativi, che si riflette nella didattica di base e in quella avanzata, proponendo sempre nuovi itinerari critici tra culture artistiche e sviluppi tecnologici.



*Figura 11. Richard J. Tuttle (1941-2009)  
(Fondo fotografico, Dipartimento di Architettura, Bologna).*

## 2.4. CENNI STORICI SUL DISEGNO TECNICO

*Luca Piancastelli*

### 2.4.1. Premessa

Non è assolutamente eccessivo parlare di “grande storia” per un settore della tecnica essenziale e in grande evoluzione, quale il Disegno Tecnico. Va anche detto che, nonostante la civiltà attuale sia fondata sullo sviluppo tecnico e sulle scoperte scientifiche, la dignità culturale degli studi tecnico-scientifici è stata ed è tuttora tutt’altro che riconosciuta. Per questo motivo gran parte della documentazione storica è andata perduta e la conservazione dei disegni come documenti storici è tuttora piuttosto trascurata. Il motivo principale va ricercato in una formazione culturale che, per tradizione millenaria, privilegia gli studi umanistici. Si può pensare che ciò sia anche dovuto all’abitudine di trascurare, nello studio della tecnica, gli aspetti umani e sociali, che vengono messi in evidenza quando si segue lo sviluppo storico di un’idea, di un progetto, di una soluzione tecnica.

Nello specifico settore della storia del Disegno Tecnico, la maggioranza delle poche opere presenti è orientata ad aspetti legati all’architettura, mentre nei settori meccanici tale interesse appare piuttosto raro. Inoltre la maggior parte dei testi storici è giunta a noi priva delle tavole di corredo. Queste sono state ricostruite da volenterosi ed entusiasti tra il Rinascimento e la fine del XIX secolo.

Per stabilire la centralità del disegno è sufficiente ricordare che tutte le costruzioni, definite in senso lato: dallo spillo, alla portaerei, partono dal disegno dell’insieme e dei particolari. Questo consente ai tecnici di realizzare uno o più esemplari identici, a meno delle tolleranze, anch’esse patrimonio imprescindibile del Disegno Tecnico.

Il Disegno rappresenta l’esperanto dei tecnici, giacché è compreso da tutti coloro dotati di competenze ingegneristiche o architettoniche indipendentemente dalla lingua parlata. Quest’universalità di espressione è stata notevolmente potenziata da regole del disegno tecnico comuni e condivise a livello mondiale.

Esempi recenti hanno dimostrato che dai disegni è possibile ricavare il prodotto finale, anche se la comprensione delle scritte è minima.

Infatti, il disegno tecnico pretende di rappresentare la realtà, presente, passata o futura (come progetto), allo scopo di validarla e di conoscerne il funzionamento per costruirla.

Il disegno costituisce per il tecnico meccanico uno strumento mediante il quale egli può rappresentare con chiarezza, acutezza e rigore i suoi pensieri e le sue riflessioni, in modo da non lasciare niente da desiderare. Una macchina disegnata è come una

realizzazione ideale della stessa, ma fatta con un materiale di minor costo e più facile trattamento del ferro o dell'acciaio. Ma il disegno non è solo estremamente importante per il progetto, bensì anche per la costruzione vera e propria, in quanto con questo metodo le dimensioni e la forma di tutte le parti sono fissate in modo esatto e sicuro fin dal principio, di modo che la costruzione consiste nel riprodurre con il materiale di costruzione esattamente tutto quanto il disegno rappresenta. Ciascuna parte costituente la macchina può in generale venire costruita indipendentemente dalle altre: in tal modo è possibile suddividere il complesso del lavoro fra un gran numero di operai ed organizzare l'intera costruzione in modo che tutti i lavori possano venire eseguiti a tempo debito, nel luogo più appropriato con il minimo impiego di tempo e materiale, con esattezza e sicurezza. Con simile procedura non è possibile che si compiano errori molto gravi e qualora capitasse di trovare un errore si può subito individuare a chi è dovuto (F. Redtenbacher, *Principien der Mechanik*, Mannheim 1852).

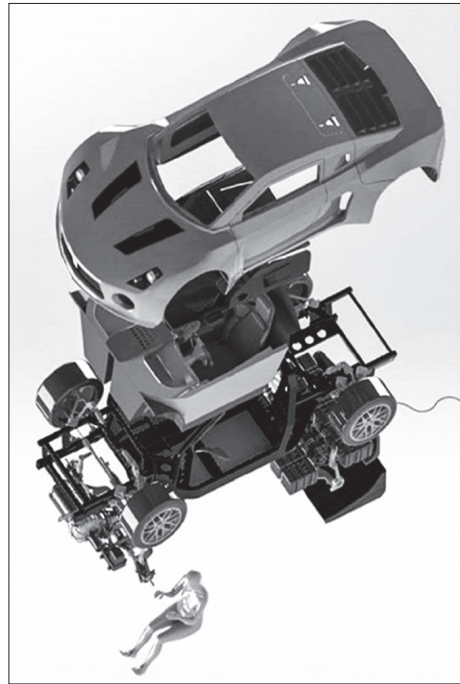


Figura 1. Un moderno disegno tecnico tridimensionale (CAD 3D) al computer realizzato con SolidWorks. Esso rappresenta la centralità dell'uomo e del suo ingegno nel moderno disegno tecnico [www.lucapiancastelli.ing.unibo.it].

Il nome del raggruppamento universitario “Disegno e metodi dell'ingegneria industriale”, ideato dal professor Franco Persiani, ben compendia l'enorme sviluppo del Disegno con il recente avvento dei sistemi di calcolo e della rappresentazione digitale.

A tal proposito si confrontino le Figure 1 e 2 per comprendere l'enorme cammino percorso dal Disegno nel corso della Storia.



Figura 2. Disegno di un arco, III Dinastia, 3000-2700 a.C. [Firth and Gunn, “Teti Pyramid Cemeteries”, 2 vols., 1926, Il Cairo].



Figura 3. Frammento della Forma Urbis Severiana, 203-211 d.C.

## 2.4.2. Il Disegno nell'antichità

Quando si analizza la storia del Disegno, la prima considerazione evidente è la mancanza di documenti anche di un passato relativamente recente.

In generale, i tecnici, gli architetti e gli ingegneri hanno lavorato, spesso in silenzio, al di fuori dell'attenzione dei *media*. Una grande fortuna, in questo senso, è stato l'enorme lavoro di Leonardo, genio assoluto e in più poliedrico: fatto rarissimo nelle persone d'intelligenza superiore. Leonardo non è stato solo un inventore, scienziato, architetto, ingegnere e tecnico; è stato anche un grande artista. Una significativa porzione dell'opera di Leonardo

è giunta a noi perché capolavoro pittorico e non in quanto disegno tecnico.

Ogni opera significativa dai tempi antichi ai tempi moderni ha richiesto l'esecuzione di disegni.

È impensabile, come affermano alcuni, che gli antichi non usassero i disegni. La costruzione dei templi, delle piramidi e di altre grandi opere del passato ha richiesto il taglio, il trasporto e il montaggio delle parti in luoghi diversi e da diversi gruppi di persone. Queste dovevano necessariamente avere in comune dei disegni. Purtroppo pochissimi disegni antichi sono giunti a noi. In Figura 2 vediamo un esempio di un disegno egiziano di un arco. In Figura 3 è rappresentata una porzione della pianta della città di Roma prima della morte di Settimio Severo.

Per quanto riguarda le opere fondamentali a noi pervenute, ricordo il *De Architectura* di Marco Vitruvio Pollone, in 10 libri, dedicato ad Augusto (29-23 a.C.). L'opera è giunta a noi priva di illustrazioni e tavole. Il testo privo di figure è poco comprensibile. Per questo motivo Cesare Cesariano (Milano, 1475-1543) pubblicò una versione in volgare con figure da lui ricostruite. Vitruvio fu ufficiale-ingegnere militare per Giulio Cesare e in seguito architetto per Augusto. L'opera contiene anche informazioni sulle macchine da guerra usate dai Romani. Il livello di perfezionamento di queste macchine è tale che, quando gli Inglesi provarono a costruire una balista nel 1940, ottennero una gittata di un quarto rispetto alla macchina romana. Successive ricostruzioni hanno provato la criticità di queste macchine dal punto di vista strutturale. Infatti, parti in acciaio e bronzo di balliste romane sono state trovate in siti archeologici risalenti al tardo Impero, come confermato dal testo anonimo *De Rebus Bellicis* (IV secolo d.C.). Per queste ricostruzioni l'assenza dei disegni originali di Vitruvio ha notevolmente aumentato le difficoltà costruttive. Vitruvio accenna ai Disegni Tecnici: chiama "iconografia" la rappresentazione in pianta, mentre il prospetto è l'"ortografia". Infine, sempre per Vitruvio, la "scenografia" è l'insieme delle viste che rappresenta la struttura.

### 2.4.3. Da Leonardo al XVIII secolo

Molti secoli dopo, Leonardo (1452-1519) disegna macchine, fortezze e palazzi. In Figura 4 si nota il disegno (in assonometria cavaliera speciale?) di un palazzo neoclassico. Il disegno è completo di viste in pianta e di particolari. Chissà se i numeri in alto a destra si riferiscono al disegno o sono un computo di spese.

Leonardo è altresì autore dell'*Uomo Vitruviano* o *Uomo parametrico-variazionale* (Figura 5). Infatti, così scrive:

Vetruvio, architetto, mette nella sua opera d'architectura, chelle misure dell'omo sono dalla natura distribuite in questo modo cioè che 4 diti fa 1 palmo, et 4 palmi fa 1 pie, 6 palmi fa un chubito, 4 cubiti fa 1 homo, he 4 chubiti fa 1 passo, he 24 palmi fa 1 homo ecqueste misure son ne' sua edifti.

Settu apri tanto le gambe chettu chali da chapo 1/14 di tua altez(z)a e apri e alza tanto le bracia che cholle lunge dita tu tochi la linia della somita del chapo, sappi che 'l cietro delle stremita delle aperte membra fia il bellico. Ello spatio chessi truova infralle gambe fia triangolo equilatero (Leonardo da Vinci, penna e inchiostro su carta, 1490 circa, Gallerie dell'Accademia, Venezia).

Altro testo importante è il *Prospettiva di Euclide* (1573) di Danti, in cui si compendiano i principi della prospettiva. Ignazio Danti è stato professore di Matematica all'Università di Bologna. Il Disegno Tecnico si basa su solide basi matematiche. Si arriva, quindi, tradizionalmente, a Jacopo Barozzi da Vignola che pubblica nel 1562 il trattato intitolato *Regola delli Cinque Ordini d'Architettura*. Barozzi da Vignola è considerato da alcuni il padre del Disegno parametrico e variazionale,

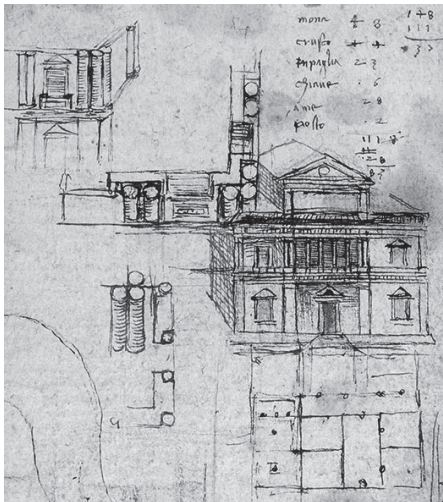


Figura 4. Leonardo Da Vinci, "Codice sul volo degli uccelli", circa 1505.

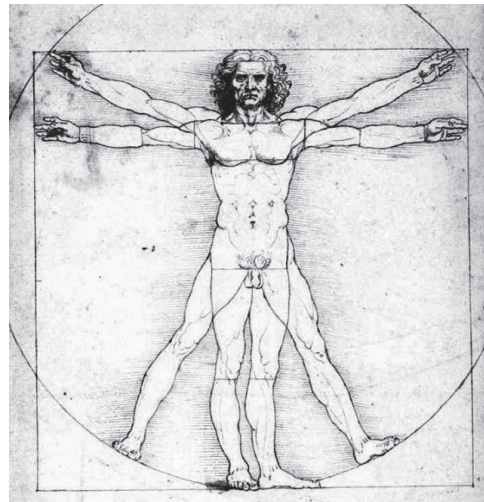


Figura 5. Leonardo Da Vinci, "Uomo Vitruviano", circa 1490.



croce e delizia dei moderni disegnatori CAD (Computer Aided Design, Disegno Assistito dal Calcolatore). Questo trattato ebbe larghissima diffusione sino al secolo XIX. Il rapidissimo sviluppo delle costruzioni navali tra il XVI e il XVIII secolo avviene con l'aiuto del disegno. In un dipinto datato 1568 è rappresentato un ufficio di un cantiere navale inglese con strumenti e disegni. Le scale di riferimento compaiono a partire dal XVII secolo. Fino al XIX secolo la rilevazione di quote da misurazioni effettuate sul disegno è stata la regola. Le tolleranze dimensionali iniziano a comparire nel XVIII secolo, mentre quelle geometriche nel XX secolo.

#### **2.4.4. Monge, Napoleone a Bologna, l'era moderna e il Corso di Disegno di Macchine 1810 (ora Disegno Tecnico Industriale)**

Le macchine a vapore danno avvio alla tecnica moderna con disegni che passano la Manica per essere realizzati da una "bottega" in Francia poco prima della Rivoluzione Francese. Si ricorda che in questo periodo inizia la produzione di massa, con il fucile francese modello 1777 prodotto in più di 7 milioni di esemplari.

Napoleone fonda in Europa le Scuole Politecniche o Scuole di Ingegneria, una anche a Bologna, come testimoniato dai Diplomi di Laurea, e porta con sé la geometria descrittiva di Monge.

Monge istituisce per tutte le Scuole dell'Impero Francese il corso del Disegno di Macchine (1810). Questo è il primo moderno Corso di Disegno Tecnico. La proiezione ortogonale è precedente. Nel XV secolo, Alberti, Duerer e altri ne sono i precursori, mentre l'assonometria cavaliere è in uso nel settore militare all'incirca dallo stesso periodo. Comunque è da Monge che il Disegno in proiezione ortogonale, o disegno bidimensionale (2D) è sostanzialmente congelato. Per questo motivo un disegno tecnico ottocentesco è immediatamente interpretabile dai tecnici di tutto il mondo. È con Monge che i trattati e i Corsi di Disegno si standardizzano a livello universale, seppur con differenti norme di rappresentazione semplificata o convenzionale.

Fino al 1990 circa ci si affida a disegni su carta o su supporto polimerico, di solito conservati in archivi e utilizzati solo in copie realizzate per trasparenza (eliografia o cianografia) o per microfilmatura. Il disegno resta ancora un documento tracciato in unico esemplare. Un archivio, di regola duplicato in luoghi diversi, conservava gli originali. Tali archivi erano spesso giganteschi, grandi capannoni antisismici, climatizzati, sorvegliati e dotati di sistema antincendio.

Interi palazzi erano popolati da progettisti che sui loro tecnografi realizzavano i disegni, con penne a china, rapidograph o matite (per i supporti polimerici). Nel 1924 è in vigore una norma UNIM sull'esecuzione delle linee. Infatti, con l'inizio del XX secolo lo sviluppo industriale porta con sé la necessità di disporre di documentazione senza ambiguità o difficoltà interpretative.

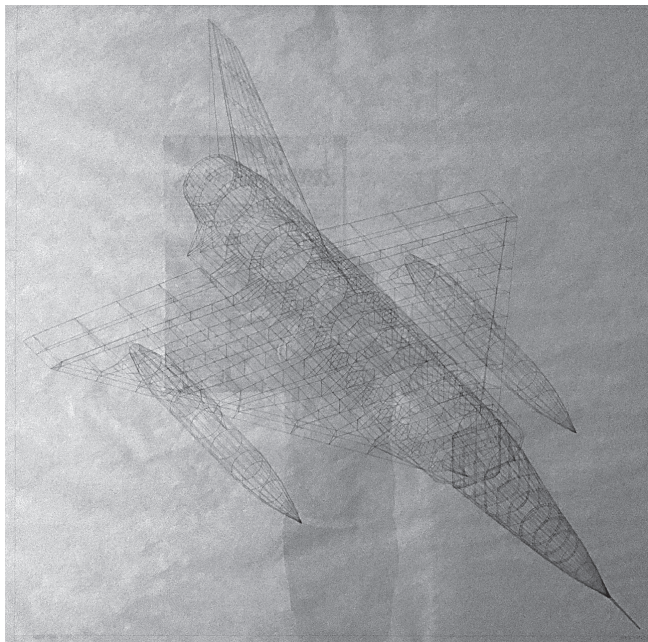
Nascono le organizzazioni nazionali e internazionali per la standardizzazione delle informazioni e di alcuni prodotti, i cosiddetti normali. L'italiana UNI nasce

nel 1921. Alcuni processi di copiatura per contatto, basati su composti ferrocianici, disponibili dal 1840, hanno coniato nomi “specializzati” per i disegni: blueprint in inglese e cianografie in italiano. Tali copie erano caratterizzate da sfondo blu e righe bianche.

#### 2.4.5. L'era digitale e il Corso di Disegno Assistito dal Calcolatore

Il software CAD per il disegno tecnico ha iniziato la sua migrazione fuori dai centri di ricerca negli anni Settanta. Alla fine degli anni Settanta nasce a Bologna il Corso di Disegno Assistito dal Calcolatore (Corso di Laurea quinquennale in Ingegneria Meccanica). Vengono sviluppati i primi CAD da produttori automobilistici come: Ford (PDGS), General Motors (CADANCE), Mercedes-Benz (SYRSCO), Nissan (CAD-I rilasciato nel 1977) e Toyota (TINCA, CADETT) e produttori aerospaziali come: Lockheed (CADAM), McDonnell-Douglas (CADD) e Northrop (NCAD). Nel 1975 la Avions Marcel Dassault acquista il codice sorgente di CADAM e inizia a sviluppare un programma CAD 3D denominato CATIA. K. Vesprille pubblica nel 1975 la Tesi di dottorato *Computer-Aided Design Applications of the B-Spline Approximation Form - Applicazioni di progettazione computerizzata del modello di approssimazione B-Spline*, basata sulla ricerca di Casteljau, Bezier, Coons e Forrest. La modellazione delle superfici con modelli B-Spline risulta tuttora essere uno dei fondamenti dei software CAD 3D. Nel 1972 SynthaVision di MAGI (Mathematics Application Group, Inc.) introduce i modelli 3D CSG (Constructive Solid Geometry - geometria solida costruttiva) utilizzati dai successivi software CAD 3D. Nonostante il costante aumento delle prestazioni del computer, la modellazione solida era ancora troppo onerosa per la maggior parte delle applicazioni pratiche. Herb Voelcker nel 1978 pubblica il modellatore solido CSG PADL (Part and Assembly Description Language), successivamente utilizzato in alcuni programmi commerciali CAD. La modellazione Boundary-representation (B-rep, rappresentazione del contorno) è stata introdotta da B. Baumgart della Stanford University per applicazioni agli elementi finiti. Ian Braid ha esteso il modello B-rep alla modellazione solida (1978 - modellatore solido BUILD). Lo sviluppo e l'uso sempre più diffuso del CAD ha sollecitato la prima implementazione del formato IGES (Initial Graphic Exchange Standard) da parte di Boeing, General Electric e NBS (allora National Bureau of Standards, ora NIST, National Institute of Standards) 1980. Nel 1984 è stato introdotto lo standard STEP come successore dei formati IGES, SET e VDA-FS. Attualmente STEP affianca IGES. Nel 1983 Intergraph ha rilasciato InterAct e InterPro per modellazione di superfici complesse 3D basato sui mainframe VAX e MicroVAX di DEC. Nel 1982 Avions Marcel Dassault, ora Dassault Systemes, immette sul mercato CATIA Versione 1 su piattaforma mainframe IBM. Contemporaneamente, l'architettura aperta di UNIX apre il mercato a Sun Microsystems e a Silicon Graphics con workstation a basso costo, a bassa manutenzione e ad alte prestazioni ottimizzate per applicazioni CAD.

Entrano nel mercato anche i PC - Personal Computer. Autodesk rilascia il primo software CAD 2D per PC, "AutoCAD Release 1", nel novembre 1982. Le prestazioni dei PC, tuttavia, sono ancora piuttosto scarse. Nel 1982, Ian Braid, Charles Lang e il team Shape Data a Cambridge (UK) hanno presentato il modellatore solido B-rep Romulus. Nel 1985, Parametric Technology (ora PTC), appare sul mercato con un innovativo CAD B-rep "feature based". In questo periodo i prezzi del software CAD rimangono molto alti. Nel 1981, poiché i ricavi del mercato CAD hanno superato il miliardo di dollari americani, l'aspettativa di una crescita continua permea l'industria del CAD. La sensazione che i principali marchi di CAD fossero stati decisi e che i nuovi concorrenti sarebbero stati confinati nelle nicchie, stava contribuendo alla stabilizzazione del mercato. In questo periodo l'attività di ricerca e la relativa didattica a Bologna è all'avanguardia (v. Figura 6). Il Centro di Calcolo dispone di un mainframe DEC VAX 780, inizialmente dotato di 500k di RAM e di un coprocessore matematico sperimentale su scheda separata. Il VAX viene usato contemporaneamente dai Docenti, dai Ricercatori e dagli Studenti. All'inizio degli anni Ottanta, il Corso di Disegno Assistito al Calcolatore viene tenuto dal professor Pier Gabriele Molari, che succede al primo Docente del Corso, il professor Gian Luca Medri. Gli studenti utilizzano il Fortran sul VAX 780. La libreria grafica è la IGL. Il terminale grafico (unico per tutto gli Studenti) è un Tektronix 4014 che non consente grafica interattiva. Gli studenti implementano i programmi FORTRAN su dei terminali alfanumerici DEC VT52 e provano a turno il risultato sul terminale grafico. Il professor Franco Persiani utilizza software di Disegno avanzati per il suo Corso di Costruzioni Aeronautiche (Figura 6). Franco



*Figura 6. Franco Persiani, "Plottaggio di una rappresentazione wireframe di un caccia con ala a delta". Centro di Calcolo - Facoltà di Ingegneria di Bologna - 16 Aprile 1982 ore 14.22 - Software PAMAS - DIN III piano Facoltà di Ingegneria.*

Persiani diventerà il primo professore ordinario di Disegno dell'Università di Bologna nel 1991 (Figura 7).

La presenza di un Docente di Riferimento (Franco Persiani) è un riconoscimento della crescente importanza del Disegno Tecnico (ora "Disegno e Metodi dell'Ingegneria Industriale"). Il Disegno viene dotato anche di un Ricercatore (lo scrivente - 1991). Nel frattempo, Boeing annuncia nel 1988 che CATIA sarebbe stato utilizzato per il nuovo velivolo 777, fornendo proventi per un miliardo di dollari a IBM-Dassault. Nel 1989 Unigraphics lancia il CAD 3D UG/Solids basato sulla libreria B-rep Parasolid che diventerà uno standard industriale. I PC iniziano ad avere prestazioni accettabili. Grazie ai PC, nell'ultimo decennio del XX secolo, si diffondono i CAD 2D. Questi consentono una migliore gestione degli archivi con le copie digitali, i colori e la gestione dei layer. I capannoni climatizzati vengono sostituiti dagli Hard Disk e si lavora con file invece che con fogli. I disegni sono di migliore qualità; si possono correggere e modificare senza timore di danneggiare il supporto. Si possono scalare a piacimento le parti e copiarle tra disegni. Il CAD 3D (tridimensionale) tarda ad affermarsi perché richiede ancora lunghi tempi di calcolo. La disponibilità di librerie standard (Acis, Parasolid, DesignBase) per la modellazione matematica e di computer più performanti, consente, nel primo decennio del XXI secolo, di superare queste difficoltà. Il modello CAD 3D è particolarmente utile e consente simulazioni strutturali, cinematiche, cinetostatiche, fluidodinamiche, di assemblaggio e di fabbricazione (CAE - Computer Aided Engineering - Ingegnerizzazione assistita dal Calcolatore). Agli inizi degli anni Novanta, AutoCAD, il 2D di Autodesk, ha cavalcato il successo del PC diventando la prima società di software CAD 2D. Nel 1992 le stazioni di lavoro UNIX sono lo standard per il CAD 3D. Un problema per i principali fornitori di CAD è costituito dalla "guerra dei pacchetti di modellazione solida 3D" condotta da Spatial Technology (ACIS), EDS-Unigraphics (Parasolid) e Ricoh (Designbase). Queste tre società vendono librerie di modellazione solida 3D B-rep a prezzi così bassi che anche la più piccola software-house è in grado di integrare la modellazione solida 3D nei propri prodotti. In precedenza, il CAD 3D aveva richiesto anni per lo sviluppo, ma ora può essere sviluppato e commercializzato in meno di un anno. Nel 1993 una piccola azienda di CAD chiamata SolidWorks inizia a fare esattamente questo su piattaforma PC. Il prodotto SolidEdge definisce una interfaccia particolarmente facile e innovativa. Il promettente business SolidEdge viene acquisito da EDS-Unigraphics nel 1997. Poco dopo Dassault-Systemes acquisisce SolidWorks. Nel frattempo Autodesk si vede erodere il mercato dai nuovi CAD 3D basati su PC sempre più performanti ed economici. La decisione di Ford del 1997 di ac-



*Figura 7. Franco Persiani (1949-2015), primo professore ordinario di Disegno Tecnico (ora "Disegno e metodi dell'Ingegneria Industriale") dell'Università di Bologna nel periodo 1991-2015.*

quistare il software CAD 3D I-DEAS di SDRC è l'ultimo dei "grandi affari del software CAD". È la fine dell'era dei sistemi CAD sviluppati internamente, che era iniziata negli anni Sessanta. Nell'industria del CAD, l'attenzione si sposta sul CAD abilitato per il Web. Arriva Alibre Design, il primo software CAD 3D in grado di eseguire la modellazione 3D client-server su Internet. Anche Autodesk si adegua nel 2000 con AutoCAD 2000, che è il loro primo software CAD abilitato per il Web. AutoCAD 2000 ha consentito anche alcune semplici collaborazioni online tramite Microsoft Net Meeting. Nel 1999 AutoCAD introduce il 3D Inventor. I PC, dotati di prestazioni sempre più importanti, sostituiscono le WorkStation. I mainframe vengono utilizzati solo per le simulazioni, di solito in time-sharing. La pressione sui produttori per ridurre il time-to-market modifica il CAD in un software integrato di Modellazione 3D - Disegno 2D - CAM (Computer Aided manufacturing - Fabbricazione assistita dal Calcolatore). Nel 2000 Ford mostra la fattibilità del concetto del software CAD 3D completamente integrato. La Ford Mondeo viene integralmente progettata su Internet utilizzando la piattaforma C<sup>3</sup>P (CAD CAM CAE PDM) di Ford con una riduzione di due terzi del tempo tradizionalmente richiesto. Il PDM è il Product Data Management, ossia un software per la gestione dei file durante il ciclo di vita del prodotto. Prima Boeing era riuscita a ridurre i tempi di sviluppo dei prodotti nell'industria aerospaziale utilizzando "lo sviluppo del prodotto virtuale" con un assemblaggio digitale 3D del Boeing 777, ora Ford ha fatto lo stesso nel settore automobilistico. Oggi lo sviluppo è focalizzato sulla capacità del software di gestire il flusso di dati di progettazione e ingegneria, di cui il modello CAD 3D è una parte sempre più piccola, pur costituendone il cuore. Il nuovo focus del disegno tecnico è ora il PLM "Product Life-Cycle Management - Gestione del ciclo di vita del prodotto".

## 2.5. LA FISICA TECNICA E IL SUO GABINETTO NELL'ATENEO BOLOGNESE: LE ORIGINI, LA STRUTTURA, LE RICERCHE, GLI UOMINI

*Alessandro Cocchi*

### 2.5.1. Premessa

La disciplina Fisica Tecnica ha costituito, fino alla più recente riforma del 2004, il passaggio, concettuale, obbligato tra l'insegnamento della Fisica Sperimentale e gli insegnamenti applicativi della fisica, tipici degli ultimi due anni del vecchio insegnamento quinquennale: l'adozione del così detto "sistema 3+2" ha comportato una riorganizzazione dei curricula didattici, ma ha conservato all'insegnamento di Fisica Tecnica, per un certo numero di essi, il suddetto ruolo.

La denominazione della disciplina Fisica Tecnica è tipica della cultura italiana: fin dai primi miei contatti con l'estero mi sono infatti imbattuto sempre nella difficoltà di far comprendere di cosa mi occupavo. Se poi si aggiunge che era allora costume (ritengo salutare) che già al concorso per il conseguimento della libera docenza si dovessero presentare lavori che toccavano tutti cinque i settori principali di interesse (termodinamica, fluidodinamica, trasmissione del calore, acustica, illuminotecnica), anche la specificazione dei contenuti era disorientante per chi invece dedicava la propria attenzione ad uno solo di essi. A mia conoscenza, esiste una sola rivista internazionale con una denominazione simile a quella italiana, "Soviet Physics: Technical Physics", con contenuti peraltro più ampi, che è presente dal 1956 al 1964 presso la biblioteca del dipartimento di Fisica e, dal 1967 al 1992 con qualche lacuna, presso la nostra biblioteca centrale G.P. Dore.

Era forse un retaggio derivante dalla cultura scientifica, peraltro non solo italiana, che aveva alimentato figure eclettiche quali Leonardo da Vinci, Galileo Galilei, e tanti altri fino alla rivoluzione francese e non solo?

Di qui la mia curiosità ad approfondire anzitutto le probabili origini scientifiche della disciplina prima di addentrarmi negli sviluppi accademici e didattici bolognesi, che in effetti portano ad avvalorarne questa mia interpretazione.

### 2.5.2. Le probabili origini dei contenuti della disciplina

Nella mia interpretazione, le radici vanno ricercate nell'opera di Galileo Galilei (1564-1642), che aprì nuovi orizzonti alla ricerca scientifica introducendo il metodo sperimentale: la natura non va solo ascoltata, ma anche letta, interpretata, interrogata, per scoprire le leggi che ne governano i fenomeni, o meglio le proporzioni matematiche fra gli stessi.

Per ottenere questo risultato, occorre associare ad ogni fenomeno un numero: per fare ciò in maniera non arbitraria è necessario quindi procedere alla quantificazione dei fenomeni stessi, cioè eseguire misurazioni sperimentali.

Misura e controllo sperimentale delle correlazioni ottenute utilizzando lo strumento matematico costituiscono proprio la base della metodologia di ricerca scientifica che in seguito si svilupperà anche in tutti i gabinetti italiani di Fisica Tecnica. Galilei nutriva una innata fiducia nella semplicità e nella leggibilità della natura che gli proveniva sia dalla filosofia rinascimentale che dalla constatazione ripetuta che i tecnici ottenevano, anche solo empiricamente, grandi risultati operando opportunamente su di essa, successi che venivano conseguiti proprio imitandola ed utilizzando i suoi mezzi più elementari.

Egli giustamente sosteneva che le leggi della fisica dedotte dall'esperimento sono fondamentali per dare ordine e rigore scientifico alla tecnologia, troppo spesso basata solo sulla lettura a proprio uso e consumo dei fenomeni naturali.

In tal senso, Galilei può essere definito un antesignano della futura scuola per Ingegneri, che tra le sue discipline comprenderà appunto la Fisica Tecnica, che non verrà però crescendo attorno alle leggi dell'astronomia e della meccanica a lui care (insieme di fenomeni presenti nella vita di tutti i giorni e facilmente riproducibili, quale ad es. la caduta dei gravi), anche se i primi gabinetti di Fisica Tecnica indagheranno, tra gli altri, su un tema fondamentale della sua ricerca, l'ottica, sia pure applicata alle sole misurazioni dei fenomeni luminosi.

Ancora negli anni Sessanta il nostro "Gabinetto" (definizione che campeggiava su un divisorio di legno e vetro presente lungo il corridoio al primo piano che portava ai locali assegnati all'allora Istituto di Fisica Tecnica) disponeva di due banchi fotometrici provenienti dalle sue origini, di un corredo di lampade campione, di una moderna piattaforma girevole atta a rilevare il solido fotometrico anche di armature stradali; dal dopoguerra, disponeva inoltre dell'accesso al rifugio antiaereo annesso all'edificio e ricavato nella collina, all'interno del quale è andato poi distrutto tutto questo materiale per effetto dell'umidità.

Nelle emissioni filateliche<sup>1</sup> commemorative di diversi paesi possiamo trovare non solo le immagini di molti personaggi ma anche elementi che ricordano la loro attività nel mondo della scienza; ad esempio in Figura 1 sono riprodotti alcuni francobolli dedicati, in tempi diversi, dalle Poste Italiane al personaggio e all'opera di Galileo Galilei, evidenziandone la duplice funzione di didatta e ricercatore, mentre tra le emissioni estere se ne riporta una dedicata al suo contributo alle conoscenze di astronomia.

Il metodo sperimentale di Galilei produsse un forte passo avanti nello sviluppo della scienza, prima con Isaac Newton (1642-1727) e successivamente con le teorie

---

<sup>1</sup> Pur non facendo venir meno la funzione principale della sua esistenza, la filatelia ha negli anni contribuito alla volgarizzazione ed alla diffusione della cultura dedicando particolari emissioni commemorative a personaggi ed opere del mondo della scienza, delle arti, della vita civile e militare, che nel tempo passato avevano lasciato una traccia di un certo livello nella storia non solo del proprio paese, ma anche dell'umanità: oggi questa funzione culturale sta venendo sempre più a mancare man mano che le moderne tecnologie consentono di svolgere la funzione principale con minor dispendio di energie e denaro.



Figura 1. Alcune emissioni filateliche dedicate dall'Italia e dalla Cecoslovacchia al personaggio Galileo Galilei.

dell'etere (propagazione della luce), del flogisto (chimica della combustione) e del calorico (trasmissione del calore). A loro volta queste teorie aprirono la strada alla fisica del 1800 e, prima ancora, ai primi tentativi di trasformazione dell'energia nelle sue diverse forme, da latente (energia chimica) a palese (energia meccanica ed elettrica).

Nello spirito di cui a quella precedente, la Figura 2 vuole appunto ricordare il forte contributo allo sviluppo della scienza dato dall'operato di Newton.



Figura 2. Emissioni varie dedicate alla figura di Isaac Newton, ingiustamente trascurata dalle Poste Italiane.





Figura 3. Emissione greca dedicata a Talete di Mileto.



Figura 4. Arthur Ackland Hunt (1841-1914), "William Gilbert presenta alla Regina Elisabetta le sue scoperte", Colchester Collection.

Non è certamente questa la sede per indagare in maniera più dettagliata questi affascinanti sviluppi del pensiero filosofico e scientifico, qui si vogliono solo evidenziarne gli elementi più salienti che hanno portato alle origini della Fisica Tecnica ed alle sue successive evoluzioni.

A questo proposito giova sicuramente ripercorrere le tappe fondamentali che hanno portato alle origini delle varie discipline che, come già menzionato, hanno costituito, e in parte costituiscono tuttora, la struttura didattica e scientifica della Fisica Tecnica, prime fra tutte, in ordine di tempo, l'Elettrologia prima e l'Elettrotecnica poi, discipline che sono talmente cresciute di consistenza al punto da far gemmare corsi distinti, come meglio si dirà poi entrando nel merito della storia recente.

Già nel 600 a.C. Talete di Mileto (Fig. 3) aveva evidenziato la capacità dell'ambra soffregata di dare origine a forze di attrazione e repulsione, ma è alla fine del sedicesimo secolo che William Gilbert (Fig. 4) poneva le basi per distinguere tra elettricità e magnetismo, al punto da poter essere considerato il padre dell'elettrotecnica moderna.

Si deve a Otto von Guericke (Fig. 5, noto anche per aver messo a punto una pompa a vuoto) la costruzione attorno al 1650 di una macchina (Fig. 6) per trasformare il moto in corrente elettrica di origine elettrostatica utilizzabile, in particolare, anche per scopi di studio degli effetti di tale forma di energia sul corpo umano.



Figura 5. Alcune emissioni delle poste tedesche dedicate a Otto Von Guericke.

A testimonianza del grande interesse del gabinetto di Fisica Tecnica per le ricerche in questo settore, a fianco di un ampio corredo di apparecchiature elettriche datate (tra le quali spiccavano un grande ponte di Wheatstone, un rocchetto di Ruhmkorff, un grande amperometro e un galvanometro balistico che proiettava la sua macchia luminosa sulla parte alta delle pareti dell'intero laboratorio e la cui stabilità si conquistava solo rimanendo tutti immobili), esisteva ancora negli anni Sessanta nel nostro laboratorio una macchina simile a quella rappresentata in Figura 6, appoggiata su un robusto tavolo e contenuta in una ampia teca di vetro. Il tavolo fece poi gola per la sua stabilità e la macchina venne inspiegabilmente smantellata (perdendosi poi le tracce).

Non solo il grande amperometro da tavolo, una serie di voltmetri, wattmetri e amperometri da quadro, e due partitori di tensione, ma anche lo stesso amperometro balistico, vennero utilizzati a lungo prima che potessimo acquisire materiale più moderno; a proposito di quest'ultimo mi piace ricordare la grande sensibilità alla presa di terra della Facoltà per cui spesso si lavorava alla domenica per non risentire delle scariche di corrente provenienti da altri laboratori, e alle vibrazioni indotte dal movimento del nostro personale anche a qualche distanza dal tavolo di appoggio.

Luigi Galvani (1737-1798) fu il primo a sperimentare sugli animali, evidenziando l'esistenza di una sorta di energia elettrica che si sprigionava dai loro muscoli: sono questi gli albori della bioelettricità.

Contrastando il Galvani, Alessandro Volta (1745-1827) sosteneva che l'elettricità che produceva la contrazione dei muscoli della rana nasceva dal contatto fra due metalli, pervenendo poi alla scoperta della pila, comunicata alla Royal Society of London con lettera del 20 marzo 1800, poi pubblicata sul *Philosophical Magazine*

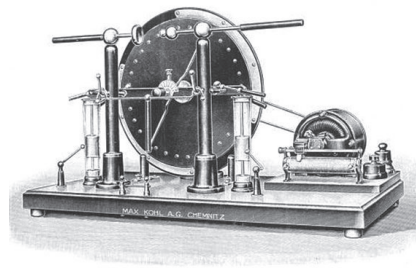


Figura 6. Una moderna realizzazione di un generatore elettrostatico sul tipo di quello realizzato da Von Guericke.

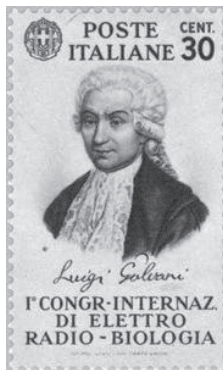


Figura 7. Emissioni italiane che ricordano Luigi Galvani.



Figura 8. Emissioni italiane che ricordano Alessandro Volta.

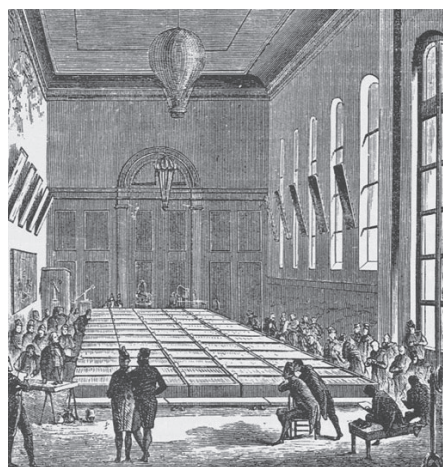


Figura 9. La grande pila fatta costruire da Napoleone presso l'École Polytechnique nel 1813 (incisione contemporanea conservata a Parigi, Bibliothèque Nationale).

nel settembre del 1800, comunicata infine all'Institut de France nel 1801 alla presenza di Napoleone Bonaparte.

Quest'ultimo ne fece quindi costruire un grande prototipo: prendeva così consistenza lo studio sulla possibilità di utilizzare l'energia contenuta nei composti chimici anche per convertirla in un'altra forma, capace anch'essa di produrre movimento: l'energia elettrica.

La ricerca scientifica nel settore delle scienze fisiche progredisce sempre più velocemente, la presenza di personaggi di spicco si accavalla anche perché ancora agli albori del XVIII secolo era normale che uno operasse in assenza di informazioni precise su cosa stesse facendo l'altro per cui è spesso accaduto che certe conquiste potessero essere

vantate contemporaneamente o quasi da più studiosi: così, ad esempio, Michael Faraday (1791-1867) svolse in Inghilterra e a Parigi i suoi studi sull'elettromagnetismo come conseguenza del moto relativo delle cariche elettriche ignorando che nella vicina Germania lo studioso tedesco Georg Simon Ohm (1787-1854) quasi contemporaneamente stava indagando sull'interferenza tra il moto delle cariche elettriche all'interno dei materiali e la resistenza ad esso opposta dalla natura fisica dei conduttori.

Con Jean Baptiste Fourier (1768-1830) e James Prescott Joule (1818-1889) si apre anche la via allo studio sistematico della trasmissione del calore e della termodinamica, che costituiranno poi l'ossatura della Fisica Tecnica moderna.

Nascono nel frattempo anche le prime applicazioni tecnologiche della fisica e compaiono sulla scena i primi ingegneri industriali in senso moderno, che operano appunto la traduzione della teoria in meccanismi utilizzabili per lo sviluppo della civiltà industriale.



Figura 10. Emissioni dedicate a Ohm (Germania), Faraday (Cambogia) e Joule (Guinea-Bissau).

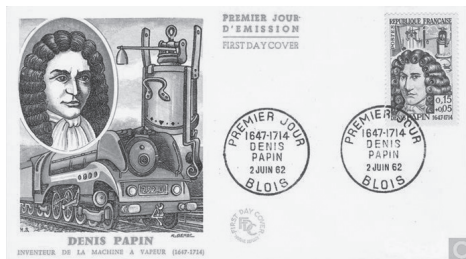


Figura 11. La Francia celebra i 250 ani dalla morte di Papin con una fantasiosa busta “primo giorno di emissione”.

Prima fra tutte, la macchina a vapore, brevettata per la prima volta da Thomas Savery (1650-1715) nel 1698 e basata su un'idea di Denis Papin (1647-1712).

La macchina a vapore atmosferica di Newcomen (1712) trae origine dalla realizzazione di Savery ed apre la via ai lavori di Watt (1736-1819) e successivamente a tutte le applicazioni di quella macchina che doveva divenire uno dei primi strumenti della rivoluzione industriale.

Nel troppo breve e sintetico profilo di storia della scienza qui riportato sono contenuti, a mio avviso, i presupposti per raggruppare tutti questi contributi sotto un unico cappello: con l'intensificarsi della ricerca sui principi che regolano la conversione di una forma di energia in un'altra e sulla impossibilità di trasformare totalmente le diverse forme di energia meccanica in calore, questa idea troverà sempre più supporto.

Lazare Carnot (1753-1823) inizia la sua folgorante carriera di Ingegnere militare occupandosi della meccanizzazione delle truppe ed in questo filone collabora, durante il suo breve soggiorno in Europa, con Robert Fulton (1765-1815) nello studio delle prime applicazioni della macchina a vapore ad un battello sommergibile.

Durante il suo esilio in Germania, Lazare viene raggiunto nel 1821 per breve tempo dal figlio maggiore Sadi (1796-1832) con il quale discute a fondo il problema della resa meccanica delle macchine a vapore. Rientrato a Parigi, Sadi si appassiona al problema e nel 1824 dà alle stampe il suo celebre trattato sui limiti di trasformabilità del calore in lavoro meccanico, per arrivare infine a definire e teorizzare che il



Figura 12. Le poste inglesi celebrano Newcomen mentre Watt viene ingiustamente ospitato unicamente da un'emissione delle isole Wallis et Futuna.



Figura 13. Francia e Stati Uniti ricordarono rispettivamente Carnot e Fulton, mentre una fantasiosa versione del suo sottomarino compare in una emissione della Nuova Guinea.



Figura 14. L'opera e la figura di Sadi Carnot, a mio avviso da considerare fondamentale per la nascita della Fisica Tecnica moderna.

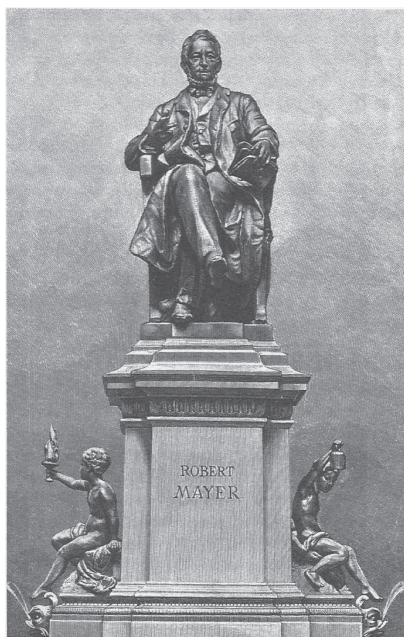


Figura 15. Il monumento dedicato a Mayer dalla città natale di Heilbronn: ai lati figurano la forza meccanica e il calore.

rendimento di conversione del calore in lavoro dipende esclusivamente dai valori massimo e minimo che la temperatura assume durante il ciclo: Sadi Carnot opera esattamente secondo il metodo galileiano, andando dal particolare al generale e caratterizzando con “misure” il comportamento dei diversi corpi in gioco, procedimento che verrà seguito successivamente dal medico tedesco Robert Mayer (1814-1878) per quantificare l'equivalenza delle due forme di energia.

Personaggi più addentro al mondo della fisica, quali il già ricordato Joule, Helmholtz (1821-1894), Clausius (1822-1888) e Thomson (1824-1907), primo barone di Kelvin, più noto appunto come Lord Kelvin per aver dato questo nome alla scala termometrica assoluta, teorizzarono l'opera quasi filosofica di Mayer: a tutti indistintamente va attribuito, e non solo a mio avviso, il merito di aver dato vita al secondo principio della termodinamica.

Fra tutti questi personaggi, senza demerito per nessuno, io ritengo che il vero padre putativo della termodinamica nella sua versione originaria, divenuta poi cardine dell'insegnamento di Fisica Tecnica, debba essere considerato Sadi Carnot

che, da ingegnere, seppe vedere la applicazione tecnica di un principio che ancora doveva essere formalizzato.

L'apparente peccato capitale di Carnot sta nell'essere partito con la sua metodica sperimentale da una analogia che non poteva reggere a lungo, vale a dire quella di un fluido che, traslando da un corpo all'altro, produce movimento, a paragone di quanto fa l'acqua con la ruota idraulica: la teoria del calorico.

Correttezza intellettuale vuole che gli sia però resa giustizia.

Anche se non profondamente convinto, Carnot non pone pubblicamente in discussione l'esistenza o meno di questo fluido, ma egli stesso scriverà poi nel 1830 un manoscritto nel quale vengono evidenziati i limiti di credibilità da assegnare a quella che diventerà la teoria del "calorico", manoscritto che verrà purtroppo trovato solo dopo la sua morte e pubblicato da altri.

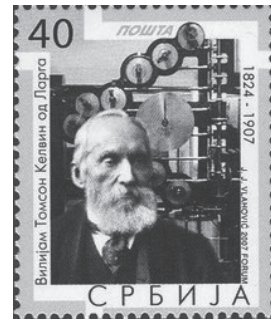


Figura 16. Una emissione dedicata dalla Serbia a Lord Kelvin.

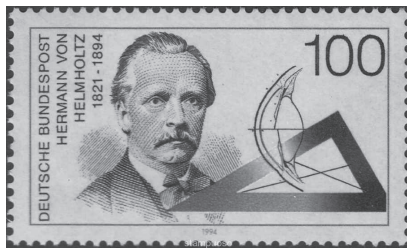


Figura 17. Un'emissione dedicata dalla Germania Occidentale a Helmholtz.

### 2.5.3. I primi passi della didattica della disciplina

Il primo insegnamento di Fisica Tecnica in Italia venne aperto a Pisa nel 1841 ad opera della riunione degli scienziati italiani, voluta dai Lorena; lo stesso anno ad opera di Leopoldo II venne attuata la riforma Giorgini che spostò Luigi Pacinotti dall'insegnamento di Fisica Sperimentale a quello della "Physica Technologica et Mechanica experimenta comprobanda".

A Luigi succede nel 1881 il figlio Antonio che proprio nell'Istituto di Fisica Tecnologica, divenuto poi nel 1913 di Fisica Tecnica, darà vita alla "macchinetta" elettro-magnetica che prenderà in seguito il suo nome: tale macchinetta è tuttora conservata nell'Ateneo pisano.

Come ci ha ricordato il collega Enrico Latrofa quando tenne qui in Facoltà una dotta conferenza sulla storia della Fisica Tecnica in Italia, la disciplina compare nelle nostre facoltà attorno al 1880 e a Bologna in particolare, nel 1876, con la nascita della Scuola di Applicazione per Ingegneri che prende il posto del soppresso Corso Pratico per Ingegneri (v. oltre), che non comprendeva invece tale insegnamento.



*Figura 18. Emissione di Poste Italiane per ricordare l'invenzione della dinamo: vi si nota la riproduzione della macchina di Pacinotti conservata nell'Ateneo pisano.*

Come documentato nel “programma della Scuola” essa raggruppava allora tutte quelle parti della Fisica Applicata che non venivano trattate direttamente nei diversi corsi di Meccanica e di Idraulica: un panorama troppo ampio, destinato inevitabilmente a dar vita ad altri insegnamenti che nasceranno nel tempo, a cominciare dall'Elettrotecnica per finire con il più recente corso di Principi di Ingegneria Chimica voluto dal professor Franco P. Foraboschi, ma a mio avviso l'emorragia non è ancora destinata a finire, come avrò modo di specificare in seguito.

Per rimanere all'interno dell'attuale dipartimento di competenza, il Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIN), l'insegnamento di “Macchine” è coevo con la “Fisica Tecnica”, ed era allora rappresentato da quello di “Macchine Termiche, Idrauliche ed Agricole”.

A Bologna quella che oggi si chiama Scuola di Ingegneria nasce nel 1862, col nome di Corso Pratico per Ingegneri, come insieme di corsi che «gli studenti dell'Università di Bologna i quali aspirano ad ottenere il diploma di esercizio della professione di Ingegnere civile e Architetto dovranno,

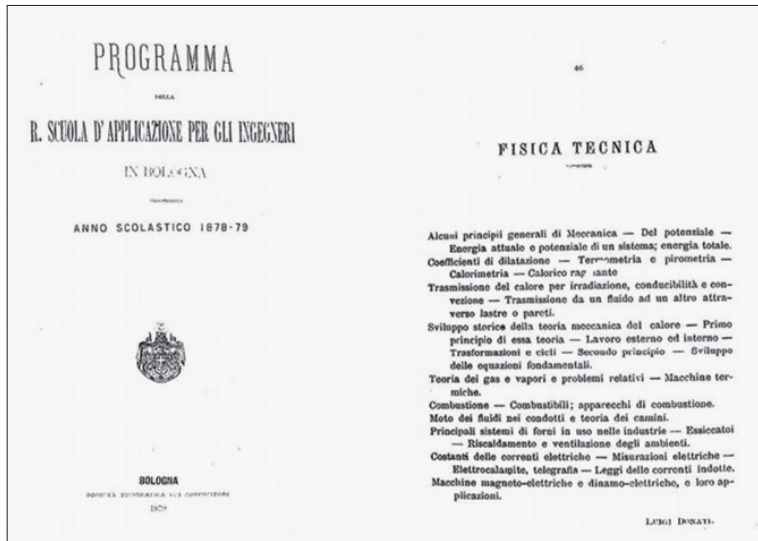
dopo conseguita la licenza nella Facoltà di Scienze matematiche (atteso due anni alla pratica presso un ingegnere architetto approvato), nello stesso tempo seguire sostenendo infine i relativi esami».

Nel 1875 il Corso Pratico viene dichiarato inadeguato e soppresso dal Ministero. Con Regio Decreto 8/10/1876 viene fissato il regolamento delle Scuole di Applicazione per Ingegneri, che prevede un biennio presso la Facoltà di Scienze, quindi un triennio per il conseguimento del diploma corrispondente, triennio che comprende, al secondo o terzo anno, anche la Fisica Tecnica.

Per dare vita alla Scuola nell'Università di Bologna, nel 1877 viene costituito un Consorzio tra Provincia, Comune di Bologna ed altri enti cittadini; la sede viene individuata nell'ex convento di San Giovanni dei Celestini. Lo stato si assumerà il totale onere economico della Scuola solo nel 1899.

Rimanendo nel discorso della didattica, come si evince anche dal programma e come recentemente ricordato dal collega Dino Zanobetti, nel 1877 il primo titolare di cattedra fu Luigi Donati.

La disciplina si occupava allora di diverse applicazioni della Fisica, segnatamente: alcuni principi generali di meccanica (energia attuale e potenziale, energia totale), coefficienti di dilatazione, termometria e calorimetria, trasmissione del calore nelle sue diverse manifestazioni, teoria meccanica del calore (oggi termodinamica generale), teoria dei gas e dei vapori, macchine termiche, combustione e combustibili, moto dei fluidi nei condotti e nei camini, forni ed essiccatoi, riscaldamento e ventilazione degli ambienti, costanti delle correnti elettriche, misure elettriche, elettromagnetismo e telegrafia, correnti indotte, macchine magneto-elettriche e dinamo-elettriche.



*Figura 19.  
Estratto  
dall'annuario  
di Ateneo  
del 1879.*

Nel 1883/84 il Donati potenzia la sezione elettrica, inserendo nel programma i fondamenti di elettrostatica, pile ed accumulatori, illuminazione elettrica e trasporto dell'energia elettrica.

Nel programma del 1899/1900 il Donati inserisce anche le applicazioni dell'elettricità alla metallurgia, nonché esercitazioni di misure elettriche; è comunque solo da quell'Anno Accademico che il «prof. cav. Luigi Donati [...] tiene il corso complementare facoltativo di “Elettrotecnica” [...] gratuitamente ed a titolo assolutamente privato».

Nell'anno accademico 1887/88 il professor Donati diviene ordinario di Fisica Tecnica, dopo un decennio di straordinariato trascorso in completa solitudine, non risultando infatti dai documenti che disponesse in quegli anni di alcun assistente: nel corso di quel decennio diede vita dal nulla al “Gabinetto di Fisica Tecnica”, di cui si cominciava già a parlare nel 1881 in una relazione dello stesso Donati, allegata alle “Notizie della R. Scuola d'Applicazione per Ingegneri in Bologna”, che fornisce indicazioni di carattere logistico («posto nella parte più alta dell'edificio, in un'ala isolata [...] riceve luce da tutti i suoi quattro lati») ed un primo elenco degli apparecchi disponibili.

Vi si legge in particolare che esso è «ora in grado di disporre [...] di corrente elettrica nelle sue varie modalità e [...] dei diversi apparecchi di misura e di ricerca, di servire alle principali dimostrazioni sperimentali e di fornire quanto occorre per gli esercizi del corso, per le diverse ricerche scientifiche [...] e per la taratura degli strumenti industriali».

Oltre a quanto già menzionato, tra questi ricordiamo un barometro di Fortin, di cui fece uso più volte lo scrivente per verificare la taratura in pressione di alcuni fonometri, e una macchina per fare il vuoto, a suo tempo più volte utilizzata da chi scrive per svolgere attività di prove conto terzi. In un successivo rapporto, a firma



sempre di Donati, si legge che il Gabinetto di Fisica Tecnica si è arricchito di altra strumentazione, ampliando i propri interessi nei settori della chimica, dell'elettrostatica, delle misure elettriche e della telefonia.

A partire dall'anno accademico 1900/01, la cattedra di Fisica Tecnica dispone di uno o più assistenti, che però sembrano non dedicarsi molto alla possibile carriera universitaria, come dimostra il loro successivo abbandono del posto per transitare essenzialmente nelle Ferrovie dello Stato e, in misura nettamente minore, per dedicarsi ad una non meglio identificata attività professionale.

Transitano così attraverso l'assistenza alla Fisica Tecnica, senza lasciare traccia, gli ingegneri Federico Marta (1892/93), Giorgio Levi (1893-98), Alfredo Donati (1898-1900), Manfredo Peretti (1900-03), Emidio Pacilli (1901/02), Alberto Fabbri (1902-04), Gustavo Rizzoli (1904-07), Leonello Calzolari (1904-06), Lino Sandonnini (1906-08), Giacomo Somajni (1907-29); lascia invece traccia di sé nel mondo della professione, tra i padri della Termotecnica Applicata, l'ingegner Aldo Gini (1911-15).

Si dedicano con successo alla carriera universitaria, negli anni successivi, Umberto Puppini (1909/10) prima e Dario Graffi poi (1923-30); il primo diverrà cattedratico di Idraulica e successivamente Direttore della R. Scuola di Applicazione per Ingegneri tra il 1927 ed il 1932; il secondo, sia pure con qualche sporadica ricomparsa nel settore di cui trattasi, diverrà cattedratico di Meccanica Razionale e darà alla nostra disciplina un'impronta compilando un testo di dispense, purtroppo non disponibile a Bologna.

La storia dell'insegnamento della Fisica Tecnica si interseca con quella della Regia Scuola di Applicazione per Ingegneri, con le sue vicissitudini sia di inquadramento legale che logistiche (l'insediamento nell'ex convento dei Celestini, e dal 1935 nell'attuale sede di viale Risorgimento).

È con il professor Emanuele Foà che la Regia Scuola, divenuta nel 1933 Regio Istituto Superiore di Ingegneria e nel 1935 Facoltà, viene come detto trasferita dalla sede di piazza de' Celestini all'attuale di viale Risorgimento. Nel momento di quest'ultimo trasferimento, alla Fisica Tecnica viene riservata un'intera ala al primo piano, dove ancora oggi, sia pure con la rinuncia allo spazio oggi occupato sul piano dal corridoio comune e da parte del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM), si svolgono le attività legate alla didattica: con la edificazione in via Terracini del primo nucleo della seconda sede della Scuola, il laboratorio si colloca colà in un capannone e quindi là si sposta tutta l'attività di ricerca sperimentale e la didattica ad essa connessa.

Dai tempi di Foà e fino alla edificazione della seconda scuola, la presenza degli studi dei docenti e del laboratorio in un'unica struttura consentiva ai primi di seguire sempre di persona non solo l'attività sperimentale dei più giovani assistenti, ma anche quella dei laureandi ed in particolare proprio la loro attività sperimentale. Ricordo qui che il professor Arturo Giulianini interpretava il suo ruolo di docente dei futuri colleghi anche uscendo più volte nella giornata dal suo studio (collocato in prossimità dell'accesso più prossimo alle scale) per recarsi apparentemente in laboratorio a pesarsi, in realtà per "ispezionare" lo stato di avanzamento del nostro lavoro e di quello dei

laureandi, intrattenendosi con ciascuno di noi, fornendo se del caso suggerimenti sia tecnici che pratici. Desidero qui evidenziare il grande danno che hanno subito proprio in questo particolare aspetto della vita accademica le nostre attività didattiche con l'allontanamento del laboratorio, che ha impedito che quel contatto umano prima ancora che didattico continuasse a svilupparsi in forma continua, fornendo inoltre a molti docenti (oggi anche i ricercatori sono necessariamente incaricati, talvolta molto pesantemente, di docenza) un motivo per allontanarsi dalla attività di ricerca sperimentale, rifugiandosi nelle più spedite e meno costose simulazioni al calcolatore.

Ritornando all'evolversi dell'insegnamento nel tempo, negli anni accademici dal 1916/17 al 1922/23 il professor Donati assume la funzione di Direttore della R. Scuola. Dopo il suo ritiro per limiti d'età, a partire dall'A.A. 1923/24 e fino al 1926 la cattedra passa al professor Francesco Piola, che riduce la presenza dell'elettrotecnica nella Fisica Tecnica come si evince anche dal suo programma di insegnamento e dalle sue dispense, disponibili presso la biblioteca G.P. Dore. È sotto il suo insegnamento che si forma culturalmente l'allora assistente dottor Dario Graffi, che assumerà l'insegnamento della disciplina per l'A.A. 1926/27. Come già detto, anche Dario Graffi, divenuto poi scienziato di fama internazionale per i suoi studi di Meccanica Razionale, ha lasciato traccia del suo passaggio.

Nominato Emanuele Foà professore ordinario della materia a partire dall'A.A. 1927/28, Dario Graffi riassume il ruolo di assistente fino al 1933.

Il professor Foà ricolloca nel programma della materia un ampio capitolo di elettrotecnica, sulle orme di quanto faceva il professor Donati, ed aggiunge per gli anni accademici 1933/34 e 1934/35 una breve trattazione di apparecchi di interesse militare.

Sotto l'ala del professor Foà si formano altri colleghi; il professor Bruno Finzi Contini (che diverrà poi cattedratico a Trieste, succedendo a Giulianini che lì teneva l'incarico della materia) compare quale assistente volontario nell'A.A. 1931/32, mentre altri sono transitati poi ad altra disciplina: ricordiamo il professor Giovanni Cocchi (autore del capitolo delle dispense del Foà dedicato agli impianti di riscaldamento e condizionamento dell'aria, divenuto poi ordinario di Idraulica, quindi Preside della Facoltà) ed il professor Sergio Fabbri (nominato assistente volontario dal 1/2/50, resta tale fino al 1951, diverrà in seguito ordinario di Impianti Meccanici).

Negli "Annuari dell'Università di Bologna", dove a partire dal 1930 troviamo la Facoltà di Ingegneria con la sua composizione, nell'A.A. 1938/39 compare per la prima volta quale assistente il professor Arturo Giulianini.

A cura del professor Giulianini esce il noto testo di Foà *Elementi di Fisica Tecnica*, basato sulle sue dispense di lezione: su di esso si formeranno molti dei suoi assistenti, tra i quali lo scrivente.

Il periodo di transizione fra questi due illustri docenti è segnato dalle vicissitudini di salute oltre che politiche di Emanuele Foà: per non essere perseguitato quale ebreo, il Foà accettò di vestire l'orbace e di montare un turno di guardia al monumento al Milite Ignoto insieme ad altri suoi colleghi dell'epoca. Ciò non gli valse ad evitare l'epurazione ma anzi, caduto il regime fascista, ciò fu causa di una seconda epurazione; solo dopo qualche tempo venne reinserito nei ruoli. In questo periodo di



*Figura 20. Un ricordo del professor Emanuele Foà.*

forzata latitanza dalla Facoltà, mentre l'insegnamento veniva tenuto da colleghi più o meno addentro alla materia, la ricerca proseguiva con la collaborazione di Giulianini e con incontri presso l'abitazione di Foà nel corso dei quali venivano concertate nuove indagini di laboratorio.

Fino al 1940, nei programmi compare ancora qualche cenno di elettrostatica.

Negli anni tra il 1942 ed il 1946 non si trova traccia dell'Istituto di Fisica Tecnica (sicuramente in quel periodo il professor Giulianini era ufficiale di Artiglieria in Albania, da dove fu congedato con il grado di capitano, acquisito sul campo) e l'insegnamento sembra tacere nell'A.A. 1945/46.

Negli anni accademici 1946/47 e 1947/48 il professor Foà riassume la direzione dell'Istituto e la Docenza della materia, avendo nuovamente come assistente il professor Giulianini.

Il 9 ottobre 1949 muore il professor Emanuele Foà.

Alla morte di Foà riprende quindi il martoriato cammino dell'insegnamento, vagante per brevi periodi tra Professori di chiara fama, ma culturalmente al di fuori dalla materia.

Nell'A.A. 1951/52 l'insegnamento viene affidato al professor Antonio Pignedoli (matematico di chiara fama, che diverrà poi titolare prima di Analisi matematica poi di Meccanica Razionale) e al professor Aristide Prosciutto (docente di Meccanica Applicata) che funge anche da Direttore dell'Istituto, mentre nel frattempo il professor Giulianini (libero docente di Fisica Tecnica) viene nominato Aiuto.

Alla scomparsa del professor Prosciutto, il professor Giulianini assume l'incarico dell'insegnamento e della Direzione dell'Istituto; il programma abbandona definitivamente ogni cenno all'elettrostatica per assumere la connotazione classica nelle sue cinque articolazioni: termodinamica, moto dei fluidi, trasmissione del calore, acustica architettonica, tecnica dell'illuminazione; a queste nozioni segue, quasi in un percorso ideale dalla teoria all'applicazione pratica, la progettazione di impianti di riscaldamento e condizionamento dell'aria, che diverrà poi corso autonomo ai primi anni Sessanta.

Sono questi gli anni più tormentati in quanto manca la figura carismatica del cattedratico di Fisica Tecnica, proprio quando la Facoltà si ricostituisce e si rafforza

nelle sue strutture didattiche e di ricerca sperimentale: di questo fatto ha risentito indubbiamente la struttura edilizia dell'Istituto, che si vede privato di spazi per la necessità di realizzare nuove aule, e deve ricavare gli studi per gli assistenti al proprio interno, sacrificando parti della biblioteca e del laboratorio nello stesso momento in cui avveniva la rinascita della attività di ricerca, ma di questa tratterò dopo.

Nell'A.A. 1958/59 il professor Arturo Giulianini diviene cattedratico della materia e andrà avanti nell'insegnamento fino al 1982, anno di collocamento fuori ruolo: piace ricordare che ricevette allora la medaglia d'oro del Ministero della Pubblica Istruzione e la nomina a professore emerito dell'Ateneo bolognese, essendo già Accademico Corrispondente presso la locale Accademia delle Scienze.

A questi alti riconoscimenti e a suo onore, desidero aggiungere un ricordo personale.

Pur essendo stato io suo aiuto, non volle mai farsi sostituire durante l'orario ufficiale di lezione: fu costretto a farsi sostituire dallo scrivente, già ordinario della disciplina, da un'improvvisa malattia proprio alla conclusione del suo ultimo anno di lezione. Allora era consuetudine che alle lezioni presenziassero anche gli assistenti più giovani ed era quella l'unica opportunità che si offriva agli stessi per approfondire "l'arte di fare lezione": questa partecipazione si allargava a tutti gli assistenti in servizio in occasione dell'ultima lezione che veniva dedicata ad un argomento particolarmente caro al docente; questo "rituale" non poté avere luogo e non fu così possibile tributargli quel meritato applauso che sicuramente avrebbe ricevuto anche dagli studenti.

Sono gli anni dell'esplosione della ricerca, grazie anche ai finanziamenti provenienti dal CNR nell'ambito dei progetti finalizzati "Energetica" e della nascita dell'Ingegneria Nucleare: il professor Giulianini ricevette allora l'incarico dalla facoltà di cooperare alla creazione di questo nuovo corso di laurea assumendo l'incarico della nuova disciplina "Termotecnica del Reattore Nucleare", alla quale si dedicherà predisponendo un adeguato testo di dispense ed assumendo un assistente ad essa dedicato: l'allora ingegner Enrico Lorenzini.

Desidero poi ricordare i colleghi con cui ho condiviso gli anni iniziali del mio viaggio: Franco P. Foraboschi (ordinario di Principi di Ingegneria Chimica e per un triennio Preside della Facoltà), Iginio Di Federico (ordinario di Fisica Tecnica presso la Facoltà di Architettura dell'Università di Firenze, poi di Ferrara dove ha ricoperto anche la carica di Preside), Sandro Salvigni (ordinario di Fisica Tecnica), Enrico Lorenzini (prima ordinario di Termotecnica del Reattore e poi di Fisica Tecnica,



*Figura 21. Il professor Giulianini partecipa ad un convegno AICARR al SAIE di Bologna, alla sua sinistra si riconoscono l'ingegner F. Palmizi, Presidente di AICARR e lo scrivente.*

Preside della Facoltà per due mandati e per breve tempo Pro-rettore), prematuramente scomparso il primo, in quiescenza tutti gli altri.

Per contro, si dedicò quasi interamente alla didattica un altro iniziale compagno di viaggio, anch'egli ora in quiescenza: Adriano Vaccari, assistente ordinario, che ha ricoperto l'incarico della disciplina presso la Facoltà di Chimica Industriale.

È grazie anche all'operato di alcuni di essi che negli anni Novanta nascono a livello nazionale le nuove discipline di Fisica Tecnica Ambientale e Fisica Tecnica Industriale, a sostituire e ammodernare i contenuti didattici della tradizionale Fisica Tecnica.

I giovani entrati a far parte dell'Istituto prima, e del DIENCA poi dopo gli anni Ottanta, vengono indirizzati così verso le nuove discipline, quelle derivate dalla FTA, vale a dire gli Impianti Tecnici e l'Acustica Applicata, a loro volta figlie dell'insegnamento di Impianti Tecnici Civili, aperto dal professor Giulianini per l'ingegner Enzo Giusti (transitato poi alla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze, anch'egli ora in quiescenza).

L'attività di ricerca ferve a partire dagli anni Settanta ed è grazie ad essa che raggiungono l'apice della loro carriera, anche se poi costretti ad emigrare, Giovanni Barozzi (ordinario di Fisica Tecnica e Preside della Facoltà di Ingegneria all'Università di Modena, in quiescenza), Roberto Pompoli (ordinario di Fisica Tecnica presso l'Università di Cagliari prima, poi di Parma ed infine di Ferrara, dove ha ricoperto anche la carica di Preside, ora in quiescenza), Giorgio Raffellini (ordinario di Fisica Tecnica presso la Facoltà di Architettura dell'Università di Firenze, ora in quiescenza), Giorgio Pagliarini (ordinario di Fisica Tecnica presso l'Università di Parma dove ha ricoperto anche la carica di Pro-rettore). L'elenco si allunga coi professori ordinari Antonio Dumas (presso l'Università di Reggio Emilia, ora in quiescenza), Angelo Farina (ora all'Università di Parma), Giuseppe Grazzini (all'Università di Firenze, ora in quiescenza), Stefano Piva<sup>2</sup> (ora all'Università di Ferrara), Paolo Tartarini (ora all'Università di Modena), Valerio Tarabusi (ordinario a Cesena, ora in quiescenza), Enzo Zanchini, Antonio Barletta e Massimo Garai (in servizio a Bologna).

Tornando indietro di qualche anno, va ricordato che alla nascita dei dipartimenti i docenti della sezione nucleare si separarono dividendosi tra la Fisica Tecnica (concorrendo con noi a dar vita al DIENCA) e la Meccanica (confluendo nel DIEM): in particolare venne seguito il criterio degli interessi più o meno vicini alla base o all'applicazione, ma non del tutto.

Ricordo questo sviluppo perché poco fa, nel ricercare le radici della Fisica Tecnica, ho accennato alla storia delle conversioni di energia, e quella dell'energia nucleare in calore ne costituisce lo sviluppo più recente, aggiungendo che delle vicissitudini relativamente più recenti fa parte la ricongiunzione della compagine nucleare nel nuovo Dipartimento di Ingegneria Industriale DIN.

---

<sup>2</sup> Un ringraziamento particolare devo a Stefano Piva, che collaborò con estrema diligenza all'analisi delle fonti in occasione della redazione dell'articolo *La Fisica Tecnica a Bologna*, "La Termotecnica", 54, 6, 29-31, luglio-agosto 2000, anche in "Ingegneri ARchitetti COstruttori", 55, 8, ottobre 2000.

Avviandomi alle conclusioni, desidero portare la mia attenzione sulla ricerca per ritornare infine a qualche ipotesi sulle prospettive di evoluzione futura di quella che, all'origine, fu una compagine compatta grazie non solo alle grandi doti di umanità che sempre animarono il professor Giulianini, ma anche al tema della ricerca, che nel mondo universitario non può discostarsi dalla didattica, ma deve continuamente animarla e tenerla aggiornata.

Si è visto che i contenuti dell'insegnamento della Fisica Tecnica erano associati proprio agli interessi di ricerca dei personaggi che man mano si succedettero, si è visto altresì che al naturale ampliarsi dello spettro di interessi si associa la prima gemmazione, dando origine all'Elettrotecnica e quindi perdendone via via i contenuti anche di base. La nascita del Gabinetto di Fisica Tecnica testimonia questa necessità di associare la didattica alla ricerca, gli sviluppi nel tempo del Gabinetto stesso si affiancano a quelli delle esigenze di carriera di chi si dedicava anima e corpo all'Università.

I professori Foà e Giulianini si sono formati quando ancora erano preponderanti gli interessi per la termodinamica, la fluidodinamica e la trasmissione del calore, alimentati dalla possibilità di avvalersi dello strumento matematico al fine di pervenire con semplicità anche là dove una soluzione rigorosa, vuoi teorica vuoi sperimentale, era difficile da ottenere: gli studi sull'applicazione della tecnica dell'analisi dimensionale ai fenomeni convettivi sono emblematici di questo filone di ricerca e ad esso hanno notevolmente contribuito proprio i suddetti Foà e Giulianini.

La temporalmente contenuta presenza nell'istituto di Fisica Tecnica di eminenti matematici quali i professori Graffi e Pignedoli ha lasciato traccia, come attestato dall'incremento della ricerca teorica che si nota nei lavori del professor Giulianini negli anni della sua formazione universitaria, ma lo stesso era anche un ingegnere, e lo dimostrano non solo le sue vicissitudini durante la Seconda guerra mondiale, ma anche subito dopo i suoi interessi applicativi a problemi tecnici del mondo dell'edilizia.

Se si trova traccia che l'illuminotecnica non va al di là di quanto già ricordato circa le possibilità di misurazione, non così è dell'Acustica Applicata, che entra nell'ormai da tutti definito con termine più moderno "laboratorio" solo dopo la conclusione della guerra, quando vi confluirono una serie di apparecchiature di base, dono del popolo americano.

Come già ricordato, negli anni Sessanta si superavano i concorsi solo se si dimostrava di aver pubblicato qualcosa di nuovo anche in questo settore, mentre contemporaneamente nasceva l'interesse per quello che poi diverrà un grosso problema ambientale: lo studio di materiali atti a contribuire al controllo del rumore; si preparava così la separazione fra i FTI (ancorati ai filoni tradizionali) e i FTA, i primi daranno origine ai Principi di Ingegneria Chimica, i secondi agli Impianti Tecnici Civili, per breve tempo all'Acustica Applicata e Illuminotecnica poi alla sola Acustica Applicata, mentre l'illuminotecnica viene presto abbandonata perché ingiustamente ritenuta poco interessante nei nuovi panorami didattici. Non così è per l'acustica: il patrimonio di conoscenze che si forma sui pochi testi disponibili (uno solo, e scadente, in italiano, tutti gli altri in inglese) dà vita al lavoro di molti laureandi, l'interesse personale alla disciplina porta alla stampa di un testo, coautori il professor Giulianini

e lo scrivente, che rimarrà a lungo isolato nella bibliografia italiana e porterà la sede di Bologna a costituire un patrimonio bibliografico non indifferente e ad assumere un ruolo di riferimento anche per il Ministero dell'Ambiente: molte delle principali disposizioni legislative in materia videro allora la partecipazione attiva dello scrivente e dei suoi collaboratori nella disciplina, i ricordati professori Pompoli e Farina, l'acustica nei Teatri e nei luoghi di spettacolo portò il DIENCA a sviluppare molti contatti di ricerca a livello internazionale con scambio anche di *visiting professors*, laureandi e dottorandi, e su questo tema si sviluppò anche un ramo del corso di dottorato in Fisica Tecnica.

È con rammarico che lo scrivente ha visto, poco dopo il pensionamento, l'Acustica relegata nuovamente al ruolo di capitolo della FTA. Ancora oggi peraltro, pur mantenendo viva la ricerca nel settore dell'edilizia con strutture specifiche di grande rilievo e quella sull'acustica teatrale grazie alla presenza di elementi di spicco che fanno largo uso delle moderne strumentazioni computerizzate, Bologna costituisce un punto di riferimento non solo nazionale.

Ritornando alla nascita della FTA, la necessità, a suo tempo da me molto sentita e vissuta, di dare vita ad un complesso di discipline separate, anche per tematica di ricerca oltre che per indirizzo didattico, al punto di rinunciare a parte delle prerogative che il concorso vinto mi riservava, non va a mio avviso trascurata. Ciò non per ambizione ad un ricordo, ma proprio per il loro stesso interesse, e cerchiamone qui le ragioni.

Come a suo tempo furono le necessità di sviluppo della ricerca, come sempre molto aderenti alle esigenze di una didattica moderna, a generare nuove strutture per l'Elettrotecnica e poi per i Principi di Ingegneria Chimica, non va trascurato il fatto che oggi la Fisica Tecnica Ambientale sviluppa una ricerca ampiamente collegata con il mondo dell'edilizia e necessita di strutture ed apparecchiature che poco o nulla hanno da condividere con quelle della Fisica Tecnica Industriale.

Oggi lo sprone ad approfondire la ricerca nasce, per quanto riguarda questa disciplina, sicuramente dalla esigenza di ottimizzare i processi al fine di contenerne i consumi di energia, un obiettivo che già animò il lavoro di Sadi Carnot. Lasciando ad altre discipline il compito di raffinare gli strumenti di indagine, e mi riferisco in particolare ai moderni sviluppi della termodinamica, è evidente il diverso ambito di interesse, per gli uni l'industria, per gli altri l'edilizia e l'ambiente in cui viviamo.

Anche i programmi didattici si sono adattati a questa separazione di interessi, offrendo agli studenti indirizzi di ingegneria più vicini all'industria termomeccanica accanto ad altri più legati all'edilizia e alla conservazione dell'ambiente, dell'energia e della salute dell'uomo: l'isolamento termico degli edifici e l'acustica applicata sono emblematici di questa situazione; bisognerebbe quindi avere il coraggio di tagliare il cordone ombelicale che ancora vincola chi si occupa di benessere ambientale e di risparmio energetico nella climatizzazione degli edifici alla Fisica Tecnica tradizionale nella quale si è a suo tempo formato lo scrivente.

Lo dimostra il fatto che molti contratti di ricerca a livello sia europeo che regionale vengono oggi acquisiti dagli ambientalisti in collaborazione con altri dipartimenti della Scuola: al momento si può dire, a mio avviso, che la politica che ha creato i

dipartimenti come fucina di ricerca a forte concentrazione di ingegni e risorse vede, almeno a livello locale, due gruppi fortemente disaggregati, uniti solo dalla sede edilizia e da alcune strutture ed apparecchiature difficilmente separabili: la confluenza del materiale bibliografico in un'unica struttura di Scuola probabilmente faciliterà questo processo di gemmazione.

Il mondo evolve, la tendenza verso la produttività dell'insegnamento e l'ultraspecializzazione della ricerca, che ci deriva dalla cultura anglosassone e americana in particolare, trascina e travolge anche la nostra cultura, nei concorsi non si chiede più a un fisico tecnico di dimostrare che sa muoversi in tutti i temi che interessano la didattica, bensì di aver pubblicato su riviste internazionali con *referees*, bisogna produrre molto, spendere il meno possibile, essere sempre più formalmente presenti in campo internazionale.

Nel frattempo evolvono anche le possibilità di calcolo, dal tempo in cui ci si recava al centro calcoli di Facoltà con in mano un pacco di schede perforate (oggi oggetto per un museo della scienza) si passa a *personal computers* sempre più performanti: accade così che venga applicata ancora una volta la prima parte dell'idea galileiana di indagare il comportamento della natura con esperimenti ideali, ma non va dimenticato che li voleva poi verificabili (e verificati poi) in qualche misura con eventi naturali.

Oggi si eseguono le simulazioni al calcolatore, ci si autoreferenzia con *rendering* sempre più somiglianti a fotografie, il più delle volte (anche per impossibilità materiale) non si mette in atto la seconda parte della idea galileiana, manca la fase di validazione, ma poco importa: le riviste internazionali *online* accettano e referenziano con modesto onere finanziario tutto o quasi tutto, ed è così che l'attuale corpo docente si prepara ad insegnare cose che magari non ha mai realmente toccato con mano.

Più volte ci è stato indicato dal mondo dell'industria che l'Università deve uscire dalla sua torre eburnea, ma come potrà avvenire ciò se i suoi docenti sono sempre più costretti, con motivazioni anche reali di mancanza di fondi, carenza di personale operativo, incagli e ritardi burocratici, a rinchiudersi per sopravvivere?

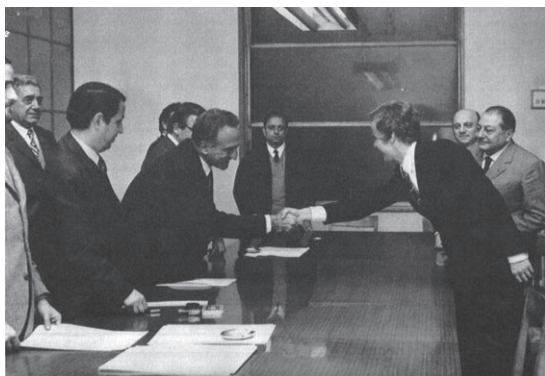
Credo opportuno riconoscere che solo chi opera a contatto con la realtà dei cantieri edili e dell'ambiente può ancora oggi mettere in atto, con costi limitati, quella verifica sperimentale voluta da Galileo, individuando così nella sola Fisica Tecnica Ambientale la disciplina vera erede del processo che dette origine alla disciplina.

#### 2.5.4. Conclusioni

Ormai il mio tempo è scaduto, e purtroppo non solo per questa disamina, chiedo scusa se mi sono permesso di invadere un campo che non mi appartiene più ma, affidatomi il compito di reporter, mi sentivo in dovere di fare anche questo.

Iniziata la mia vita universitaria in un'epoca che risentiva ancora dell'ecletticità di chi ci aveva preceduto e in un momento storico che ancora permetteva certi sviluppi,





*Figura 22. Una cerimonia di laurea di altri tempi, senza coretti di discutibile contenuto culturale.*

essendomi adattato alle esigenze della produttività che prima chiese ai docenti di contenere i tempi della propria disciplina dando vita ai corsi intensivi, consentendo così in pratica ai discenti meno agguerriti di “scaricare” dalla mente una nozione per fare posto a un'altra (come si fa con un computer che non disponga di molti mega di memoria), vedo oggi questa tendenza sempre più accentuata dal fatidico 3+2, sicuramente valido per la preparazione

verso altre professioni, ma non per quella di Ingegnere: questa denuncia non è sicuramente originale, ma non posso esimermi dal formularla anch'io ogni qual volta me ne viene data la possibilità.

Ritornando al tema specifico di queste note, desidero concludere questa lunga carrellata e, scusandomi per aver più volte sconfinato, mi riallaccio alle premesse mettendo in evidenza come l'evoluzione della denominazione, già da tempo troppo generica per rappresentarne sinteticamente il contenuto, ed il processo di gemmazione non siano ancora al passo con i tempi.

L'attuale riassetto dell'organizzazione amministrativa, con la creazione dei grandi raggruppamenti dipartimentali, dovrebbe a breve portare al completamento del disegno a suo tempo tracciato, con il riavvicinamento anche fisico della didattica ai laboratori: questa potrebbe essere l'occasione per consentire anche una riorganizzazione del personale docente, portando quanti non vedono più un legame, se non sentimentale, al ceppo madre, a potersi collocare al fianco di altri settori che meglio ne valorizzerebbero le potenzialità di ricerca, fornendo loro un contatto più diretto con le realtà del mondo civile nel quale già oggi operano scientificamente.

Non posso non concludere un lavoro, che dovrebbe servire come atto scritto a documentazione di un particolare aspetto di un'epoca della storia della nostra università che sembra essersi svolto ieri ma che invece si colloca oramai ad anni luce rispetto al mondo di oggi, senza presentare una foto storica gentilmente concessami dall'allora laureando Marcello Rivizzigno, presente alla cerimonia tra i suoi docenti di Ingegneria Civile (sarà un caso? Ai posteri l'ardua sentenza), tra i quali si riconoscono Bruno Bottau, Enzo Giusti, Piero Pozzati, Giuseppe Cantore e Arturo Giulianini.

## 2.6. IL CORSO DI STRADE NELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Alberto Bucchi, Francesco Mazzotta*

### 2.6.1. Cenni storici

L'insegnamento del corso di Strade nell'Università di Bologna ha origini antiche; questo significa che fino da allora si era ritenuto che la conoscenza della tecnica stradale fosse basilare per la formazione degli ingegneri civili. Non abbiamo precisi riferimenti. Tuttavia si può affermare che la costruzione delle strade non ebbe fino al diciannovesimo secolo grande sviluppo particolarmente in Italia. I Romani furono dei grandi costruttori di strade ed arrivarono fino al secondo secolo a costruire ben 80.000 km di strade; questo avvenne tuttavia senza precise regole geometriche con raggi di curvatura modestissimi, pendenze elevate e sezioni ristrette, il tutto chiaramente idoneo per i traffici di quei tempi. Successivamente, particolarmente in Italia, nelle varie fasi del Medio Evo, le strade furono lasciate in abbandono per la frammentazione politica e la dominazione straniera. Si arriva così al diciannovesimo secolo in cui lo sviluppo del sistema stradale, che si era riavviato nell'ultimo secolo a causa dell'incremento industriale e commerciale, subì una notevole battuta d'arresto per l'innovazione tecnologica della ferrovia.

Comunque una tappa importante nella storia della strada fu la creazione nel 1747 della scuola di "Ponts et Chaussees" di Parigi che serviva per preparare i futuri ingegneri stradali. Una certa evoluzione delle strade la rileviamo nelle pavimentazioni per l'intuizione di tecnici stranieri. Nel 1764 Gerolamo Tresaguet, francese, ingegnere di "Ponts et Chaussees", propose una sovrastruttura che reggesse ai carichi sempre più pesanti che circolavano su strada. All'inizio dell'ottocento questo schema di pavimentazione andò in competizione tecnica con le massicciate ideate dallo scozzese Jhon Mac Adam che sono state usate fino a pochi decenni addietro; si pensi che l'Autostrada del Sole, nella sua prima realizzazione, aveva una massicciata di questo tipo.

Tornando all'insegnamento di Strade nell'Università di Bologna, si ricorda che la legge Casati del 1859 aveva privilegiato nell'insegnamento universitario l'aspetto puramente scientifico ed aveva promosso prevalentemente la ricerca svincolata da risvolti applicativi. Resisi conto che questa proposta formativa non era in linea con quei tempi nei quali andava evolvendosi l'industria, l'edilizia residenziale ed industriale, ed il commercio, il 14 gennaio 1877 fu istituita nell'Università di Bologna, ed annessa alla Facoltà di Scienze Matematiche, la Scuola di Applicazione per gli Ingegneri. Dall'A.A. 1922/23 la Scuola di Applicazione per gli Ingegneri diventa Facoltà di Ingegneria.

La sede ottocentesca era in Piazza dei Celestini; nel 1935 si ha la nuova sede di Viale Risorgimento. La nuova Scuola di Ingegneria si sostituiva definitivamente al vecchio corso pratico per la formazione degli ingegneri, non più adeguato alle esigenze del

mondo produttivo. Con l'istituzione della Scuola inizia in maniera sistematica l'insegnamento dei corsi di Strade. Infatti si ha motivo di ritenere che prima del 1877 l'insegnamento di Strade non avesse una configurazione propria, ma facesse parte dell'insegnamento di altre discipline, probabilmente di Architettura. A questo riguardo purtroppo non si hanno documentazioni. Tuttavia questa ipotesi è suffragata dal fatto che prima del 1875, per acquisire l'abilitazione all'esercizio della professione di ingegnere civile era necessario conseguire la laurea presso la Facoltà di Scienze Matematiche e poi svolgere due anni di praticantato presso un ingegnere abilitato. Tale iter fu abolito dal Regio Decreto del 26 ottobre del 1875 in quanto ci si era resi conto delle importanti lacune nel campo delle costruzioni per la formazione degli ingegneri.

L'ipotesi che elementi del corso di strade fossero inseriti nel corso di Architettura sono presumibili anche sulla base di una ricerca che è stata fatta sull'ingegnere Antonio Zannoni. È questa una figura eclettica che, nel diciannovesimo secolo, si interessò di diverse tematiche ingegneristiche: architetto progettista di palazzi a Faenza e Bologna, archeologo in quanto scoprì la necropoli etrusca e villanoviana nella Certosa di Bologna, ambientalista per la costruzione delle terme di Riolo Terme, idraulico per il ripristino dell'antico acquedotto romano di Bologna, ed infine un grande progettista di ferrovie avendo fatto i progetti della Faenza-Firenze nel 1869, della Faenza-Ravenna nel 1886 e della direttissima Bologna-Firenze nel 1888. Lo Zannoni fu anche professore ordinario di Architettura Tecnica all'Università di Bologna; quindi egli, essendo buon conoscitore delle problematiche ferroviarie e conseguentemente stradali, certamente mise nei suoi corsi di Architettura anche le nozioni di Strade.

Nell'anno accademico 1877/78, anno di costituzione della Scuola di Applicazione per gli Ingegneri e primo anno di cui si hanno notizie dagli annuari, il corso assume il nome di "Strade ordinarie e materiali fissi delle ferrovie ordinarie". Già da questo titolo si comprende l'interesse degli "Stradini", ossia degli insegnanti di Strade per le ferrovie. D'altra parte il vettore ferroviario nella seconda metà del diciannovesimo secolo aveva acceso entusiasmi e progetti in tutto il mondo in quanto si era compreso che quello, che si era subito rivelato essere un formidabile mezzo di trasporto, avrebbe rivoluzionato la mobilità delle persone, del commercio e dell'industria. Considerando solo l'area vasta di Bologna si ricorda che in quanto a ferrovie si ha nel 1859 la Piacenza-Bologna, nel 1861 la Bologna-Ancona, nel 1863 la Ravenna-Castel Bolognese e nel 1864 la Bologna-Porretta.

Le notizie riportate successivamente in questa relazione sono tratte dagli annuari dell'Università raccolti, molto diligentemente, presso la Biblioteca della Scuola di Ingegneria e Architettura.

## 2.6.2. I docenti

### **Giulio Stabilini (A.A. 1877/78 - A.A. 1912/13)**

Come si rileva dall'orazione funebre tenuta dal professor Silvio Cannevazzi il professor Giulio Stabilini era nato a Lodi nel 1853, si era laureato presso il Regio

Istituto Tecnico Superiore di Milano e nel 1877 era divenuto professore straordinario a Bologna; due anni dopo fu chiamato come professore ordinario a Torino; l'Ateneo bolognese, per le sue straordinarie doti di insegnante e di ricercatore, lo richiamò subito a Bologna dove rimase fino alla fine della sua carriera. Il professor Stabilini, negli annuari, è indicato supplente dall'A.A. 1877/78 all'A.A. 1879/80; risultando il corso non ancora "deliberato" e quindi essendo un corso libero, professore libero docente dall'A.A. 1880/81 all'A.A. 1884/85, poi professore ordinario. Il professor Stabilini, come indicato nella bibliografia ferroviaria italiana, pubblicò diversi libri: *Costruzione di Gallerie* (1886), *Costruzioni Stradali e Ferroviarie* (1893), *Strade Comuni e Ferrovie* (1900), opera in più volumi, *Ferrovia Bologna-Pistoia* (1909). Il professor Giulio Stabilini ebbe come allievo un altro Stabilini, di nome Luigi, che divenne docente nell'Università di Padova di Geometria descrittiva.

Il corso di Strade durante il periodo di docenza del professor Stabilini ha cambiato nome alcune volte: "Costruzioni stradali" dall'A.A. 1877/78 all'A.A. 1881/82, "Strade ordinarie" dall'A.A. 1882/83 all'A.A. 1886/87, "Costruzioni stradali e ferroviarie" dall'a.a. 1887/88 all'A.A. 1912/13. Il corso quindi venne tenuto dal professor Giulio Stabilini, deceduto nel 1913, dall'A.A. 1877/78 all'A.A. 1912/13 e quindi per ben 35 anni. I programmi che si sono sviluppati ed arricchiti nel tempo principalmente contemplavano i seguenti argomenti: lavori in terra, escavazione, trasporti, costi; studio dei tracciati, stradali e ferroviari, progetto preliminare, di massima, definitivo, stime; costruzione del corpo stradale, tracciamento, materiali, rilevati, trincee; muri di sostegno, manufatti di scarico delle acque; pavimentazioni stradali inghiaiate, lastricate, bitumate; piattaforma ferroviaria, inghiaimento, rotaie, segnali ferroviari, stazioni; manutenzione delle carreggiate stradali; gallerie in terreni e rocce, tracciamento, escavazioni, rivestimenti, costi.

Dall'A.A. 1898/99 nei programmi compare anche la "Costruzione della strada in terreni compressibili e instabili" e il "Consolidamento del piano carreggiabile"; evidentemente il professor Stabilini avvertì la problematica geotecnica connessa alla costruzione stradale anche se la geotecnica moderna non era stata ancora recepita. Durante l'intero periodo di docenza del professor Stabilini non si fa cenno dei materiali stradali a meno di quelli sciolti, del dimensionamento delle sovrastrutture stradali, della regolamentazione della progettazione, della classifica e delle dimensioni trasversali delle strade.

I corsi prevedevano le esercitazioni. Dall'A.A. 1877/78 si ha notizia di "Studio e disegno di progetti stradali su piani quotati". Solamente per l'A.A. 1879/80 si riferisce di una esercitazione consistente nel rilievo e nella definizione del progetto di una strada «che staccandosi presso il Ponte della Pietra fuori Porta d'Azeglio dalla attuale strada comunale Bologna-Paderno, si ricongiungesse di nuovo alla strada predetta in modo da sopprimere la forte pendenza che si incontra al suo distacco dalla Bologna-Roncrio poco a monte del villino Testi».

Dall'A.A. 1911/12 compare come assistente l'ingegner Francesco Balatroni.

**Giuseppe Albenga (A.A. 1913/14)**

Il professor Giuseppe Albenga, nato a Incisa Scapaccino in provincia di Asti nel 1882, fu un allievo di Camillo Guidi e si laureò a Torino in Ingegneria Civile nel 1904. Fu docente di Strade e ferrovie a Bologna nell'A.A. 1913/14 e a Pisa dall'A.A. 1914/15 all'A.A. 1918/19. Diventato professore ordinario di Meccanica applicata alle costruzioni, venne chiamato a Bologna dove insegnò Scienza delle Costruzioni dall'A.A. 1919/20 all'A.A. 1927/28. In quegli anni fu suo allievo il professor Odone Belluzzi che poi diverrà professore ordinario della stessa materia. Col professor Belluzzi, l'Albenga sostenne i vantaggi e la semplicità della teoria dell'ellisse di elasticità sia nel settore delle dimostrazioni teoriche, sia, soprattutto, in quello delle applicazioni pratiche.

Nel 1928 il professor Albenga si trasferì alla cattedra di Costruzione di ponti presso il Politecnico di Torino di cui fu Rettore dal 1929 al 1932 e dove si spense nel 1957. Le sue ricerche ed i suoi principali contributi appartengono al campo della teoria e del progetto dei ponti. Egli fu un grande innovatore e fu uno dei primi a studiare la storia e l'evoluzione del calcestruzzo armato e a proporre l'applicazione nella costruzione dei ponti. Fra le sue opere pubblicate più importanti si ricordano: *Lezioni di Costruzioni Idrauliche* (1921), *Meccanica applicata alle Costruzioni* (1922), *Statica delle costruzioni e resistenza dei materiali* (1923), *Lezioni di Ponti* (1923 e ristampa 1930), *Costruzioni in legno, ferro e cemento armato* (1948), *I ponti* (1953), *La matematica dell'ingegnere e le sue applicazioni* (1954).

Il programma del corso di Strade e ferrovie, con il professor Albenga ha subito un notevole aggiornamento che lo rese più vicino alle problematiche di quei tempi. Si considerano le proprietà fisiche e geologiche dei terreni, la resistenza a trazione dei veicoli (quindi si considerano i veicoli che all'inizio del secolo XX erano entrati prepotentemente nell'uso quotidiano), si determinano le dimensioni della sezione stradale, si definiscono i limiti geometrici planimetrici ed altimetrici, si introduce il concetto di massciata e di pavimentazione stradale, si considerano le ferrovie speciali ad aderenza artificiale, le funicolari, si porta particolare attenzione alla manutenzione di strade e ferrovie, si parla di trazione elettrica.

Negli annuari non sono contemplate le esercitazioni, ma essendo assistente l'ingegner Francesco Balatroni, si ha motivo di ritenere che esse fossero svolte.

**Francesco Balatroni (A.A. 1914/15 - A.A. 1950/51)**

Il professor Francesco Balatroni nacque a Bologna nel 1881, si laureò in Ingegneria Civile presso la Scuola di Applicazione per gli Ingegneri dell'Università di Bologna nel 1903; nell'A.A. 1905/06 fu assistente di Statica grafica; professore libero docente di Costruzioni stradali e ferroviarie nel 1915; fu assistente del professor Luigi Stabilini nell'A.A. 1911/12 e nell'A.A. 1912/13; assistente del professor Giuseppe Albenga nell'A.A. 1913/14; dall'A.A. 1914/15 all'A.A. 1929/30 libero docente incaricato del corso di Costruzioni stradali e ferroviarie; professore straordinario di Costruzioni stradali e ferroviarie dall'A.A. 1931/32 all'A.A. 1933/34; professore ordinario dall'A.A. 1934/35 al 1 novembre 1951 quando andò fuori ruolo. Dall'A.A.

1915/16 al 1 novembre 1951 è direttore dell'istituto. Dall'A.A. 1934/35 il professor Balatroni è incaricato anche del corso di Esercizio e materiale ferroviario.

Nel 1958 il professor Balatroni è stato insignito della medaglia d'oro, quale "Benemerito della Scienza e della Cultura". Il professor Balatroni ha partecipato attivamente alla vita politica di Bologna; fu eletto nelle liste della Democrazia Cristiana nel primo consiglio dopo la Liberazione nel 1946. Fu anche un grande progettista di strade; fu l'ispiratore principale, assieme al professor Bottau e all'ingegner Tonelli, all'inizio degli anni cinquanta, del progetto "Leonardo da Vinci" che prevedeva un'autostrada di collegamento Bologna-Firenze; purtroppo malauguratamente fu preferito il progetto del professor Aimone Ielmoni di Milano, progettista della Società Autostrade; si è detto "malauguratamente" in quanto il gruppo di Bologna ben conosceva l'Appennino e quindi se si fosse adottato il suo progetto non si sarebbero verificati i fenomeni di instabilità che hanno comportato forti difficoltà di gestione e necessità di varianti.

Il professor Balatroni fu comunque un forte sostenitore del sistema autostradale italiano e fece sentire la sua autorità anche a livello nazionale quando si trattò dei finanziamenti pubblici alle società concessionarie autostradali. Infatti lo Stato, nei primi anni cinquanta, non era in grado di sostenere tali finanziamenti; si accese un forte dibattito nel quale intervenne autorevolmente il professor Balatroni e, secondo i suoi suggerimenti, si arrivò alla soluzione, praticamente come quella attuale, delle concessioni, per cui lo Stato offre un contributo ed il concessionario ricava il resto dai pedaggi.

Il professor Balatroni si spense a Bologna nel 1961; il Consiglio Comunale così lo ricordò: «Francesco Balatroni non è stato solo un professore di scienza, è stato molto di più, ci ha insegnato una linea di vita, di onestà e di volontà». Il professor Bruno Bottau, suo successore, così lo commemorò: «Si può dire che con lui è scomparsa, una delle ultime nobili figure di docenti di un'epoca che ha realmente formato le falangi dei tecnici odierni preparandoli ad affrontare con preparazione globale i gravi compiti del futuro».

Il professor Guido Corbellini (Ancona 1890 - Roma 1976), assistente del professor Balatroni, si laureò in Ingegneria Civile presso l'Università "La Sapienza" di Roma nel 1913. Fu professore libero docente dal 1936 di Costruzioni stradali e ferroviarie; fu dapprima assistente del professor Balatroni; successivamente dall'A.A. 1936/37 all'A.A. 1948/49 tenne per incarico l'insegnamento di Tecnica ed economia dei trasporti. Vinto il concorso di professore ordinario, dall'A.A. 1949/50 all'A.A. 1964/65 fu docente di Tecnica ed economia dei trasporti nel Politecnico di Milano, ricoprendo anche l'incarico di direttore dell'istituto di Trasporti. Nel Politecnico istituì il corso di specializzazione in Ingegneria dei trasporti. Dal 1965 al 1970 diresse il Corso di perfezionamento per laureati in Ingegneria dei Trasporti. Fu ispettore capo superiore delle Ferrovie dello Stato; eseguì sperimentazioni sui mezzi di trazione ferroviari facendo prove dinamometriche; diresse le prove nella galleria del vento per determinare le forme ottimali per la penetrazione aerodinamica delle locomotive. Nell'immediato secondo dopoguerra, assieme al professor Ernesto Stagni, suo successore nel corso di Tecnica ed economia dei trasporti all'Università di Bologna, studiò vari piani di ammodernamento dei trasporti pubblici.

Dall'A.A. 1914/15 il corso di Costruzioni stradali e ferroviarie viene tenuto dal professor Francesco Balatroni, libero docente. Per gli A.A. 1916/17 e 1917/18, in corrispondenza della Grande Guerra, non ci sono gli annuari e nulla si sa dei corsi universitari né per quanto riguarda i docenti, né per quanto riguarda i programmi. Si sa invece che dall'A.A. 1918/19 il corso conserva il nome di Costruzioni stradali e ferroviarie ed è tenuto dal professor Francesco Balatroni, libero docente; non sono indicati i programmi.

Finalmente nell'A.A. 1923/24 negli annuari compare il programma del corso tenuto dal professor Balatroni. Si tratta di un programma molto articolato nel quale troviamo argomenti importanti, preludio della moderna tecnica stradale. Gli argomenti che maggiormente si differenziano, oppure che sono nuovi rispetto ai programmi precedenti, sono: trazione stradale e ferroviaria, criteri tecnici ed economici per la scelta dei tracciati, strade speciali destinate ai trasporti veloci (autostrade), studio della distribuzione delle materie di scavo e di riporto, stabilità delle scarpate, costruzioni su terreni franosi e compressibili, consolidamenti, metodi di costruzione delle gallerie, vari tipi di sovrastrutture stradali e loro manutenzione, valutazione dei costi, direzione lavori e loro contabilità, appalti. Quindi il professor Balatroni accentua l'attenzione del corso, oltre che sugli argomenti classici di carattere prevalentemente geometrico, sulla economia dei trasporti, sui problemi geotecnici, sulla tipologia delle strade, sui tipi di pavimentazioni, sugli appalti e sulla conduzione dei lavori. Si tratta quindi di una impostazione moderna che, considerati gli opportuni progressi culturali e tecnologici, pone le basi per arrivare all'attualità nel campo della progettazione stradale. Evidentemente il professor Balatroni non solo percorre i suoi tempi, ma prevede e intuisce anche i tempi futuri. Il corso prevedeva le esercitazioni consistenti nella redazione di un progetto stradale e di un progetto ferroviario, fatti su piani quotati, e delle relative opere d'arte.

Fino all'A.A. 1927/28 il programma del corso, che sempre continuò a chiamarsi Costruzioni stradali e ferroviarie, rimase praticamente invariato. Nell'A.A. 1928/29 il programma prevede nuovi ed interessanti argomenti: definizione degli elementi geometrici quali larghezza della piattaforma stradale, raggi di curvatura, pendenze per strade e ferrovie; richiami sull'equilibrio delle terre e delle rocce, spinta delle terre, equilibrio degli ammassi coerenti ed incoerenti, sollecitazioni sulla piattaforma stradale. Oltre alle esercitazioni erano previste visite a cantieri di costruzioni stradali e ferroviarie. Quindi nel nuovo programma risulta più sentita la necessità della definizione dei parametri geometrici; diviene più impellente la conoscenza del comportamento degli ammassi terrosi, facendo necessariamente un evidente richiamo alla geotecnica; si comincia ad affrontare le problematiche della pavimentazione con un approccio di tipo statico; infine si portano gli allievi fuori dai banchi di scuola per far loro conoscere le situazioni pratiche.

Nell'A.A. 1930/31 il programma introduce un ampliamento delle tipologie delle pavimentazioni: pavimentazioni ad elementi sciolti, monolitiche (forse rigide in conglomerato cementizio), con mastici idrocarburiati, monolitiche plastiche (forse flessibili con strati legati a bitume), speciali; evidentemente la costruzione delle autostrade

di prima generazione degli anni venti e trenta del ventesimo secolo avevano attirato l'attenzione dei ricercatori sul problema delle pavimentazioni. Nell'A.A. 1931/32 vengono introdotti nel capitolo delle pavimentazioni anche i trattamenti superficiali, che avranno tante applicazioni nei decenni futuri. Nell'A.A. 1933/34 nel programma compare una classifica delle strade: principali, secondarie e poderali; evidentemente si sentiva la necessità di ripartire i traffici secondo un disegno organico. L'incarico del professor Balatroni di tenere anche il corso di Esercizio e materiale ferroviario comporta che il corso di Costruzioni stradali e ferroviarie viene alleggerito della parte ferroviaria. Dall'A.A. 1935/36 il professor Balatroni si avvale della collaborazione del professor Guido Corbellini, libero docente di Costruzioni stradali e ferroviarie.

Nel 1935 viene inaugurata la nuova sede della Facoltà di Ingegneria, opera dell'architetto di chiara fama Giuseppe Vaccaro; si ha quindi il trasferimento dalla vecchia sede di Piazza dei Celestini a Viale Risorgimento. Con il trasferimento nella nuova sede si ha l'installazione definitiva del laboratorio di Costruzioni stradali e ferroviarie, laboratorio che era già in essere in Piazza dei Celestini dal 1930, ma dotato di poche macchine per le prove sui materiali incoerenti ghiaiosi; nella nuova sede il laboratorio viene notevolmente potenziato con nuove apparecchiature più moderne per prove sia di laboratorio che su strada.

Nell'A.A. 1937/38 il programma del corso di Costruzioni stradali e ferroviarie viene potenziato in merito alle pavimentazioni: forma e resistenza delle sovrastrutture, materiali per la pavimentazione di strade, loro qualità, prove di laboratorio e su strada, costruzione delle sovrastrutture ad elementi, monolitiche, idrauliche, cementizie e plastiche (forse flessibili); si evidenzia quindi una maggiore attenzione per le pavimentazioni e per l'utilizzo di prove di laboratorio e su strada. Nell'A.A. 1938/39 viene ulteriormente potenziato il capitolo sulle pavimentazioni con le relazioni fra traffico e strada. Tale programma rimane invariato fino all'A.A. 1941/1942.

L'annuario non fu pubblicato dall'A.A. 1942/43 fino all'A.A. 1945/46 per i noti eventi bellici. Si ha comunque motivo per ritenere che in questi anni la docenza sia sempre stata del professor Francesco Balatroni e che il corso abbia sempre avuto titolo "Costruzioni stradali e ferroviarie". Dall'A.A. 1946/47 l'annuario riprende le sue pubblicazioni. Tuttavia sono riportati solo il nome del docente, professor Francesco Balatroni, ed il nome del corso, "Costruzioni stradali e ferroviarie"; non è riportato il programma.

Il programma è riportato solo per l'A.A. 1950/51, ultimo anno di docenza del professor Balatroni; il programma è riportato in forma molto concisa; si nota un ampliamento delle problematiche relative alla costruzione delle gallerie; evidentemente, venendo avanti la cultura delle autostrade di seconda generazione degli anni cinquanta, il problema della costruzione delle gallerie diveniva più attuale; infatti fino ad allora la galleria era vista come una costruzione, se possibile da evitare, in quanto comportava tempi lunghi e costi notevoli, ma con la costruzione delle autostrade le gallerie non potevano più essere evitate specialmente per l'attraversamento appenninico.

Assistente del professor Balatroni, negli ultimi anni della sua docenza, era l'ingegner Tonelli.



**Bruno Bottau (A.A. 1951/52 - A.A. 1982/83)**

Il professor Bruno Bottau nacque a Bologna nel 1910 e si spense a Bologna nel 1983. Laureatosi in Ingegneria Civile presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna nel 1934, diventa assistente alla cattedra di Scienza delle costruzioni dello stesso ateneo dall'A.A. 1934/35; consegue la libera docenza in Scienza delle costruzioni nel 1940. Assume l'insegnamento per incarico di Costruzione di ponti nell'A.A. 1951/52 e lo mantiene fino all'A.A. 1982/83. Dall'A.A. 1951/52 il professor Bottau assume l'incarico anche di Costruzioni stradali e ferroviarie pur mantenendo quello di Costruzione di ponti. Nel 1955 il professor Bottau vince il concorso per professore straordinario in Costruzioni stradali e ferroviarie, diventa professore ordinario nel 1958. Rimane titolare della cattedra di Costruzioni stradali e ferroviarie fino all'A.A. 1982/83. Il corso di Costruzioni stradali e ferroviarie nell'A.A. 1961/62 cambia nome e diviene corso di "Costruzioni di strade, ferrovie ed aeroporti".

Il professor Bottau fu un grande strutturista ed in particolare uno specialista nella progettazione dei ponti; nel secondo dopo guerra fece numerosi ponti, distrutti dagli eventi bellici. Di notevole rilievo è il ponte sul fiume Reno a Sasso Marconi; un ponte ad arco di 95 mt di luce, costruito nel 1955, che per molti anni rimase il più grande ponte con quella tipologia in Europa. Come strutturista il professor Bottau fu il professore ed il tecnico di riferimento di quei tempi e certamente il più accreditato. Fra le strutture più imponenti realizzate si ricordano i grattacieli Marinella 1 di Milano Marittima, inaugurato nel 1956, alto 90 mt con 24 piani e il Marinella 2 di Cesenatico, inaugurato nel 1958, alto 118 mt con 35 piani. Il professor Bottau fu autore di varie pubblicazioni; in particolare si ricorda il libro "Costruzione di Ponti" edito nel 1972 dalle edizioni Pitagora. Nel 1969 ha fatto parte della Commissione internazionale esaminatrice dei progetti presentati al "Concorso internazionale di idee" per la costruzione del Ponte di Messina. Dal 1955 al 1976 è stato membro delle Commissioni CNR "Progettazione delle strade" e "Prove sui materiali stradali". Il professor Bottau dal 1960 è stato nel consiglio tecnico del Provveditorato alle Opere Pubbliche dell'Emilia-Romagna. Nel 1962 fu Presidente del Consiglio dell'Ordine degli Ingegneri di Bologna.

Il professor Bottau ha lasciato un profondo vuoto in tutta la Facoltà perché con lui è scomparsa un'epoca, un costume, una istituzione. I suoi allievi, il professor Pier Vincenzo Righi ed il professor Alberto Bucchi, lo ricordano come un grande maestro che ha insegnato non solo la scienza, ma anche una regola di vita semplice, lineare, onesta.

Il professor Bottau potenziò notevolmente il laboratorio aumentandone la dotazione con apparecchiature di prova di ultima generazione; all'epoca il laboratorio fu un centro rinomato nella ricerca sui materiali stradali, considerato anche il fatto che sotto la docenza del professor Bottau il CNR emanò per la prima volta moltissime norme di prova e di accettazione dei materiali stradali.

Il programma del corso si evolve ed assume negli anni sempre più una configurazione aderente allo sviluppo della tecnica stradale. Non si possono descrivere i programmi nel tempo in quanto essi variano anno per anno sempre con nuovi argomenti secondo lo sviluppo tecnologico che in quei tempi fu molto rapido e importante.

In particolare il professor Bottau pose le basi della problematica geotecnica e dedicò la sua attenzione alla spinta delle terre e quindi alle opere di sostegno prendendo in esame le strutture che nel tempo si erano andate sperimentando ed utilizzando. Una parte molto importante del programma è dedicata alla esposizione delle tipologie delle sovrastrutture sia stradali che ferroviarie con la considerazione dei carichi su di esse gravanti e con accenni interessanti ed innovativi sugli stati tensionali e deformativi. Per la prima volta sono trattati anche gli aeroporti di cui si danno indicazioni in merito al *master plan* e alle dimensioni delle piste di volo. Il professor Bottau, avendo fatto una notevole esperienza professionale, non ha mai mancato nei suoi corsi di considerare la conduzione dei cantieri facendo specifici riferimenti ai compiti delle direzione lavori e dei collaudatori, fornendo anche cenni sulla contabilità.

I corsi erano affiancati da esercitazioni che consistevano nella redazione di un progetto stradale per il quale veniva fornita una planimetria quotata. Tutti gli anni era anche prevista una visita tecnica presso un cantiere di una costruzione stradale fuori sede. Una giornata era dedicata alla visita del laboratorio dove venivano illustrate ed effettuate le prove per la certificazione dei materiali stradali.

Con il corso tenuto sulla base delle indicazioni teoriche, ma portato avanti con continui riferimenti alle situazioni reali di costruzione della strada, il professor Bottau metteva gli allievi in grado, dopo la laurea, di affrontare con competenza le problematiche che si evidenziavano nella vita professionale.

Durante la docenza del professor Bottau nel 1958 divenne assistente l'ingegner Pier Vincenzo Righi; nel 1962 l'ingegner Alberto Bucchi e successivamente l'ingegner Gianfranco Marchi. Assistenti volontari per le esercitazioni, in vari periodi, furono l'ingegner Giorgio Mondini e l'ingegner Alberto Vitale del Comune di Bologna, l'ingegner Medardo Macori dell'ANAS, l'ingegner Vittorio Legnani e l'ingegner Carlo Biagi liberi professionisti.

### ***Pier Vincenzo Righi (A.A. 1975/76 - A.A. 2003/04)***

Il professor Pier Vincenzo Righi nasce a Modena nel 1931. Diviene assistente ordinario del professor Bruno Bottau nel 1957 presso l'insegnamento di Costruzioni di strade, ferrovie ed aeroporti. Consegue la libera docenza in Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti nel 1967. Diviene professore straordinario nel 1975 e professore ordinario nel 1978 in Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti. È incaricato dell'insegnamento di Geotecnica dal A.A. 1970/71. Nell'A.A. 1976/77 il corso di Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti, fino ad allora tenuto dal professor Bottau, viene sdoppiato e quindi il professor Righi tiene il corso, per il quale è professore ordinario, di Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti e, per incarico, il corso di Geotecnica.

Alla scomparsa del professor Bottau nel 1983 il professor Righi assume l'incarico di direttore dell'Istituto di Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti che mantiene dall'A.A. 1884/85 all'A.A. 1988/89 e successivamente dall'A.A. 1992/93 all'A.A. 1995/96 e quindi fino alla costituzione del dipartimento "DISTART", Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento e del Territorio. Nell'A.A. 1993/94 il professor Righi diviene professore ordinario di Geotecnica.

I programmi del corso di Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti, con il professor Righi, sotto l'incalzare dello sviluppo tecnologico, subiscono un notevole salto di qualità in particolare per quanto riguarda la conoscenza delle caratteristiche dei terreni di posa delle infrastrutture e dei materiali delle pavimentazioni. In questa logica vengono trattate la stabilità dei piani di posa, il loro consolidamento e la loro compattazione, la stabilità delle scarpate e dei rilevati di cui si valutano i cedimenti. Riguardo ai materiali si identificano le prove di qualità ed i parametri da porre a base del calcolo delle sovrastrutture stradali. In particolare si espongono i metodi di calcolo dei "pacchetti" di sovrastruttura; si prendono in considerazione, per le pavimentazioni flessibili e semirigide, i metodi empirici (Goldback, CBR, IG, Road Note 29, AASHO) e quelli razionali (Burmister, Jeuffroy, Acum e Fox, Ivanov, Bisar) e, per le pavimentazioni rigide, i metodi di Westergard, Burmister-Peltier, Hogg. Anche le gallerie vengono trattate secondo i metodi di dimensionamento e di scavo più moderni, quelli che sono stati utilizzati per la costruzione delle autostrade, come il metodo NATM, New Austrian Tunnelling Method. Le indicazioni sugli aeroporti sono state notevolmente ampliate in merito alla scelta dell'ubicazione, all'orientamento ed alla lunghezza delle piste di volo, al calcolo delle sovrastrutture sulla base dei carichi equivalenti su ruota singola. Sono previste le esercitazioni che consistono nella redazione di un progetto stradale su una planimetria quotata fornita dall'istituto.

Al professor Righi va il grande merito di avere portato la cultura della geotecnica nella facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna. Nei programmi erano presi in considerazione tutti i campi nei quali si realizzano le costruzioni che interessano il suolo. Quindi si parte dalla conoscenza delle caratteristiche del suolo fatta con le prove di laboratorio (analisi granulometrica ed indici di consistenza, angolo di attrito, coesione, prove edometriche per determinare i cedimenti come entità e come andamento nel tempo). Il professor Righi ha dedicato particolare attenzione alle prove penetrometriche statiche con le quali ha messo a punto un programma di calcolo assolutamente originale e di facile accesso per la determinazione dei cedimenti; diverse prove comparative nella realtà hanno verosimilmente validato il procedimento. Nel programma di Geotecnica del professor Righi sono dettagliatamente enunciati anche i metodi per la valutazione della stabilità dei pendii in particolare secondo il criterio di Bishop. Infine è riportata un'ampia descrizione critica dei sistemi di calcolo delle strutture di fondazione con particolare riferimento ai pali ed ai diaframmi per i quali il professor Righi ha predisposto anche programmi di calcolo. Si può affermare che il professor Righi, per la prima volta, ha introdotto la digitalizzazione nei suoi corsi.

Durante la docenza del professor Righi sono stati presenti il professor Alberto Bucchi, professore straordinario dal 1980 poi ordinario dal 1983, l'ingegner Gianfranco Marchi, assistente ordinario e l'ingegner Giulio Dondi, ricercatore.

Dall'A.A. 1987/88, l'insegnamento di Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti è stato sdoppiato e gli studenti da L a Z hanno seguito il corso del professor Righi, mentre gli studenti da A a K hanno seguito il corso tenuto dal professor Marco Guastella, professore associato, che praticamente ha svolto un programma simile a quello del professor Righi.

**Alberto Bucchi (A.A. 1980/81 - A.A. 2006/07)**

Il professor Alberto Bucchi nasce a Lugo di Romagna nel 1936. Laureato in Ingegneria Civile-Sezione Trasporti nel 1959, diviene assistente incaricato nel 1962 e assistente ordinario nel 1963. Nel 1970 consegue la libera docenza in Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti. Nel 1980 vince il concorso di professore straordinario in Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti divenendo professore ordinario nel 1983. Il professor Bucchi è stato direttore dell'istituto di Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti negli A.A. 1989/90, 1990/91, 1991/92. Nel 1991 l'istituto ha preso il nome di istituto di "Infrastrutture viarie e geotecnica"; questo per essere più aderenti agli insegnamenti che in esso venivano tenuti.

Dall'A.A. 1972/73 il professor Bucchi tiene il corso di "Consolidamento dei terreni" fino all'A.A. 1992/93 quando il corso viene tenuto dal professor Albino Lembo Fazio, professore associato. Dall'A.A. 1978/79 il professor Bucchi tiene il corso di "Complementi di costruzioni di strade, ferrovie ed aeroporti". Il nome di tale corso si modifica in "Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti 2" nell'A.A. 1985/86. Dall'A.A. 1991/92 il corso tenuto dal professor Bucchi è "Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti"; tale corso viene tenuto fino all'A.A. 2005/06, anno del pensionamento.

Il programma di "Complementi di strade, ferrovie ed aeroporti", e così quello di "Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti 2", pongono particolare attenzione al traffico e alle sovrastrutture stradali; infatti questi sono i due argomenti che nel tempo sono divenuti di maggiore attualità a seguito del notevole incremento del traffico. Sono quindi trattati i livelli di servizio e le capacità delle sezioni stradali. Per la prima volta si stima di redditività dei progetti stradali. Si trattano i diversi tipi di pavimentazioni con la caratterizzazione dei materiali ed infine si considera con particolare attenzione il calcolo della sovrastruttura stradale portando in questo modo una innovazione nel corso in quanto questa problematica non era mai stata affrontata esaurientemente; si determina quindi lo stato tensionale e deformativo in ogni strato della sovrastruttura.

Per quanto riguarda la geometria si trattano le tipologie delle intersezioni ed il loro inserimento; si approfondisce il dimensionamento e il *master plan* degli aeroporti con la loro ubicazione, l'orientamento e il dimensionamento dei vari elementi planimetrici. Anche per gli aeroporti si indicano i metodi per il dimensionamento delle sovrastrutture. Il corso è stato costantemente arricchito nel tempo in aderenza alle tecniche innovative che si susseguivano negli anni.

Il programma del corso di "Costruzioni di strade, ferrovie ed aeroporti" nei primi anni seguì la tradizione degli anni precedenti tenuta dai rispettivi docenti apportando comunque ogni anno le nuove conoscenze che si erano sviluppate. Dall'A.A. 2001/02 il corso si arricchì a seguito della emanazione della normativa del 5/11/2001 che titola "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade". Quindi si definirono, secondo le norme, l'andamento altimetrico e planimetrico dell'asse, le sezioni dimensionate in funzione del traffico; si introdusse il diagramma delle velocità. Si esposero le diverse tipologie di pavimentazione caratterizzando compiutamente i materiali e quindi si affinarono i metodi di dimensionamento del "pacchetto".

Si pose particolare attenzione alle gallerie che venivano sempre più utilizzate nei tracciati stradali e ferroviari indicando classifiche e metodi di dimensionamento dei rivestimenti. Infine con l'avvento dell'Alta Velocità Ferroviaria si presero in considerazione in modo più ampio le problematiche delle ferrovie. Il corso veniva integrato con esercitazioni miranti a definire un progetto stradale.

Il professor Bucchi ha fatto parte della commissione ministeriale per la redazione del D.M. 5/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade". È stato membro nazionale dell'AIPCR, Associazione Internazionale Permanente Congressi della Strada, dal 1986 al 2007; ha presieduto il comitato "Pavimentazioni flessibili" dal 1996 al 1999, "Pavimentazioni stradali" dal 2000 al 2003 e "Trasporto delle merci ed intermodalità" dal 2004 al 2007. Ha presieduto la SIIV, Società Italiana Infrastrutture Viarie, che raggruppa la maggior parte dei docenti di Strade delle Università italiane, dal 1996 al 1998.

Durante la docenza del professor Bucchi il professor Giulio Dondi vinse il concorso di professore straordinario nel 2000. L'ingegner Gianfranco Marchi rimase assistente ordinario.

### **Giulio Dondi (A.A. 2000/01 fino ad oggi)**

Il professor Giulio Dondi nasce a Fidenza nel 1956 e si laurea presso l'Università di Bologna nel 1980. Diviene ricercatore presso la cattedra di Costruzioni di strade, ferrovie ed aeroporti nel 1983. Conseguì l'idoneità a professore associato nel 1997 e diviene professore straordinario di Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti nel 2000. Ha insegnato "Complementi di strade, ferrovie ed aeroporti" dall'A.A. 1998/99 all'A.A. 2004/05; in seguito il titolo di tale corso è divenuto "Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti 2". Dall'A.A. 2010/11 il professor Dondi tiene il corso di Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti. Ha pubblicato due libri: *Infrastrutture stradali, sicurezza dei motociclisti* (ed. Egaf, 2009), *Costruzioni stradali* (ed. Hoepli, 2014).

Il programma del corso di Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti riporta quanto di più attuale oggi è conosciuto in merito alle costruzioni stradali. Si parte dalla redazione del progetto secondo la normativa vigente. Si riportano le problematiche in merito alla costruzione del corpo stradale; si caratterizzano i materiali stradali; si dimensionano le opere di sostegno. Si passano in rassegna tutte le tipologie delle sovrastrutture stradali con la definizione delle loro caratteristiche funzionali e strutturali. Fra i materiali in particolare si prendono in esame tutti i vari tipi di conglomerati bituminosi con le relative prove; con innovazione si riportano anche le prove americane "Superpave". Si fa riferimento alle varie metodologie di manutenzione delle pavimentazioni. Si tratta della sicurezza della circolazione secondo le leggi vigenti utilizzando i metodi più attuali; in particolare si espongono, in modo innovativo, i dispositivi di sicurezza, la loro classificazione e gli indici di prestazione. Infine si trattano le gallerie: classificazione degli ammassi terrosi, metodi di scavo, progetto del rivestimento.

Il professor Dondi si avvale della collaborazione del professor ingegner Andrea Simone e del professor ingegner Cesare Sangiorgi professori associati, della ricercatrice confermata dottor ingegner Valeria Vignali, del ricercatore RTD dottor

ingegner Claudio Lantieri, dell'assegnista dottor ingegner Francesco Mazzotta e di quattro dottorandi ingegneri Piergiorgio Tataranni, Arianna Bichicchi, Shahin Eskandarsefat, Navid Ghasemi.

Il professor Dondi ha il grande merito di avere organizzato la didattica con criteri secondo le esigenze delle attuali problematiche stradali. Oggi il gruppo "Strade" tiene i seguenti corsi:

*Sede di Bologna - Laurea triennale in Ingegneria Civile*

- "Costruzione di Strade, Ferrovie ed Aeroporti T" (12 CFU); titolare: Professor Ingegnier Giulio Dondi. Il corso fornisce le conoscenze di base sulle componenti geometriche e sulla normativa per la progettazione delle strade. Approfondisce, inoltre, le problematiche connesse alla progettazione, al controllo ed alla gestione delle sovrastrutture stradali.

*Sede di Bologna - Laurea magistrale in Ingegneria Civile*

- "Progettazione avanzata di infrastrutture viarie M" (9 CFU); titolare: professor ingegner Andrea Simone. Il corso fornisce le conoscenze di base per organizzare un progetto stradale mediante l'ausilio di programmi dedicati, compresi i principali elementi strutturali (pavimentazioni, costruzioni in terra, opere di sostegno) ed i dispositivi di sicurezza.

- "Costruzioni ferroviarie ed aeroportuali M" (6 CFU); titolare: dottor ingegner Valeria Vignali. Il corso fornisce le competenze necessarie per progettare sia le infrastrutture ferroviarie, dal punto di vista geometrico e strutturale, sia le infrastrutture di servizio "air side" di un aeroporto.

- "Laboratorio di infrastrutture viarie e trasporti M" (Modulo 2) (6 CFU); titolare: professor ingegner Andrea Simone. In questo corso lo studente conosce le prove per la caratterizzazione geometrica e meccanica dei materiali di base di una sovrastruttura stradale, i fondamenti di "mix design" dei conglomerati bituminosi, le prove per la caratterizzazione del modulo di rigidità dinamico.

*Sede di Bologna - Laurea magistrale in Civil Engineering*

- "Infrastructure Systems (Modulo 2)" (6 CFU); titolare: professor ingegner Andrea Simone. In questo corso lo studente approfondisce mediante progetto un tema specifico di un'infrastruttura stradale relativo o ad un'opera di sostegno, o agli aspetti idraulici o trasportistici di una strada.

- "Road Safety Engineering" (6 CFU); titolare: professor ingegner Andrea Simone. In questo corso lo studente apprende i concetti fondamentali sul tema della sicurezza stradale. Il progetto di un'infrastruttura viaria è analizzato non solo dal punto di vista dei costi e dell'impatto ambientale, ma anche della sicurezza di circolazione e dell'interazione che intercorre tra la strada e i suoi utenti.

- “Context-Sensitive Design in Transportation Infrastructures” (6 CFU); titolare: professor ingegner Cesare Sangiorgi. Il corso affronta il tema dell’impatto ambientale di un’infrastruttura stradale, specificandone le cause ed i possibili interventi di mitigazione.

*Sede di Bologna - Laurea a ciclo unico in Ingegneria Edile-Architettura*

- “Costruzioni ferroviarie ed aeroportuali con laboratorio” (8 CFU); titolari: dottor ingegner Valeria Vignali (modulo 1), dottor ingegner Claudio Lantieri (modulo 2). Il corso fornisce le competenze necessarie per progettare una linea ferroviaria e gli elementi principali per le operazioni di volo di un aeroporto.

*Sede di Ravenna - Laurea triennale in Ingegneria Civile*

- “Costruzione di Strade Urbane e Metropolitane” (6 CFU); titolare: professor ingegner Cesare Sangiorgi. Il corso affronta i temi delle infrastrutture di trasporto in ambito urbano e metropolitano. Illustra gli aspetti geometrici e la normativa per la progettazione di strade e gli aspetti legati al progetto della pavimentazione stradale ed alla sua manutenzione con riferimento anche alle linee di trasporto pubblico locale.

*Sede di Ferrara - Laurea magistrale in Ingegneria Civile*

- “Costruzione di strade”; titolare: professor ingegner Andrea Simone. Il corso fornisce le conoscenze di base delle componenti geometriche e approfondisce le problematiche connesse alla progettazione ed alla gestione delle sovrastrutture stradali.

In totale il gruppo “Strade”, sotto la direzione del professor Giulio Dondi, attualmente tiene dieci corsi.

### 2.6.3. Il laboratorio

Il laboratorio di “Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti” dell’omonimo istituto merita una particolare menzione per il contributo che ha dato alla ricerca e per il servizio che ha prestato per conto terzi. Esso è rimasto sempre nella sede attuale, ossia nella sede storica della Facoltà di ingegneria. Fino dalla docenza del professor Bottau il laboratorio è sempre stato fornito delle macchine più moderne per la caratterizzazione dei materiali.

Si eseguono le seguenti prove:

- terre e inerti: analisi granulometrica, limiti di consistenza, prove di addensamento, CBR, ES, prove di taglio, prove udometriche;
- inerti e materiali lapidei: caratteristiche fisiche, compressione, trazione indiretta, flessione, usura, Los Angeles;
- calcestruzzi e ferri: resistenza meccanica allo schiacciamento per i calcestruzzi ed alla trazione per i ferri;
- leganti bituminosi: tutte le prove di reologia previste dalle norme CNR e americane;

- conglomerati bituminosi: trazione indiretta, determinazione dei componenti, percentuali dei vuoti, Marshall, prove di fatica con carico a “controllo di tensione” e carico a “controllo di deformazione”, prove di flessione su quattro punti, prove di deformazione statica, Creep Test, prove di compressione ciclica, prove della normativa “Superpave”;

- materiali alternativi: miscele con calce, con cemento, con scorie d’alto forno;
- prove in sito: prove penetrometriche, prove di carico con piastra, prove di addensamento, prove deflettometriche, sondaggi.

Si può certamente affermare che attualmente in laboratorio sono operative le macchine più moderne e sofisticate per lo studio di tutti i materiali stradali ed in particolare per i conglomerati bituminosi.

Il laboratorio fa anche un prezioso servizio per conto terzi ed è sempre stato punto di riferimento per i controlli delle pubbliche amministrazioni, comuni, province, regione, ANAS, TPER ed ogni altro ente pubblico e impresa che necessitava di controlli sui materiali stradali; i certificati che sono usciti dal laboratorio di Strade non hanno mai ricevuto contestazioni e quindi il laboratorio anche all’esterno è sempre stato considerato sinonimo di qualità indiscutibile.

Il laboratorio è stato il supporto fondamentale per le ricerche sperimentali fatte dai docenti i quali si sono potuti fidare dei tecnici che hanno sempre operato in regime di massima serietà e qualità. Si può senz’altro affermare che se non ci fosse stato un laboratorio di grande caratura come quello di Strade molte sperimentazioni non avrebbero conseguito le pubblicazioni innovative e di alto prestigio che si sono susseguite.

Fa piacere citare i tecnici che hanno operato in laboratorio dalla docenza del professor Bottau fino ad oggi: Giuseppe Michelini ed Elio Pinardi, capotecnici, Franco Maietti, Vincenzo Glave, Franco Bolognesi, Vincenzo Ballotta, Domenico Sarti, Gianfranco Maltoni, Gesuino Fenu e attualmente Ettore Cappellari e Alessandro Lodi. oltre agli amministrativi Quinto Rossi, Nadia Signani e Patrizia Gamberini.

#### **2.6.4. La tecnica stradale attuale e le ricerche**

Attualmente si registra una notevolissima accelerazione ed evoluzione della tecnica stradale su entrambi i fronti: nei materiali e nella progettazione.

Per quanto riguarda i materiali si può affermare che oggi si assolve ad un complesso di prestazioni che vanno ben oltre la funzione classica del gestire l’aderenza. Infatti si perseguono diverse finalità che si possono riassumere nella sicurezza della circolazione in qualsiasi situazione, nella riduzione dell’inquinamento ambientale, nel risparmio energetico, nell’allungamento della “vita utile”. L’innovazione tecnologica è scaturita certamente dalla capacità dei ricercatori di “pensare” nuovi materiali, ma anche dalla possibilità di sperimentare con apparecchiature sofisticate idonee a carpire il comportamento dei materiali in relazione al reale stato di sollecitazione e deformazione sotto i carichi, nel tempo.



Si sono così “inventati” i conglomerati bituminosi a ridotto consumo energetico che si esplica su due direzioni. La prima è che l'uso di temperature più basse di quelle tradizionali comporta oltre ad un significativo risparmio energetico, anche una riduzione delle emissioni gassose in atmosfera e quindi minori rischi per la salute. L'altro aspetto è costituito dalla tecnologia del riciclaggio dei conglomerati bituminosi riducendo in questo modo l'approvvigionamento di materiali vergini quali inerti e leganti.

Poi si hanno i conglomerati bituminosi ad alto modulo ottenuti con bitumi modificati con polimeri che garantiscono elevate prestazioni. La modifica dei bitumi con polimeri comporta il potenziamento della componente elastica alle deformazioni, un aumento della resistenza meccanica con conseguente miglioramento del comportamento a fatica, un invecchiamento più lento e quindi un aumento della vita utile, una minore suscettibilità termica ed anche una maggiore adesione agli elementi lapidei. Con i bitumi modificati con polimeri si riescono a fare conglomerati bituminosi con elevate percentuali dei vuoti, i conglomerati drenanti e fonoassorbenti, che, permettendo lo scolo delle acque in profondità, assicurano l'aderenza anche in condizioni atmosferiche sfavorevoli, garantendo in questo modo la sicurezza della circolazione sempre; in più i vuoti assorbono le onde sonore generate dal contatto pneumatico-pavimentazione e conseguentemente si riduce il rumore al fine di una riduzione dell'impatto ambientale.

Altri sviluppi nella tecnologia dei conglomerati bituminosi si hanno con l'uso della gomma proveniente dagli pneumatici fuori uso e dall'utilizzo del biossido di titanio. La gomma sotto forma di polvere o di inerte utilizzata nella confezione dei conglomerati bituminosi conferisce al materiale notevoli prestazioni meccaniche e funzionali. Il biossido di titanio viene utilizzato nelle pavimentazioni cosiddette “fotocatalitiche” che hanno la proprietà di neutralizzare diversi inquinanti atmosferici determinando quindi una diminuzione dell'inquinamento atmosferico.

Per quanto riguarda la progettazione, attualmente l'ingegneria stradale ha consolidato nuovi indirizzi tecnici che pongono la progettazione in uno scenario del tutto innovativo, attribuendo alle infrastrutture viarie valenze ad ampio spettro sociale e macro-economico. Fino agli anni Cinquanta la progettazione era improntata al solo aspetto economico e le strade venivano progettate con lunghi rettilinei che avevano lo scopo di accorciare i tracciati e ridurre i tempi di percorrenza. Negli anni settanta nacque il problema ambientale sotto il duplice aspetto paesistico e di inquinamento ambientale. Paesisticamente è chiaro che la strada determina una frattura nel territorio. Negli anni ottanta la progettazione stradale, senza dimenticare le esperienze precedenti di economicità e di rispetto ambientale, ha posto particolare attenzione alle problematiche della sicurezza della circolazione che devono essere risolte con un nuovo approccio del rapporto strada-driver.

La progettazione quindi diventa un procedimento iterativo che subordina le scelte tecniche alla verifica degli effetti indotti al fine di perseguire un compromesso fra le esigenze funzionali, economiche, ambientali e di sicurezza, atte a garantire il miglior bilancio. Infatti è diventato patrimonio della moderna cultura stradale che

la strada debba essere sicura, debba garantire adeguati livelli di servizio per tutta la vita utile e debba essere sostenibile dal territorio attraversato. Il risultato del percorso progettuale è che la strada diventi ambiente nell'ambiente preesistente e ne sia elemento di valorizzazione ed arricchimento. Così avviene che la progettazione, in questo modo definita integrata, nella sua capacità di coinvolgimento e di convincimento delle comunità direttamente interessate, diventa una sicura metodologia quando si vogliono armonizzare natura e manufatti, meccanica e sicurezza, estetica e statica.

In riferimento alle relazioni fra strada e utente, è nota l'importanza del comportamento del conducente del veicolo in relazione alle caratteristiche geometriche e di progetto. È conseguentemente nata una evoluzione della tracciistica dove la concezione dell'asse viario si è progressivamente spostata verso un legame con il driver, ricercando di impegnarne l'attenzione in maniera concentrata su situazioni visive chiare e progressive in modo da influenzarne positivamente la reattività. Quindi deve essere l'estetica intrinseca del tracciato a determinare il continuo adattamento del driver all'apparente movimento dello spazio animato che lo circonda. L'elemento umano viene così a rivestire un ruolo preponderante nelle scelte plano-altimetriche, con particolare riferimento ai nuovi target di sicurezza stradale.

In questi ultimi anni prende sempre più consistenza anche la progettazione in galleria delle strade, in particolare in ambito urbano. Questa è una strategia che fa riferimento attualmente ad un protocollo assunto a livello internazionale. Tale soluzione garantisce sotto l'aspetto dell'impatto ambientale e per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico ed acustico; in particolare sono salvaguardate le relazioni umane e sociali in quanto non si costituiscono limitazioni ai percorsi di superficie.

Concludendo la tecnica stradale è in continua evoluzione sia sotto l'aspetto progettuale che sotto l'aspetto costruttivo. Il gruppo "Strade" di questa Scuola, sotto la direzione del professor Giulio Dondi, sta effettuando ricerche che hanno avuto un notevole rilievo a livello internazionale. In particolare le ricerche sono indirizzate sulle seguenti tematiche.

#### *Materiali innovativi per le sovrastrutture stradali*

Il campo delle infrastrutture viarie offre numerose opportunità di riciclo, sia per quanto riguarda gli stessi materiali che compongono le sovrastrutture, sia per l'utilizzo di materiali provenienti da altre attività, in particolare quelle di costruzione e demolizione (C&D) e quella di recupero degli pneumatici esausti (PFU).

Il dipartimento DICAM, sezione "Strade", sta sviluppando tecniche innovative in questo importante campo di ricerca fornendo soluzioni mirate alla produzione di materiali di riciclo e basso dispendio energetico con elevate prestazioni meccaniche e ridotto impatto ambientale.

#### *Metodi numerici avanzati nello studio delle sovrastrutture stradali*

Obiettivo della ricerca è indagare l'interazione microscopica tra aggregato, bitume e filler e valutare come questa influisce sulle prestazioni finali di una miscela in conglomerato bituminoso.

I risultati finora ottenuti hanno confermato le potenzialità della modellazione DEM nel riprodurre l'effettivo comportamento visco-elastico del conglomerato bituminoso sia durante test di laboratorio condotti su provini di piccole dimensioni, sia in una pavimentazione stradale flessibile.

*Progettazione della sicurezza delle infrastrutture stradali; interazione con il fattore umano*

La sicurezza stradale è influenzata dall'interazione tra diversi fattori: la psicologia del conducente, il traffico, il veicolo, l'ambiente attraversato e le caratteristiche delle infrastrutture stradali.

Gli studi in corso si concentrano su: a) il ruolo svolto dai segnali stradali verticali sulla guida e lo studio di nuove soluzioni ingegneristiche per rendere i segnali stradali più leggibili ed evidenti; b) le zone di transizione tra le aree extra-urbane ed urbane e sugli interventi di sicurezza più comuni, come ad esempio i "portali di ingresso alla città", costituiti da una restrizione della carreggiata con opportuni cartelli verticali ed una segnaletica orizzontale dedicata.

Queste attività sono supportate da accordi in vigore al DICAM e collaborazioni con il Dipartimento di Psicologia dell'Università di Bologna.

*Caratteristiche superficiali e manutenzione delle infrastrutture stradali*

Sono in corso studi atti a definire nuovi metodi di rilievo dell'aderenza superficiale. In particolare, l'obiettivo è l'utilizzo di un sistema laser a scansione di alta precisione, del tipo a triangolazione, per analizzare la tessitura del piano viabile, ottenendo la morfologia della superficie su base areale e non solo profilometrica tradizionale.

Relativamente all'attività di manutenzione delle infrastrutture, la finalità è lo sviluppo di interventi di manutenzione innovativi che consentano un facile ripristino ed una rapida apertura al traffico. Nello specifico sono allo studio: a) soluzioni per il ripristino funzionale dell'aderenza tramite microtappeti bituminosi a freddo contenenti polverino di gomma aventi anche finalità di contenimento delle emissioni acustiche; b) soluzioni per la realizzazione di interventi manutentivi sulle reti urbane interrato, comprendenti sia metodi di prequalifica dei materiali, sia tecniche di posa e controllo dell'esecuzione.

## 2.7. L'INSEGNAMENTO DELL'ELETTROTECNICA NELLA SCUOLA D'APPLICAZIONE PER GLI INGEGNERI E NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA DALLE ORIGINI AL 2000

*Ugo Reggiani*

### 2.7.1. La nascita dell'insegnamento di Elettrotecnica

Nell'anno scolastico 1877/78 fu istituita nella Regia Università di Bologna e annessa alla Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali la completa "Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri", diretta da Cesare Razzaboni, nato nel modenese e chiamato dalla Scuola per Ingegneri di Roma a ricoprire tale ruolo. La nuova Istituzione attuava i dettami del Regolamento per le R. Scuole di Applicazione per gli Ingegneri (Decreto Reale 8 ottobre 1876, n. 3434, serie 2<sup>a</sup>), che stabiliva lo schema di un biennio presso la Facoltà di Scienze e di un triennio di studi di applicazione. La Scuola di Bologna, che aveva sede nell'antico convento soppresso di San Giovanni dei Celestini, consentiva, secondo il Regolamento sopra citato, di conseguire il diploma d'Ingegnere civile e quello di Architetto. Essa nacque per iniziativa di un Consorzio (costituito dal Comune, dalla Provincia, dalle aziende Aldini e Valeriani e dai colleghi Comelli e Bertocchi) che la finanziò fino al 1899 quando passò a totale carico dello Stato e contestualmente il Consorzio fu soppresso.

Il Regio Decreto 30 settembre 1923, n. 2102, noto come "Riforma Gentile", trasformò le Scuole d'Applicazione per gli Ingegneri in Scuole di Ingegneria e sostituì il diploma in precedenza conferito dalle Scuole d'Applicazione con la laurea, che aveva esclusivamente valore di qualifica accademica. Il diploma consentiva di esercitare direttamente la professione di ingegnere. Con la nuova riforma l'abilitazione professionale era conferita, dopo il conseguimento della laurea, in seguito ad esame di Stato.

Il piano didattico della Scuola dell'anno scolastico 1877/78 e di quelli successivi fino al 1904 non comprendeva un insegnamento di Elettrotecnica impartito in modo ufficiale e autonomo.

Come riporta Dino Zanobetti<sup>1</sup>, i principi dell'elettrotecnica (quali Costanti delle correnti elettriche - Misurazioni elettriche - Elettrocalamite, telegrafia - Leggi delle correnti indotte) erano svolti nell'ambito dell'insegnamento di Fisica tecnica tenuto al secondo anno dal professor Luigi Donati, di cui si dirà ampiamente più oltre.

Inoltre Zanobetti riferisce:

Nelle quattro ore settimanali del suo corso (tre di lezione ed una d'esercitazioni) il Donati non poteva dare alle applicazioni elettriche lo spazio necessario. [...] per cui,

---

<sup>1</sup> D. Zanobetti, *Elettrotecnica e comunicazioni elettriche nell'Università di Bologna: dal 1800 al 1950*, 2015, [http://ingegneria.sba.unibo.it/risorse/files/relazioni-delle-conferenze-della-scuola-di-ingegneria-e-architettura/presentazione\\_zanobetti](http://ingegneria.sba.unibo.it/risorse/files/relazioni-delle-conferenze-della-scuola-di-ingegneria-e-architettura/presentazione_zanobetti)].

già dall'anno dopo, nel terzo anno fu aggiunto un corso di esercitazioni di 2 ore dedicato esclusivamente all'elettrotecnica e più precisamente: Macchine magneto-elettriche e dinamo-elettriche e loro applicazioni. [...] Intanto alla Scuola d'ingegneria nel 1899-1900 era stata introdotta un'altra ora di lezione di fisica tecnica dedicata all'elettrotecnica e in terzo anno aggiunte 4 ore di esercitazioni combinate di elettrotecnica e macchine termiche ed idrauliche.

Il Donati già in quell'anno lamenta il poco spazio dedicato all'elettrotecnica<sup>2</sup>:

La Scuola desidera vivamente che sia istituito ufficialmente un altro corso facoltativo complementare ai principi di elettrotecnica, i quali soltanto possono essere svolti nel corso di fisica tecnica destinati alla generalità degli ingegneri civili. Siffatto corso complementare facoltativo dovrebbe essere accompagnato da una serie di esercitazioni ben ordinata. La Scuola recentemente si è sforzata di fare tutti i preparativi necessari per l'istituzione ufficiale invocata, ed in attesa della medesima ha creduto bene accogliere le istanze di 12 ingegneri laureati nella Scuola durante gli ultimi due anni scolastici, i quali chiesero di essere accolti in via privata (a tutte loro spese) nel Laboratorio di fisica tecnica ed elettrotecnica affine di esservi istruiti ed esercitati nell'importantissimo ramo di scienza applicata che già oggidi forma corpo di scienza a sé.

Solo nell'anno scolastico 1904/05 la richiesta di Donati, grazie anche alla collaborazione con la Società dei tram elettrici cittadini, fu accolta con l'attivazione di un corso *complementare* di Elettrotecnica affidato allo stesso Donati. Fu pure possibile integrare l'insegnamento teorico con attività di laboratorio. Al corso, che prevedeva 7,5 ore settimanali (4 di lezione e 3,5 di esercitazioni), potevano iscriversi gli allievi del 3° anno della Scuola che avessero superato le prove di profitto in Fisica tecnica o chiunque che da non più di sei anni avesse conseguito il diploma d'ingegnere, od un diploma equipollente<sup>3</sup>.

L'insegnamento di Elettrotecnica divenne *fondamentale* in ottemperanza al nuovo Regolamento per le Scuole di Applicazione per gli Ingegneri (Regio Decreto 6 settembre 1913, n. 1242) dall'anno scolastico 1914/15 con il nome di "Elettrotecnica generale". Il corso era tenuto al secondo anno e nel seguito è riportato il programma dell'anno scolastico 1914/15 (dall'Annuario della R. Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri in Bologna).

#### ELETTROTECNICA GENERALE (ELETTROLOGIA ED ELETTROTECNICA GENERALE)

Richiami sui campi newtoniani e ampèriani. Quadro riassuntivo delle relazioni fondamentali.

Elettricità e magnetismo nel concetto dell'azione distanza e nel concetto dell'azione del mezzo, e corrispondente interpretazione delle relazioni fondamentali.

<sup>2</sup> *Ibidem.*

<sup>3</sup> *Ibidem.*

Elettrostatica considerata secondo il doppio punto di vista. Trattazione dei problemi. Problemi particolari. Teoria dei condensatori.

Elettricità in corrente. – Correnti stazionarie: legge di Ohm; equazioni di Kirchhoff. – Applicazioni: amperometri, voltmetri; ponte di Wheatstone.

Azioni termiche; azioni elettrolitiche. Correnti termoelettriche. Pile, accumulatori.

Magnetismo ed elettromagnetismo. Circuiti magnetici. Peculiarità delle sostanze ferromagnetiche: saturazione, isteresi.

Energia magnetica. Lavoro magnetomotore; forze ponderomotrici magnetoelettriche.

Induzione elettromagnetica: legge generale; relazioni energetiche. Casi tipici d'induzione.

Unità elettriche: derivazione dei diversi sistemi. Unità del sistema elettromagnetico; unità pratiche.

Fenomeni di estracorrente. Oscillazioni elettriche. Equazioni di Hertz. – Cenni sulle moderne teorie elettroniche.

Produzione di forze elettromotrici alternative. Caratteri delle grandezze alternative sinusoidali: rappresentazione vettoriale grafica e analitica.

Correnti alternative: regime dei circuiti; modi di regolazione; effetti di risonanza.

Correnti polifasi.

Generalità sulle dinamo. Dinamo a corrente continua: forme d'indotto; circuito magnetico; commutazione; modi di eccitazione; fenomeni di reazione; caratteristiche; tipi più correnti; accoppiamento.

Motori a corrente continua: diverso comportamento a seconda del modo di eccitazione e di alimentazione.

Alternatori e motori sincroni.

Trasformatori statici monofasi e polifasi. Trasformatori rotanti, motori asincroni.

Motori monofasi a collettore.

Centrali elettriche. Il problema della produzione, del trasporto e della distribuzione della potenza elettrica nelle sue linee generali.

Cenno sulle applicazioni più importanti: illuminazione, trazione, elettrochimica, ecc.

Misurazioni elettriche: metodi e strumenti per misure da gabinetto e misure correnti di carattere industriale. Quadri di distribuzione.

## 2.7.2. I docenti

### *Luigi Donati*

Il primo Maestro e a tutti gli effetti il fondatore della disciplina Elettrotecnica a Bologna fu quindi Luigi Donati (Fossombrone, Pesaro e Urbino, 1846 – Bologna, 1932), che era professore di ruolo di Fisica tecnica fin dall'anno di fondazione della Scuola (straordinario nel 1877 e ordinario nel 1887). Per tale motivo svolse l'insegnamento di Elettrotecnica come professore incaricato. Fu anche professore straordinario stabile di Fisica matematica presso la Facoltà di Scienze dell'Università di Bologna dal 1880. Fu Socio Corrispondente dell'Accademia Nazionale dei Lincei.

Donati si laureò in Fisica matematica nel 1871 presso l'Università di Pisa, sotto la guida di Maestri illustri come i matematici Enrico Betti e Ulisse Dini e il fisico

Riccardo Felici, di cui Donati divenne assistente di laboratorio nel 1873. Dopo la laurea si perfezionò nella stessa disciplina frequentando il biennio della Scuola di Magistero alla Scuola Normale Superiore di Pisa.

Negli anni giovanili, a contatto col Felici, l'interesse scientifico di Donati fu rivolto verso lavori di carattere sperimentale, come la tesi di laurea in Magistero dal titolo *Sulla misura elettrostatica delle forze elettromotrici d'induzione - Studi sperimentali*, 1874, in cui si rivelò un fine sperimentatore oltre che un elegante matematico. In seguito, anche se continuò a pubblicare importanti lavori sperimentali, si dedicò, date le sue profonde conoscenze di fisica teorica e di matematica, a un'attività scientifica prevalentemente teorica, che abbraccia diversi campi della scienza: dalla teoria dell'elasticità ai campi vettoriali, dall'elettrologia alle correnti alternative. In particolare, nel campo dell'elettrotecnica si possono ricordare, tra gli altri, i suoi pregevoli lavori sulla legge di reciprocità per le correnti elettriche nelle reti di fili conduttori, sulle forze ponderomotrici e tensioni elettromagnetiche, sulla rappresentazione delle correnti alternative sinusoidali con il metodo simbolico e sul diagramma per motori sincroni e alternatori. Donati tenne nel 1910 una celebre conferenza alla Sezione di Bologna dell'Associazione Elettrotecnica Italiana dal titolo *Sugli effetti delle alte frequenze nelle trasmissioni di correnti alternate*<sup>4</sup>, che fu riassunta per la pubblicazione sugli Atti dell'Associazione dal suo allievo prediletto Cesare Rimini. Di lui riferisce estesamente Zanobetti<sup>5</sup>.

Il nome di Donati, come studioso, è soprattutto legato alle due memorie sui campi vettoriali, la prima *Appunti di analisi vettoriale*, 1897, la seconda *Sulle proprietà caratteristiche dei campi vettoriali*, 1898, che completa e integra i risultati della prima. Nella premessa della seconda memoria Donati scrive: «Qui mi propongo ora di ripresentarle completate e coordinate in guisa da costituire come uno schema delle linee principali di essa teoria, differente per varii rispetti dalle trattazioni che già si hanno del medesimo soggetto». Donati affrontò questo argomento, fondamentale per l'elettromagnetismo e per la fisica matematica, pervenendo a generalizzazioni di straordinaria fecondità. All'epoca poco si conosceva in Italia sull'argomento e la *Teoria geometrica dei campi vettoriali* di Galileo Ferraris, pubblicata postuma, comparve quando la prima memoria di Donati era già stata pubblicata. A livello internazionale l'unico riferimento era la teoria di Oliver Heaviside.

Una rassegna molto significativa e quasi completa dei suoi articoli scientifici maggiori, scelti e raggruppati per settori dallo stesso Donati, si può trovare nel volume di Luigi Donati *Memorie e note scientifiche*, Zanichelli, Bologna, 1925, pubblicato a cura della Facoltà di Scienze e della Scuola di Ingegneria di Bologna col concorso di enti, colleghi ed allievi, per onorare la sua attività scientifica e didattica svolta per oltre quaranta anni.

La figura di Donati come scienziato è tratteggiata in modo magistrale da Giuseppe Sartori<sup>4</sup>: «non può sfuggire il carattere chiarificatore che informa tutta l'opera sua.

<sup>4</sup> G. Sartori, *Discorso commemorativo di Luigi Donati pronunciato dal Prof. Ing. Giuseppe Sartori il 22 maggio 1932*, R. Scuola d'Ingegneria in Bologna, Annuario per l'anno accademico 1931/32, pp. 247-281.

<sup>5</sup> D. Zanobetti, *Elettrotecnica e comunicazioni elettriche nell'Università di Bologna*, cit.

Egli cioè non costruisce nuove teorie, non formula nuove ipotesi, non fa estrapolazioni pericolose sopra risultati conosciuti. Piuttosto distilla, elabora, filtra verità presentate nebulosamente da altri; ma al tempo stesso, dopo la chiarificazione, interpreta in un modo inequivocabile i principii, i fondamenti delle teorie, quasi sempre riuscendo a dare forma di vera dottrina a molti svariati argomenti».

La metodologia seguita e i risultati conseguiti nell'attività scientifica furono trasferiti da Donati nell'insegnamento dove brillò per chiarezza, concisione ed eleganza. Le sue lezioni, a cui dedicò cure assidue, sempre alla ricerca di una maggiore precisione e di un linguaggio semplice e accessibile per esprimere concetti alquanto difficili, si trovano raccolte nel testo di Luigi Donati *Introduzione elementare all'elettrotecnica*, Zanichelli, Bologna, 1902, che era apparso in un primo tempo sotto forma di appunti litografici per un corso speciale di Elettrotecnica per Capi-tecnici di Artiglieria, che egli tenne nell'anno 1900. Come ebbe a dire Donati, «Gli si imponeva una grande sobrietà di calcoli e di formule, supplendo ai calcoli col ragionamento e traendo profitto dagli esempi e dalle analogie meccaniche». Questa metodologia didattica, che si contraddistingue per un collegamento unitario tra diverse discipline dell'ingegneria (elettrotecnica, meccanica, ecc.), sarà una caratteristica dell'insegnamento di altri docenti di Elettrotecnica a Bologna.

Il volume tratta in modo chiaro ed elegante gli argomenti classici dell'elettrotecnica e delle sue principali applicazioni, essendo destinato ad allievi ai quali era impartito un unico insegnamento di carattere elettrico. Il testo è strutturato in due parti. La parte prima, dopo i preliminari (quantità ed unità, vettori - campi vettoriali, energia: sue forme), tratta i seguenti capitoli: richiami di elettrostatica, richiami di magnetismo, correnti permanenti, elettromagnetismo (campo magnetico delle correnti, misura elettromagnetica delle correnti - esperienza di Rowland, forze elettromagnetiche e magnetoelettriche, azioni mutue fra correnti, elettrocalamite - legge del circuito magnetico), correnti indotte, unità elettriche, misure elettriche. La parte seconda: correnti alternative, trasformatori, correnti polifasi, macchine dinamo-elettriche, dinamo a corrente continua, dinamo a corrente alternativa, motori elettrici a corrente continua, motori a correnti alternative.

Degna di nota è la presentazione dell'elettrostatica di cui si enunciano in modo chiaro e puntuale le leggi fondamentali. Donati, per rendere completa la descrizione dell'elettricità in equilibrio, aggiunge a esse come postulato, ispirandosi a Maxwell, l'estensione del teorema di Gauss per un mezzo isotropo non omogeneo e anche per una superficie chiusa che corra in parte o in tutto attraverso corpi conduttori. Magistrali sono la definizione di potenziale elettrico, la descrizione delle sue proprietà e le considerazioni svolte per ricavare la densità di energia elettrostatica. Nel trattato, forse per la prima volta in Italia, è descritta la rappresentazione delle correnti alternative sinusoidali mediante numeri complessi, cioè mediante il metodo simbolico suscettibile di immediata traduzione grafica, pervenendo per i circuiti in regime sinusoidale ai concetti di reattanza e impedenza e quindi alla legge di Ohm e alle equazioni di Kirchhoff in senso vettoriale. Particolarmente interessanti e istruttive per gli studenti sono le analogie fra la risposta di un circuito elettrico (ad esempio, correnti alla chiusura e



all'apertura di un circuito  $RL$ ; evoluzione libera di un circuito  $RLC$  serie con carica iniziale del condensatore) e la dinamica di un corpo rigido capace di ruotare intorno ad un asse, corrispondenze che Donati chiama "analogie meccaniche".

Donati non introduce nel libro, che ha per titolo *Introduzione elementare all'elettrotecnica*, le equazioni di Maxwell, la cui teoria descrisse, tra i primi in Italia, con grande padronanza e acutezza interpretativa nella memoria *Sul coordinamento dei fatti e delle relazioni fondamentali dell'elettromagnetismo*, 1909.

Donati fu direttore della R. Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri dal 1918 al 1923 e la sua direzione si protrasse per due anni oltre il tempo in cui dovette cessare, per raggiunti limiti di età, dalla funzione di docente.

### **Giuseppe Sartori**

A Luigi Donati, che lasciò l'insegnamento nel 1921, succedette Giuseppe Sartori (Lonigo, Vicenza, 1868 - Bologna, 1937). Sartori si laureò nel 1890 presso il Politecnico di Milano. Orientatosi subito verso l'elettrotecnica, dopo aver svolto la professione di ingegnere per cinque anni in un noto studio di Milano, nel 1895, in seguito a concorso, fu nominato Professore di Elettrotecnica nella Scuola Industriale di Stato di Trieste e dal 1900 anche nella Scuola Superiore di Costruzione Navale della stessa città<sup>6</sup>. Non rinunciò alla nazionalità italiana nonostante le ripetute sollecitazioni ad assumere la cittadinanza austriaca, rifiuto che impedì a Sartori di acquisire la stabilità dell'insegnamento (equivalente a quello impartito nelle Università italiane) che avrebbe comportato un notevole miglioramento delle condizioni economiche.

A Trieste, dove rimase per diciassette anni, Sartori svolse un'intensa attività come docente, studioso e soprattutto come tecnico, progettando, tra l'altro, diversi importanti impianti elettrici, impianti idroelettrici e centrali idroelettriche. Sartori sempre manifestò apertamente sentimenti italiani e per questo motivo nel 1912, acuitasi per opera del nuovo governatore Hohenlohe la politica anti-italiana del governo austro-ungarico, che culminò l'anno successivo con i noti decreti, fu costretto a lasciare Trieste. Si trasferì a Modena dove, primo in ordine di tempo, assunse per concorso la carica di direttore delle Aziende Elettriche Municipalizzate, che mantenne fino a tutto il 1917.

Ma la nostalgia dell'insegnamento si fece sentire e nel 1918 Sartori, fatta trasferire alla Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri in Bologna la libera docenza in Elettrotecnica conseguita fin dal 1902 presso il Politecnico di Milano, ottenne di svolgere un corso di Impianti idroelettrici in tale Scuola, che tenne anche negli anni successivi. La sicura e profonda conoscenza dell'elettrotecnica che egli possedeva, congiunta con l'ormai lunga pratica e con la lucida esposizione, rendeva le sue lezioni tanto interessanti che gli allievi vi accorrevano numerosi. Dal 1919/20 al 1922/23 fu incaricato dell'insegnamento di Impianti elettrici nella Scuola di Padova e dall'anno scolastico 1921/22 ebbe pure l'incarico di Elettrotecnica generale nella Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri in Bologna, succedendo a Donati. In tale Scuola fu

<sup>6</sup> E. Foà, *Necrologi - Giuseppe Sartori*, R. Università di Bologna, Annuario dell'anno accademico 1937/38, pp. 151-152.

nominato, vincitore di concorso, professore straordinario di Elettrotecnica nel 1923 e ordinario nel 1926.

L'attività scientifica di Sartori riguarda diversi settori applicativi dell'elettrotecnica e gran parte dei suoi lavori si collega alla sua intensa attività professionale esercitata sempre ad alto livello. Nel campo delle misure elettriche sono da ricordare in particolare gli studi sul metodo stroboscopico per la misura dello scarto di velocità angolare delle macchine, i contributi al metodo del rallentamento per la separazione delle perdite, la realizzazione di un oscillografo wattmetrico e gli studi sui teleindicatori. Nel campo degli impianti elettrici si occupò, tra l'altro, del riempimento dei diagrammi di carico, della raccolta nelle reti di piccola potenza, delle centrali a funzionamento automatico e di un nuovo sistema di sincronizzazione automatica. Ai lavori di Donati si collegano gli studi sul principio di reciprocità applicato al calcolo di grandi reti e sulla teoria del motore sincrono<sup>7</sup>. Inoltre, una memoria riguarda il coefficiente di dispersione. I lavori più significativi e originali di Sartori sono senza dubbio quelli riguardanti il miglioramento del fattore di potenza e la compensazione dei motori asincroni, pubblicati sulla rivista "L'Elettrotecnica" nel periodo tra il 1913 e il 1924. Alla soluzione del secondo problema, di grande interesse tecnico ed economico, Sartori portò un notevolissimo contributo riuscendo a ideare, brevettare e costruire con successo un nuovo motore asincrono autocompensato, che consentiva di ottenere con grande approssimazione un fattore di potenza unitario a tutti i carichi. Tale motore costituisce il risultato più importante e brillante dell'attività scientifica di Sartori.

Sartori lasciò due notevoli opere didattiche. Una è rappresentata dal fortunatissimo trattato in due volumi *La tecnica delle correnti alternate*, Hoepli, Milano; Vram, Trieste, 1903, tradotto in francese da J.A. Montpellier e pubblicato da Dunod in cinque edizioni. Il volume primo (parte qualitativa e descrittiva) è destinato ai montatori, capi d'arte ed elettrotecnici. Il volume secondo (parte quantitativa adatta per ingegneri ed elettrotecnici) ha lo scopo di consentire allo studente, una volta che egli abbia afferrato il vero meccanismo del fenomeno o l'esatta funzione della macchina attraverso l'analisi "qualitativa" sviluppata nel volume primo, di affrontare lo studio "quantitativo" avvicinandosi alla realtà e ai casi pratici. Tale volume si pone per il rigore della trattazione e la sua profondità a un livello superiore rispetto ai testi su questo argomento allora in auge sia in Italia sia all'estero. Infatti, il volume tratta, ad esempio, l'analisi algebrica mediante la serie di Fourier di grandezze elettriche alternative non sinusoidali, il calcolo del loro valore efficace e della potenza media; la curva della corrente che genera un'induzione magnetica sinusoidale in un circuito comprendente ferro; lo studio degli alternatori, trasformatori, motori "dal punto di vista del loro impiego nell'industria, non da quello della loro costruzione", come scrive Sartori nella Prefazione. Il testo contiene numerosi esempi di applicazioni pratiche, esercizi e problemi da risolvere. Riguardo a tale trattato, il professor Luigi Lombardi<sup>8</sup> ricorda l'entusiasmo con cui l'opera venne a suo tempo accolta dagli allievi dell'Isti-

<sup>7</sup> *Ibidem*; L. Lombardi, *In memoria di Giuseppe Sartori*, L'Elettrotecnica, XXIV, 1937, pp. 414-420.

<sup>8</sup> L. Lombardi, *In memoria di Giuseppe Sartori*, cit., *ibidem*.

tuto Montefiore a Liegi, provenienti da tutti i paesi d'Europa, i quali usavano come libro di testo ufficiale il famoso trattato del professor Eric Gérard.

L'altra opera è costituita dal trattato in due volumi *Elettrotecnica*, Hoepli, Milano, 1930, pubblicato in collaborazione col Donati, nel quale, conservando l'originale e suggestiva impostazione delle trattazioni teoriche presentata da Donati nel suo volume del 1902, Sartori ampliò soprattutto le parti applicative e gli esempi numerici, utilizzando la sua grande esperienza professionale. Per la precisione e per avere una comprensione immediata della finalità dell'opera, che è descritta in modo puntuale nella prefazione del trattato in gran parte riportata nel seguito, può essere utile scrivere il titolo completo: *Elettrotecnica - Compendio rivolto alla conoscenza delle macchine, trasformatori, motori e convertitori, con accenno al trasporto della energia elettrica, corredato da numerosi esercizi numerici e da applicazioni pratiche - Opera adatta per ingegneri, tecnici e studenti, con 468 figure e 2 tavole.*

Nella *Prefazione* del trattato *Elettrotecnica* Sartori cita Lord Kelvin: «Niente può essere più fatale al Progresso delle Scienze che l'eccessiva confidenza nel simbolismo matematico, perché lo studioso può essere indotto a seguire la via più agevole e considerare la formula, non il fatto e la realtà fisica». Questo concetto esprime il pensiero e la cultura di Sartori e indubbiamente influenzò l'impostazione del suo insegnamento dell'elettrotecnica.

Sartori aggiunge poi:

Nella imminenza dell'apertura della Sezione Industriale presso questa R.<sup>a</sup> Scuola di Ingegneria, per agevolare il compito agli studenti mi è sembrato non superfluo predisporre un Corso ordinato di lezioni nel campo dell'Elettrotecnica per presentare, opportunamente sviluppati e completati, anche per ciò che ha attinenza col dettaglio costruttivo, quegli argomenti che vengono trattati nel Corso di Elettrotecnica Generale per gli Ingegneri Civili.

Nell'accingermi a questo compito non potevo dimenticare che per più di quattro lustri il chiaro maestro Prof. Luigi Donati ha tenuto in questa R.<sup>a</sup> Scuola di Ingegneria vari Corsi di Elettrotecnica Generale, lasciando traccia del suo insegnamento in un volume che, pubblicato nel 1902, non ebbe ulteriore ristampa ed in vari fascicoli litografati usciti a cura di alcuni assistenti. Col suo consenso io mi sono larghissimamente valso di questo prezioso materiale.

Il Prof. Donati fu tra i primi in Italia a trattare le questioni inerenti alle Correnti Alternative con le rappresentazioni simboliche, quando l'andamento dei fenomeni possa ritenersi di tipo semplicemente armonico; né io mi sono allontanato da quel metodo, veramente perspicuo e suscettivo di immediata traduzione grafica, anche se non pochi siano gli autori inclini a proscriverlo trovandolo nebuloso o addirittura falso quando trattasi di interpretarne fisicamente le espressioni. Comunque non ho mancato di presentare molte questioni anche con l'altro metodo, dando le corrispondenti espressioni in termini dedotti per la via naturale. E poiché il Corso che si pubblica è particolarmente rivolto alla conoscenza delle macchine nel loro funzionamento normale, ho ritenuto opportuno, anche per non aumentare di molto la mole, di considerare soltanto il funzionamento a regime, escludendo i transienti, eccetto che per pochi casi che si trattano sempre nella Elettrologia anche elementare.

Ho corredato il libro di molti Esercizi numerici ed Applicazioni perché lo studente trovi già una diretta via di collegamento fra le deduzioni teoriche e le applicazioni pratiche; anzi nei Capitoli relativi alle macchine ho effettuato il confronto di alcuni fra i tipi normali...

La Sezione di Ingegneria Industriale, a cui si riferiva Sartori nella prefazione del trattato *Elettrotecnica*, fu istituita a Bologna nell'anno accademico 1926/27 (nuovo Statuto della R. Scuola di Ingegneria in Bologna approvato con Decreto Reale 14 ottobre 1926). Nell'anno accademico 1936/37, in base al Regio Decreto Legge 20 giugno 1935, n. 1071, la Sezione di Ingegneria Industriale fu suddivisa nelle Sottosezioni Meccanica ed Elettrotecnica.

Il testo *Elettrotecnica* conserva nella parte generale l'impostazione teorica e l'ordine di presentazione dei capitoli del libro di Donati pubblicato nel 1902, aggiungendo al termine di ciascuno di essi una ricca appendice di esercizi e di esempi di applicazioni pratiche. I due capitoli sui richiami di magnetismo e sull'elettromagnetismo sono sviluppati con maggiore ampiezza e riuniti in un unico capitolo denominato magnetismo ed elettromagnetismo. Pure ampliati sono i capitoli sulle correnti indotte e sulle correnti alternative ed è aggiunto un capitolo sui dielettrici e condensatori. Sono svolti con particolare cura gli argomenti la cui conoscenza è importante per lo studio delle macchine elettriche: legge dei circuiti magnetici, caratteristiche magnetiche dei materiali, circuiti con dispersione (coefficiente di dispersione di flusso, coefficiente di dispersione totale di due circuiti), induttanza variabile durante il periodo di fenomeni alternativi in circuiti comprendenti ferro, comportamento di un tubo di induzione che attraversa due mezzi di diversa permeabilità (in particolare, se uno dei due mezzi è un corpo ferromagnetico). La trattazione delle macchine elettriche, a cui è dedicato il secondo volume, è rivista e notevolmente ampliata per opera di Sartori.

Infine, confrontando il trattato del 1930 con quello del 1902, un lettore può forse intravedere la diversa formazione culturale ed esperienza giovanile dei due Docenti: nel testo del 1930 compare un capitolo sulla trasmissione dell'energia elettrica mentre non è presente un capitolo sulle misure elettriche, il contrario si riscontra nel testo del 1902.

Sartori fu direttore della R. Scuola d'Ingegneria dal 1932 al 1935, Scuola che nel 1933 assunse la denominazione di R. Istituto Superiore d'Ingegneria. Quando nell'anno accademico 1935/36, per disposizione del già citato Regio Decreto Legge 20 giugno 1935, n. 1071, tale Istituto Superiore fu trasformato in Facoltà di Ingegneria, che si trasferì nella nuova sede di Viale del Risorgimento, Sartori ne fu il primo Preside, incarico che mantenne fino alla sua scomparsa avvenuta il 21 gennaio 1937. Sono da ricordare l'impegno che Sartori profuse nel potenziamento e ammodernamento del Laboratorio di Elettrotecnica, nella costruzione della nuova sede della Facoltà di Ingegneria e nella direzione dell'Istituto di Elettrotecnica con essa costituito, e per l'attivazione dei primi insegnamenti di carattere applicativo caratterizzanti la sottosezione elettrotecnica. Fu pure Presidente generale dell'AEI (Associazione Elettrotecnica Italiana) per il triennio 1924-1926.

Nella commemorazione di Sartori il collega Emanuele Foà ricordava, oltre al grande docente, scienziato e tecnico, anche «la figura dell'Uomo, ammirevole per dirittura morale e per intima e profonda bontà d'animo»<sup>9</sup>.

### **Giovanni Smeda**

Alla scomparsa di Sartori, il concorso alla cattedra di Elettrotecnica, bandito nel 1937, fu vinto da Giovanni Smeda (Dolo, Venezia, 1901 – Padova, 1978), che prese servizio presso l'Università di Bologna il 16 novembre 1937 assumendo pure la direzione dell'Istituto di Elettrotecnica.

Smeda aveva frequentato la Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri in Padova, conseguendo nel 1923 la laurea in Ingegneria Civile con Diploma in Elettrotecnica. Dopo una breve esperienza nell'industria, aveva iniziato un'intensa attività di libero professionista nel settore dell'ingegneria elettrotecnica e una collaborazione con l'Università di Padova tenendovi come incaricato esterno diversi insegnamenti, senza entrare nei ruoli degli assistenti. Conseguì la libera docenza in Elettrotecnica generale nel 1930. La sua produzione scientifica in questa fase fu rivolta soprattutto a problemi progettuali e diede luogo a numerosi brevetti. Fu chiamato dall'Università di Padova a coprire la cattedra di Elettrotecnica con decorrenza 29 ottobre 1939, in seguito all'imatura scomparsa di Enzo Pugno Vanoni, con il quale aveva condiviso molti studi e ricerche. Mantenne a Bologna l'incarico dell'insegnamento di Elettrotecnica e quello della direzione dell'Istituto anche nell'anno accademico 1939/40. Durante il periodo bolognese fece attivare il corso di Costruzione di macchine elettriche che svolse per incarico negli anni accademici 1937/38 e 1938/39.

Nel testo che riporta l'ultima lezione di Lorenzo Marenesi, allievo di Smeda, è scritto: «Il prof. Smeda indulgeva mal volentieri a teorie delle quali non potesse intravedere, sia pure anche molto più avanti nel tempo, concrete applicazioni». Questo convincimento di Smeda si ritrova nell'impostazione del suo corso di elettrotecnica, raccolto negli appunti *Lezioni di elettrotecnica*, 1937, e stampato nella prima edizione in volume dalla Casa editrice La Grafolito, Bologna, 1944, a cui fecero seguito numerose edizioni (Pàtron, Bologna). Circa un terzo del volume riguarda la teoria delle macchine elettriche. La parte generale inizia con i circuiti in regime stazionario anziché con l'elettrostatica, come era consuetudine, e introduce il principio del generatore equivalente e quello di reciprocità.

### **Vittorio Gori**

Nel 1940 fu chiamato alla cattedra di Elettrotecnica Vittorio Gori (Firenze, 1896 – Roma, 1957), quale vincitore del relativo concorso. Gori si era laureato nel 1921 in Ingegneria Civile presso la Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri in Bologna, forse seguendo con particolare interesse le lezioni del Donati. Dopo la laurea era stato, negli anni 1921-23, assistente volontario alla cattedra di Idraulica di Bologna,

---

<sup>9</sup> E. Foà, *Necrologi - Giuseppe Sartori*, cit.

allora coperta da Umberto Puppini. Le sue prime ricerche furono quindi dedicate all'Idraulica, in particolar modo ad analogie tra fenomeni idraulici ed elettrici. Nel 1923, ottenuta una borsa di studio del Ministero della Pubblica Istruzione, aveva frequentato l'École Supérieure d'Électricité di Parigi, dove l'anno successivo conseguì il diploma di Ingegnere radio<sup>10</sup>.

Ritornato in Italia, fu assunto dalla società Italo-Radio con l'incarico di organizzare e dirigere un nuovo laboratorio sperimentale. Divenne in seguito direttore tecnico di tale società e più tardi (1938) anche della consorella società Italcable. Non abbandonò però la ricerca scientifica e frequentò contemporaneamente, come assistente volontario, l'Istituto di Elettrotecnica dell'Università di Pisa, allora diretto da Giancarlo Vallauri.

Il nome di Gori è legato, in modo particolare, allo sviluppo delle radiocomunicazioni a grande distanza per mezzo di onde corte. Infatti, nel 1928 ebbe l'incarico di costruire una stazione radio per collegare telefonicamente l'Italia con l'Argentina e il Brasile. Gori superò le diverse difficoltà con accorgimenti spesso originali e nel 1932 fu inaugurato ufficialmente il servizio telefonico fra l'Italia e le maggiori repubbliche dell'America latina. In seguito, perfezionò la stazione trasmittente da lui progettata e costruita a Torrenova presso Roma ed estese i collegamenti al Perù, all'America del Nord e al Giappone.

Come direttore tecnico dell'Italcable si occupò intorno al 1940 di un'altra tecnica e cioè della telegrafia sottomarina che si esegue mediante cavi<sup>11</sup>.

La sua attività di tecnico fu sempre supportata da un'intensa attività di studioso. Vanno ricordati i suoi studi originali sui filtri d'onda, sulla misura del campo elettromagnetico delle onde radiotelegrafiche, sulle antenne direttive e sui concetti d'impedenza e di guadagno applicati a sistemi irradianti multipli per onde corte. In particolare, notevole è una ricerca del 1927 in cui calcola la forza elettromotrice indotta in un circuito elettrico dalla corrente variabile che percorre un altro circuito anche tenendo conto della velocità finita con cui si propagano i fenomeni elettromagnetici. Egli giunge a formule semplici ed eleganti che generalizzano quelle impiegate nell'elettrotecnica ordinaria, in cui detta velocità si suppone infinita<sup>12</sup>.

Per quanto si fosse dedicato con successo ad attività tecnico-scientifiche, Vittorio Gori amava l'insegnamento. Pertanto accettò con entusiasmo nell'anno accademico 1931/32 l'incarico del corso di Tecnica degli impianti radiotelegrafici e radiotelefonici nella Scuola post-universitaria di perfezionamento per specialisti in Radiocomunicazioni annessa all'Istituto di Fisica della Facoltà di Scienze dell'Università di Bologna. Nell'anno accademico 1938/39 gli fu conferito l'incarico del corso di Comunicazioni elettriche nella Facoltà di Ingegneria della stessa Università che tenne fino al 1950, con un'interruzione dovuta agli eventi bellici. Nell'Università

---

<sup>10</sup> D. Graffi, *Commemorazione del Corrispondente Vittorio Gori*, Atti dell'Accademia Nazionale dei Lincei, Rendiconti classe scienze mat. fis. e nat., XXIV, 1958, pp. 200-205.

<sup>11</sup> *Ibidem*.

<sup>12</sup> *Ibidem*.

di Bologna diventò, come già ricordato, professore straordinario di Elettrotecnica nel 1940 e ordinario nel 1943. Gori mutò il nome dell'Istituto di Elettrotecnica in Istituto di Elettrotecnica e delle Comunicazioni elettriche "G. Marconi", assumendone la direzione. Allo stesso Istituto fu annesso il Corso di Perfezionamento in Radiocomunicazioni quando egli ne divenne direttore nel 1942.

Il programma del corso di Elettrotecnica svolto da Gori, secondo quanto riportato nell'Annuario dell'Università di Bologna dell'anno accademico 1950/51, consisteva in due parti: Parte I (I principi scientifici dell'elettrotecnica) e Parte II (Le applicazioni elettriche). Nella Parte II erano trattati: elementi di misure elettriche; teoria delle macchine elettriche (alternatori, motori sincroni, trasformatori, macchine asincrone, dinamo e motori a corrente continua); studio di altre apparecchiature (raddrizzatori a vapori di mercurio, apparecchi elettronici, tubi elettronici ad alto vuoto, ecc.); studio di linee e reti a corrente continua e a corrente alternata; esame di reti telefoniche e reti telegrafiche; cenni sulle radiocomunicazioni. La Parte I trattava argomenti di circuiti elettrici (correnti stazionarie, legge di Ohm, leggi di Kirchhoff, transistori, correnti alternate, metodo simbolico, concetto di impedenza, reti di impedenze, fenomeni di risonanza e antirisonanza, sistemi polifasi), anche se riservava una maggiore estensione e attenzione all'elettromagnetismo, che rappresentava il tema principale del corso. Riguardo a questo argomento erano introdotte fin dall'inizio le equazioni di Maxwell e perciò si può ritenere che la trattazione dell'elettromagnetismo fosse svolta facendo riferimento a tali equazioni, impostazione che è perfettamente coerente con la formazione culturale e gli interessi scientifici e tecnici di Gori, che era un grande maestro delle comunicazioni elettriche "prestato" all'elettrotecnica (i primi concorsi a cattedra per la disciplina Comunicazioni elettriche furono banditi in Italia solo nel 1974!). L'impostazione dello studio dei fenomeni elettromagnetici adottata da Gori può essere considerata nel suo complesso di tipo maxwelliano, formulazione che non era molto comune anche in campo accademico.

Infatti, due diverse impostazioni erano di solito seguite per l'insegnamento dell'elettromagnetismo nelle Scuole/Facoltà di Ingegneria. La prima classica che, partendo da leggi sperimentali o confermate dall'esperienza, giungeva alle equazioni differenziali dei diversi campi (campo elettrostatico, campo di corrente in regime stazionario, campo magnetico stazionario, campi variabili nel tempo) mediante le quali erano poi definite le grandezze elettriche integrali tensione e corrente, le equazioni costitutive dei bipoli e ricavati infine i principi di Kirchhoff, cioè il modello circuitale. La seconda che, prendendo le mosse da grandezze cosiddette "concrete" cioè direttamente accessibili agli strumenti di misura, introduceva, ad esempio, le grandezze elettriche tensione e corrente e le equazioni costitutive dei bipoli, derivandole dagli strumenti stessi che servivano a misurarle. Inoltre, introduceva come enunciato la legge dell'induzione elettromagnetica. Questa impostazione portava agevolmente al modello circuitale, mentre la nozione di campo elettromagnetico era ottenuta interpretando, a volte con argomentazioni non immediate, le grandezze e le equazioni che le mettono in correlazione a livello locale. Questa seconda impostazione, suggerita

da idee di Giovanni Giorgi, è stata illustrata in un articolo da Ercole Bottani<sup>13</sup>. Essa è stata adottata anche all'estero, ad esempio, nel trattato di K. Küpfmüller, *Einführung in die theoretische Elektrotechnik*, Springer, Berlin, 1932.

Nel 1951 Gori accettò la direzione dell'Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni a Roma dove il 1° novembre 1955 si trasferì definitivamente, essendo stato nominato professore ordinario nella Scuola superiore di telegrafia e telefonia annessa all'Istituto, incarichi che mantenne fino alla morte. Fu Socio Corrispondente dell'Accademia Nazionale dei Lincei.

### **Stefano Basile**

Il 18 aprile 1951, a seguito dell'incarico assunto da Gori a Roma, fu nominato direttore dell'Istituto di Elettrotecnica e delle Comunicazioni elettriche "G. Marconi" dell'Università di Bologna, come pure del Corso di perfezionamento in radio e telecomunicazioni, Stefano Basile (Milazzo, Messina, 1904 – Bologna, 1994), professore di ruolo nella stessa Università sin dal 1947. Ternato nel marzo del 1947 nel concorso alla cattedra di Elettrotecnica dell'Università di Cagliari, fu chiamato il 1° novembre 1947 dall'Università di Bologna come professore straordinario di Misure elettriche e nominato ordinario nel 1950, essendo il primo professore di ruolo di tale disciplina nell'Università di Bologna. Il 15 dicembre 1953 fu trasferito a una cattedra di Elettrotecnica.

Basile si era laureato in Ingegneria Civile presso la Scuola d'Ingegneria in Bologna nel 1926. Nell'anno accademico 1927/28 seguì nella stessa Scuola un corso di specializzazione in Elettrotecnica, conseguendo il premio Luigi Donati e l'assegnazione di una borsa di studio. Iniziò, come assistente alla cattedra di Elettrotecnica del professor Sartori nel 1928 e come aiuto di Elettrotecnica nel 1929, la sua attività accademica che svolse per intero presso la Scuola/Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna fino alla data del suo collocamento a riposo nel 1979.

Vasta è la gamma degli insegnamenti da lui tenuti, come professore incaricato, come professore incaricato libero docente (libera docenza in Elettrotecnica conseguita nel 1937), e infine come professore di ruolo. Fra i suddetti insegnamenti i più significativi, a sottolineare l'ampio spettro di interessi e di competenze di Basile, sono: Elettrotecnica (come incaricato nell'anno accademico 1936/37, alla morte del professor Sartori, e negli anni 1945/46, 1951/52 e 1952/53, e come ordinario dal 1953/54 al 1973/74), Misure elettriche e impianti elettrici (anni accademici 1936/37 e 1937/38), Misure elettriche (come incaricato dal 1938/39 al 1946/47 e come professore di ruolo dal 1947/48 al 1952/53) e Complementi di elettrotecnica (tenuto presso il Corso di Perfezionamento in Radiocomunicazioni) dal 1939/40 al 1947/48.

La produzione scientifica di Basile evidenzia un'originalità che egli ha saputo manifestare altrettanto bene sia sul piano sperimentale sia su quello teorico. Come già l'insegnamento, pure la ricerca è stata dedicata a settori molto ampi che vanno dalle misure

<sup>13</sup> E. Bottani, *L'insegnamento dell'elettromagnetismo secondo moderni criteri*, L'Elettrotecnica, XXIII, 1936, pp. 214-231.



alle macchine elettriche, dagli impianti elettrici all'elettrotecnica teorica, ricerca costantemente sorretta da una concreta conoscenza dei problemi pratici con i quali Basile si è sempre tenuto a stretto contatto, anche attraverso un'attività di libera professione ad alto livello. In particolare, originali e significativi sono i suoi lavori su un dispositivo atto alla eliminazione della perdita di energia nel piombo dei cavi unipolari in corrente alternata, sulla propagazione delle microonde nei tubi metallici, sul funzionamento sincrono dei motori a collettore, sul calcolo dei circuiti a maglie, sulla trattazione generale dei ponti per misure elettriche, sugli archi elettrici, sul collaudo dei motori asincroni a gabbia multipla. E ancora sulla misura indiretta della corrente continua, sulla capacità di trasporto delle linee elettriche, sul funzionamento dei motori sincroni, asincroni e a corrente continua con coppia resistente periodica e sui campi vettoriali.

Inoltre, alcune sue idee (in particolare, il brevetto "trasformatori a corrente costante mediante trasduttori magnetici") hanno trovato importante applicazione industriale. Un altro interesse di carattere tecnico e scientifico di Basile ha riguardato la protezione dei metalli contro la corrosione dovuta a correnti disperse. In tale settore, dal 1956 al 1986 è stato Presidente della CSFCE (Commissione di Studio dei Fenomeni di Corrosione Elettrolitica), costituita attraverso l'Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni. Tale Commissione ha pubblicato il primo testo italiano in materia: *Manuale della Corrosione*, Pàtron, Bologna, 1972. Inoltre, ha fatto parte della Commissione 4 (protezione catodica) del CEECOR (Centro Europa Occidentale Corrosioni).

Oltre alla concretezza degli obiettivi, a Basile non è però mancato l'amore per una ricerca di tipo più speculativo (come punto di sintesi fra didattica e ricerca), testimoniata, tra l'altro, dal pregevole volume *Elettrotecnica, Vol. II, Teoria dei campi - Elementi di calcolo tensoriale*, Pàtron, Bologna, 1967, propedeutico all'insegnamento dell'elettrotecnica vera e propria svolta nel trattato in due volumi *Elettrotecnica, Vol. III, Elettromagnetismo e circuiti*, Pàtron, Bologna, 1969.

Nel volume *Elettrotecnica, Vol. II*, l'intera materia è inquadrata in due capitoli, il primo dedicato alla teoria dei campi e il secondo a elementi di calcolo tensoriale, svolti in senso generale. Segue un'appendice in cui sono riassunti gli elementi del calcolo vettoriale. La trattazione considera i vettori e i tensori come enti intrinseci, cioè indipendenti dal sistema di riferimento, e prescinde dalla natura fisica delle grandezze scalari o vettoriali di cui si studia il campo. Nel primo capitolo si ricavano proprietà e teoremi che hanno valore generale fino a quando si può non tenere conto delle sorgenti cui sono dovuti i campi. Come scrive l'autore nella *Prefazione*: «Successivamente si studiano i campi dovuti a masse o sorgenti, ma in modo ancora generale, non specificando cioè, nei limiti del possibile, la natura delle sorgenti. Si ricavano così proprietà che spesso hanno ancora valore generale». L'esposizione si distingue per una grande chiarezza e snellezza e si differenzia dai molti analoghi trattati per il costante rigore che cerca di mantenere in ogni dimostrazione.

Riguardo alla teoria dei campi sono da segnalare, poiché di solito non presentate o presentate in modo incompleto nei testi su questo tema, le dimostrazioni che individuano la topologia del dominio di definizione del campo vettoriale nel quale

l'annullarsi dovunque del rotazionale o della divergenza del vettore è condizione, oltre che necessaria, anche sufficiente per definire un potenziale scalare a un solo valore o un potenziale vettore continuo.

Nell'opera *Elettrotecnica, Vol. III*, l'elettromagnetismo è trattato in modo esaustivo e con estrema chiarezza seguendo l'impostazione classica menzionata più sopra. Gli argomenti sono svolti con un approccio rigoroso ma al tempo stesso rapido e diretto utilizzando le conoscenze acquisite in precedenza sui campi vettoriali, senza però tralasciare di illustrare gli aspetti fisici e ingegneristici. Ad esempio, il campo elettrostatico generato da un sistema di conduttori carichi qualsiasi (di cui sono assegnati i potenziali o le cariche totali) è determinato, insieme ai coefficienti di capacità, di induzione e potenziali, introducendo opportune funzioni armoniche, dipendenti solo dalla geometria del sistema di conduttori, e richiamando teoremi di unicità. Altro esempio, partendo dall'espressione della forza meccanica, che secondo le esperienze di Ampère si esercita tra due elementi di corrente di due diversi conduttori, è ricavata elegantemente la legge della circuitazione magnetica per una linea chiusa qualsiasi concatenata o no con una corrente stazionaria mediante il potenziale scalare magnetico, schematizzando la corrente come un doppio strato magnetico uniforme (lamina magnetica) equivalente. Prima di considerare i potenziali ritardati e le onde piane, le equazioni del campo elettromagnetico in forma differenziale, ricavate nei capitoli precedenti, sono raccolte in un sottocapitolo distinguendo le equazioni derivate da quelle fondamentali.

Per quanto riguarda i circuiti lineari, il loro studio è svolto sia con il metodo delle correnti di maglia che con il metodo dei potenziali di nodo mediante la trasformata di Laplace che consente una trattazione generale (applicabile per qualsiasi segnale L-trasformabile). Non manca tuttavia un ampio cenno al metodo di soluzione mediante equazioni differenziali. Sono pure ricavati i teoremi dei circuiti lineari. Infine, approfondita è l'analisi dei circuiti in regime sinusoidale e dei sistemi trifasi, insistendo sugli aspetti energetici.

Alla ricerca di tipo speculativo Basile ha continuato a dedicarsi anche dopo essere stato collocato in quiescenza, pubblicando il volumetto *Richiami di elettromagnetismo*, Pitagora, Bologna, 1981, in cui, seguendo un approccio deduttivo, sono introdotti e sviluppati con rigorosa compattezza e linearità metodologica i concetti fondamentali dell'elettromagnetismo. L'opera è destinata ai giovani che iniziano lo studio della teoria classica dell'elettromagnetismo, ma può essere utile anche ai meno giovani che intendono riesaminare, in modo rapido e sicuro, i fondamenti scientifici su cui si basa e si sviluppa la moderna tecnica elettrica.

Pubblicò inoltre testi di esercizi di elettrotecnica, di misure elettriche e di macchine elettriche: *Esercizi di elettrotecnica per gli allievi ingegneri*, Zanichelli, Bologna, 1935; *Lezioni di misure elettriche*, CEDAM, Padova, 1945; *Elettrotecnica, Vol. IV, Generalità sulle macchine rotanti*, Pàtron, Bologna, 1973.

Basile, che aveva già tenuto per incarico la direzione dell'Istituto di Elettrotecnica nell'anno accademico 1936/37 alla morte del professor Sartori, ha diretto l'Istituto di Elettrotecnica e delle Comunicazioni elettriche "G. Marconi" (divenuto nuovamente Istituto di Elettrotecnica dopo la costituzione del nuovo Istituto di Elettronica nel

1965) dal 1951 al 1974, quindi durante gli anni a metà del ventesimo secolo che segnarono un tumultuoso sviluppo tecnico e scientifico delle discipline elettriche, elettroniche e informatiche, con inevitabili ricadute sull'ordinamento degli studi della Facoltà di Ingegneria.

Già nell'anno accademico 1953/54 Basile decise di suddividere il corso unico di "Elettrotecnica" (Elettrotecnica generale) in tre corsi distinti (tenuti dallo stesso Basile) e precisamente: "Elettrotecnica I" ed "Elettrotecnica II" per gli allievi in Ingegneria Industriale Sottosezione Elettrotecnica, ed "Elettrotecnica" per gli allievi delle rimanenti sezioni (Ingegneria Civile - Ingegneria Industriale Sottosezione Meccanica - Ingegneria Chimica - Ingegneria Mineraria).

Nell'anno accademico 1960/61 la Facoltà diede applicazione al D.P.R. 31 gennaio 1960, n. 53. Il biennio propedeutico passò dalla Facoltà di Scienze a quella di Ingegneria; furono abolite le due sottosezioni della Sezione Industriale e al loro posto furono attivati i corsi di laurea in Ingegneria Meccanica e in Ingegneria Elettrotecnica. Le sezioni di Ingegneria Chimica e di Ingegneria Mineraria divennero corsi di laurea. Nacque il nuovo corso di laurea in Ingegneria Elettronica e fu avviato con i primi due anni il corso di laurea in Ingegneria Nucleare.

Nel piano degli studi degli allievi in Ingegneria Elettronica erano previsti gli stessi insegnamenti obbligatori di Elettrotecnica I ed Elettrotecnica II, impartiti agli studenti in Ingegneria Elettrotecnica. Tali insegnamenti, seguiti dagli allievi di entrambi i suddetti corsi di laurea, erano tenuti da Basile (1<sup>a</sup> cattedra). Il programma del corso di Elettrotecnica I riguardava i campi vettoriali, l'elettromagnetismo e i circuiti elettrici secondo la trattazione svolta nei già citati volumi *Elettrotecnica, Vol. II* ed *Elettrotecnica, Vol. III*. Il corso di Elettrotecnica II, in base all'Annuario dell'Università di Bologna, trattava i principi di funzionamento e la teoria delle principali macchine elettriche e argomenti tecnici collegati. L'insegnamento di Elettrotecnica per gli studenti in Ingegneria Civile, Meccanica, Chimica e Mineraria fu affidato nell'anno accademico 1962/63 a Filippo Ciampolini (2<sup>a</sup> cattedra), allievo di Basile.

### **Filippo Ciampolini**

Filippo Ciampolini (Firenze, 1926 – Bologna, 2016) conseguì la laurea in Ingegneria Industriale (Sottosezione Elettrotecnica) presso l'Università di Bologna nel 1950. Nello stesso anno, subito dopo la laurea, il professor Gori, allora direttore dell'Istituto di Elettrotecnica e delle Comunicazioni elettriche "G. Marconi", lo chiamò a ricoprire, per incarico, il posto di assistente alla cattedra di Elettrotecnica. In tale incarico fu confermato quando al professor Gori succedette nella direzione dell'Istituto il professor Basile. Divenne assistente ordinario nel 1953, in seguito a concorso, professore incaricato e libero docente in Elettrotecnica nel 1959. Infine, ternato nel gennaio 1962 nel concorso alla cattedra di Elettrotecnica dell'Università di Cagliari, prese servizio il 1° febbraio 1962 presso l'Università di Bologna come professore straordinario di Elettrotecnica e fu nominato ordinario dopo il triennio.

Numerosi sono stati i compiti di servizio e di coordinamento scientifico e didattico svolti da Ciampolini. Tra l'altro, ricoprì i seguenti incarichi: direttore del Gruppo

nazionale di ricerca sulle Macchine elettriche del CNR nel biennio 1972-1973, direttore dell'Istituto di Elettrotecnica dell'Università di Bologna dal 1974 al 1986 e Presidente della Commissione didattica della Facoltà di Ingegneria della medesima Università nel triennio 1983-1986.

La sua attività scientifica si è svolta soprattutto nel campo dell'elettrotecnica generale e delle macchine elettriche: in tali settori è autore di pubblicazioni e di vari libri. I risultati più significativi della sua attività di ricerca si riferiscono alla teoria delle macchine asincrone e delle reti elettriche lineari. Apprezzabili per la loro originalità sono i lavori del periodo giovanile riguardanti l'autoeccitazione dei motori asincroni nelle linee compensate con condensatori in serie, l'influenza dei condensatori in serie sulla stabilità dinamica delle linee di trasmissione, le pompe elettromagnetiche a flusso elicoidale e a conduzione, la teoria dell'Allievi applicata allo studio dei transitori nelle linee elettriche, il motore asincrono a rotore massiccio, l'avviamento delle macchine sincrone in asincrono e i motori a induzione lineari e sferici.

In seguito, nel settore delle reti lineari ha elaborato il cosiddetto *metodo delle interdizioni*, che riconduce la soluzione di un circuito lineare a quella di circuiti elementari in cui tutte le incognite sono inibite tranne una. Utilizzando i risultati ottenuti dai circuiti elementari, si giunge alla soluzione del circuito nel suo complesso attraverso una procedura che impiega semplici formule ricorrenti. Il metodo non richiede l'inversione di una matrice e inoltre, essendo le formule ricorrenti molto semplici, si presta assai bene allo sviluppo del calcolo simbolico. Esso si è rivelato strumento efficace non solo nello studio dei circuiti elettrici lineari ma anche di un generico sistema fisico lineare e per questa ragione può trovare applicazione in settori scientifici alquanto diversi dall'elettrotecnica (matematica, fisica, scienza delle costruzioni, ecc.). Questo metodo è stato citato perché, pur riconosciuto valido sul piano scientifico, esso ha dimostrato anche una forte valenza didattica, avendo di fatto aperto la strada verso la cosiddetta Didattica Breve, di cui si dirà più avanti.

Particolarmente significativo e originale è il raccordo metodologico operato da Ciampolini tra la teoria delle macchine elettriche e quella dei circuiti elettrici, presentando la prima come teoria di circuiti rotanti. Questa ricerca fu forse suggerita a Ciampolini dalla sua grande attenzione per la didattica: intendeva rendere più naturale il passaggio dall'elettrotecnica generale alle macchine elettriche, che non è in genere così spontaneo (e quindi così facile per l'allievo) quando le macchine elettriche sono insegnate con la didattica tradizionale.

I risultati di questa ricerca sono esposti nel volume *Fondamenti di elettrotecnica - Macchine, Tomo primo*, UTET, Torino, 1980, della Collezione di Elettrotecnica ed Elettronica. Nel volume è studiato, con la metodologia dei circuiti elettrici rotanti, il funzionamento a regime di macchine in corrente alternata a traferro costante (macchine asincrone e macchine sincrone a rotore liscio) con un numero qualsiasi di avvolgimenti monofasi o polifasi sullo statore e sul rotore. La trattazione si basa sullo studio del campo magnetico rotante al traferro, generato da vari tipi di distribuzione di corrente, e introduce due forme fondamentali per rappresentarlo (forma diretta e forma inversa). Punti focali del metodo sono: il concetto di campo rotante visto

da un osservatore posto tipicamente nel centro geometrico dell'indotto, le relazioni fra campi visti da osservatori statorici o da osservatori rotorici, le relazioni fra campi visti da osservatori statorici e da osservatori rotorici con il conseguente cambio di pulsazione. Le espressioni dei campi visti (e quindi dei flussi magnetici visti) rendono immediata la trattazione dell'interazione fra avvolgimenti in termini di forza elettromotrice indotta. Per quanto concerne le pulsazioni presenti, esse sono individuate in generale con un procedimento interdittivo che trae ispirazione dal metodo delle interdizioni, dove un generico regime è scomposto in regimi più semplici con lo statore o il rotore interdetti. Le equazioni interne si scrivono applicando la legge di Ohm a ciascun avvolgimento per ogni pulsazione in esso presente. Alle equazioni interne si associano quelle di collegamento esterno.

Questa metodologia, pur non avendo avuto grande diffusione didattica anche a seguito della disattivazione di insegnamenti, si è dimostrata, soprattutto per merito di Fiorenzo Filippetti allievo di Ciampolini, di grande importanza nello studio della diagnostica delle macchine elettriche tramite l'analisi di segnale. Infatti, in una macchina in regime di guasto si creano squilibri che producono nei segnali nuove pulsazioni e di solito ogni tipo di guasto genera una particolare pulsazione.

In seguito Ciampolini pubblicò un interessante libro di esempi di applicazione del metodo, assieme a Fiorenzo Filippetti e Maria Martelli, *Esercizi su Circuiti elettrici rotanti in corrente alternata - Macchine asincrone a traferro costante*, Pitagora, Bologna, 1983.

Molteplici sono gli insegnamenti tenuti da Ciampolini per incarico e supplenza nei diversi anni: Complementi di elettrotecnica (per il Corso di perfezionamento in radio e telecomunicazioni annesso all'Istituto di Elettrotecnica e delle Comunicazioni elettriche "G. Marconi") nell'anno accademico 1953/54, Comunicazioni elettriche (parte riguardante il primo semestre, anni accademici 1954/55 e 1955/56), Costruzione di macchine elettriche dal 1956/57 al 1959/60, Centrali elettriche dal 1960/61 al 1963/64 e Macchine elettriche dal 1960/61 al 1972/73. Nell'anno accademico 1973/74 lasciò l'insegnamento di Macchine elettriche per ingegneri elettrotecnici, il cui programma riguardava principalmente il progetto elettromagnetico delle macchine. Lasciò contemporaneamente pure l'insegnamento di titolarità di Elettrotecnica per gli allievi non elettrotecnici ed elettronici (che teneva dall'anno accademico 1962/63) per assumere gli insegnamenti di Elettrotecnica I ed Elettrotecnica II per il corso di laurea in Ingegneria Elettronica, sino allora svolti da Basile, che sarebbe andato fuori ruolo al termine di tale anno accademico. Nel 1977/78 rinunciò a svolgere il corso di Elettrotecnica II (che in seguito fu reso facoltativo e poi disattivato) e mantenne l'insegnamento di Elettrotecnica I, che nei primi anni novanta assunse la denominazione di Elettrotecnica, anche dopo il collocamento fuori ruolo fino al 1999.

In conseguenza del notevole aumento del numero degli studenti iscritti al corso di laurea in Ingegneria Elettronica, nell'anno accademico 1977/78 l'insegnamento di Elettrotecnica I (Elettrotecnica) fu sdoppiato e il secondo corso fu affidato per incarico a Paolo Raffale Ghigi, allievo di Ciampolini.

Per gli studenti non elettrotecnici ed elettronici furono attivati insegnamenti di Elettrotecnica differenti per i diversi corsi di laurea, affidati a professori incaricati che in seguito divennero professori associati o ordinari.

Le lezioni di elettrotecnica di Ciampolini sono raccolte nel suo volume *Elettrotecnica generale*, Pitagora, Bologna, 1971. In questo testo, redatto per gli allievi in Ingegneria Meccanica, Chimica e Mineraria il cui piano degli studi prevedeva un solo corso di elettrotecnica, gli argomenti trattati possono, salvo alcune precisazioni di cui si dirà in seguito, essere fatti rientrare in due grandi tematiche: elettromagnetismo e macchine elettriche.

Nella trattazione dell'elettromagnetismo Ciampolini adotta un procedimento deduttivo. Partendo dalle equazioni di Maxwell e dall'equazione di conservazione della carica elettrica, sviluppa i capitoli dell'elettrostatica, dell'elettrodinamica stazionaria e di quella quasi-stazionaria. L'elettrodinamica stazionaria comprende i circuiti in regime stazionario, risolti mediante i principi di Kirchhoff, il campo magnetico stazionario e i circuiti magnetici. Nell'elettrodinamica quasi-stazionaria sono individuate, in modo originale ed elegante, le regioni del campo elettromagnetico, in altri termini le strutture elettromagnetiche, in cui si può trascurare la derivata temporale o del vettore induzione magnetica o del vettore spostamento elettrico o di entrambi. Si formulano quindi la legge di Ohm e i principi di Kirchhoff generalizzati. Alcuni argomenti (bilanci energetici, transitorio dei circuiti elettrici, correnti alternate monofasi e trifasi) che, a stretto rigore rientrerebbero nell'elettromagnetismo quasi-stazionario, per la loro importanza tecnica sono svolti con maggiore ampiezza in capitoli separati.

Riguardo alle macchine elettriche, l'autore scrive nella *Prefazione*: «Anche lo studio delle macchine elettriche, a cui è rivolta la parte finale del testo, è stato condotto con criteri analoghi, sempre seguendo un'impostazione di carattere generale fondata su un filone logico unitario, che risulta valido per tutte le macchine nonostante le notevoli differenze che le distinguono sul piano costruttivo». Infatti, il funzionamento a regime di ciascuna macchina elettrica è descritto da equazioni interne, determinate tramite ipotesi di campo, a cui sono associate le equazioni esterne (equazioni di collegamento verso l'esterno). A volte, come aiuto per gli studenti, prima dello studio tramite equazioni il funzionamento delle macchine è esaminato sotto il profilo intuitivo seguendo uno schema logico. Nella trattazione è introdotto il concetto di campo visto da un osservatore, che è indispensabile per lo studio dei circuiti elettrici rotanti di cui si è parlato più sopra.

Per un approfondimento delle lezioni sui circuiti elettrici Ciampolini ha in seguito prodotto *VideoDidattica di elettrotecnica - Esercizi di circuiti elettrici - Metodologie di soluzione e di generazione*, Esculapio, Bologna, 1993.

Va segnalato il grande impegno didattico che, con vera passione, Ciampolini ha profuso con azioni innovative su nuove tecniche riguardanti i metodi di insegnamento e di apprendimento, anticipatrici di metodologie oggi riconosciute e da molti adottate.

Verso la metà degli anni Ottanta l'orientamento delle ricerche di Ciampolini ha cominciato a cambiare gradualmente fino ad assumere una fisionomia del tutto

diversa dalla precedente. Per migliorare la qualità degli allievi prima e dopo l'accesso all'Università, ha sviluppato una tipologia di ricerca, denominata *Ricerca Metodologica-Disciplinare (RMD)*, che, a differenza di quella pedagogica classica, è fortemente legata ai contenuti delle singole discipline e come tale può essere svolta solo da docenti disciplinari. Ai ricercatori *RMD* non si chiede di trovare contenuti disciplinari nuovi, ma di ottimizzare il trasferimento agli allievi di contenuti già noti utilizzando metodologie che i contenuti stessi, rivisitati sistematicamente con ricerche vere e proprie, finiscono col suggerire. A questa idea egli aveva già lavorato da tempo, avendo in lavori scientifici precedenti alla metà degli anni Ottanta gettato le basi della *Didattica Breve (DB)* che della *RMD* è la parte più avanzata. Molte di queste azioni didattiche innovative hanno riguardato argomenti specifici dell'elettrotecnica (o di discipline a essa affini).

Ciampolini si è attivamente impegnato, anche durante il fuori ruolo e dopo essere stato collocato in quiescenza, sul tema del raccordo Scuola-Università e sulla ricerca didattica. Per queste competenze ha ricoperto posizioni di grande rilievo nell'ambito dell'IRRSAE (Istituto Regionale Ricerca Sperimentazione Aggiornamento Educativi) sia a livello regionale che nazionale. In questo settore ha pubblicato i due volumi *La didattica breve*, Il Mulino, Bologna, 1993, e, assieme a Francesco Piazzi, *La ricerca metodologico-disciplinare - Una strategia per il rilancio della scuola italiana*, Il Mulino, Bologna, 2000.

### **Francesco Barozzi**

Nel 1974, a seguito del collocamento fuori ruolo di Basile, fu chiamato per trasferimento a coprire la cattedra di Elettrotecnica resasi vacante, come pure gli insegnamenti di Elettrotecnica I ed Elettrotecnica II per il corso di laurea in Ingegneria Elettrotecnica, Francesco Barozzi (Vedrana-Budrio, Bologna, 1913 – Bologna, 1995), ordinario di Elettrotecnica nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Trieste. Barozzi si era laureato in Ingegneria Industriale (Sottosezione Elettrotecnica) presso l'Università di Bologna nel 1937. In questa Università rimase dopo la laurea come assistente volontario nel 1937 e ordinario nel 1939 presso la cattedra di Elettrotecnica, coperta in quegli anni dal professore straordinario Giovanni Someda. Dal 1947 al 1954 ricoprì il ruolo di aiuto alla cattedra di Elettrotecnica. Nell'anno accademico 1940/41 ebbe l'incarico dell'insegnamento di Costruzione di macchine elettriche, che, con un'interruzione dovuta al servizio militare negli anni di guerra 1943/44 e 1944/45, conservò fino all'anno accademico 1955/56. Fu anche incaricato di Complementi di elettrotecnica (per il Corso di perfezionamento in radio e telecomunicazioni) dal 1948/49 al 1952/53. Durante questi anni trascorse pure un importante periodo di studio e ricerca presso l'Università di Uppsala, in Svezia, nell'ambito delle attività del Centro Italo-Svedese di Elettrofisica del CNR, istituito nell'anno 1949 tra l'Istituto per le ricerche sulle alte tensioni di quell'Università e l'Istituto di Elettrotecnica e delle Comunicazioni elettriche "G. Marconi" di Bologna.

Nel 1952 conseguì l'abilitazione alla libera docenza in Elettrotecnica e l'anno successivo gli fu conferito l'incarico degli insegnamenti di Elettrotecnica e di

Impianti industriali elettrici e quello della direzione dell'Istituto di Elettrotecnica nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Trieste. A seguito del concorso alla cattedra di Elettrotecnica bandito da quell'Università, di cui fu dichiarato vincitore, divenne nel 1956 straordinario di tale disciplina e ordinario dopo tre anni. Nel periodo triestino l'opera di Barozzi a cui più si affida il suo ricordo è quella prestata nel costruire, partendo in pratica dal nulla, l'Istituto di Elettrotecnica, in seguito Istituto di Elettrotecnica ed Elettronica, dell'Università di Trieste. Si ricorda anche la grande passione con cui Barozzi, eccezionale bibliofilo, contribuì a realizzare le biblioteche dell'Istituto di Elettrotecnica ed Elettronica e della Facoltà di Ingegneria di Trieste. È da segnalare inoltre il suo importante supporto allo sviluppo delle discipline elettriche e dell'informazione in quell'Università.

Ritornato a Bologna nel 1974 Barozzi tenne per due anni accademici entrambi gli insegnamenti di Elettrotecnica I (campi e circuiti) e di Elettrotecnica II (principi di funzionamento delle macchine elettriche) per il corso di laurea in Ingegneria Elettrotecnica. Egli osservò che nella Scuola/Facoltà di Ingegneria di Bologna, forse a causa della formazione culturale dei Docenti che si erano avvicinati nell'insegnamento dell'elettrotecnica, non era mai stato impartito un corso "ad hoc" dedicato alla teoria dei circuiti elettrici lineari, indispensabile, tra l'altro, per lo studio dell'elettronica. D'altra parte lo svolgimento dei principi di funzionamento delle macchine elettriche nel corso di Elettrotecnica II era diventato sovrabbondante, poiché ora l'insegnamento obbligatorio di Macchine elettriche trattava proprio questo argomento, oltre a formulare il modello matematico e a sviluppare il calcolo dei parametri delle macchine. Pensò che si potesse svolgere la teoria dei circuiti lineari nell'insegnamento di Elettrotecnica II e chiese di organizzare un insegnamento di circuiti al suo assistente Ugo Reggiani, al quale fu affidato l'incarico di Elettrotecnica II col nuovo programma dall'anno accademico 1976/77 al 1978/79.

Barozzi mantenne il corso di Elettrotecnica I fino al 1983, anno del collocamento fuori ruolo. Da fuori ruolo conservò la carica di coordinatore del Dottorato di Ricerca in Ingegneria Elettrotecnica.

Come studioso si occupò, in gioventù, prevalentemente di macchine elettriche. Il suo primo lavoro del 1939 è dedicato alle correnti nell'albero delle macchine elettriche e rappresenta il risultato delle ricerche teoriche e sperimentali svolte presso le Officine Elettromeccaniche di Monfalcone. In particolare, importanti sono i suoi contributi sull'avviamento dei motori sincroni e sul funzionamento di quelli privi di eccitazione. Il suo interesse scientifico in questo periodo non fu, tuttavia, circoscritto alle sole macchine elettriche; pubblicò anche lavori su aspetti generali dell'elettrotecnica, come le memorie sul bilancio di potenza in una rete elettrica a più morsetti in regime sinusoidale, sui dispositivi statici per l'equilibratura di un carico monofase su di una rete trifase simmetrica e, ancora, sui divisori di tensione per la misura di alte tensioni a impulso.

Come scrive Antonio Lepschy<sup>14</sup>:

<sup>14</sup> A. Lepschy, *Ricordando Francesco Barozzi*, Atti dell'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, CLIV, 1995-1996, pp. 171-177.



Francesco Barozzi fu però assai parco nell' esporre risultati che non gli sembrassero sufficientemente significativi e questa fu sempre una sua caratteristica, ben apprezzabile di fronte agli eccessi di presenzialismo di oggi, ispirati alla discutibile formula del *publish or perish*. In realtà durante la sua lunga e operosa vita meditò profondamente – e con risultati molto notevoli – sui fondamenti della scienza elettrica e sull' impostazione più conveniente da dare ad un moderno insegnamento di base di Elettrotecnica. Ciò gli fu di grande aiuto quando, verso la conclusione della sua opera di studioso e di docente, si cimentò insieme a Ferdinando Gasparini nella stesura di un impegnativo trattato: F. Barozzi, F. Gasparini, *Fondamenti di elettrotecnica - Elettromagnetismo*, UTET, Torino, 1989, primo volume di una Collezione di Elettrotecnica ed Elettronica che a lui era stato dato il compito di coordinare e che ha costituito uno dei suoi impegni principali per oltre un ventennio.

Nella *Premessa* di tale trattato gli autori scrivono:

scopo principale: trarre dal quadro sperimentale, concettuale e formale dell'elettromagnetismo (quale in genere è trattato nei corsi di fisica delle Facoltà di Ingegneria) l'insieme dei principi e delle formalizzazioni necessarie per impostare le principali applicazioni e per affrontare livelli maggiori di approfondimento.

Il modo di effettuare questo passaggio è da sempre oggetto di discussione: le soluzioni adottate oscillano tra impostazioni di tipo deduttivo e induttivo e, nell'ambito di ciascuna, diversi sono i punti di attacco. Qui si è scelta la via della graduale generalizzazione, mentre la sequenza degli argomenti, tranne per un aspetto che vedremo in particolare, è quella classica.

L'opera è indubbiamente di ampio respiro. Oltre all'elettromagnetismo sono trattati elementi di elettromeccanica (tra cui i principi di funzionamento delle principali macchine elettriche rotanti) e riportate interessanti Appendici riguardanti: richiami di matematica applicata, sistemi di unità di misura per le grandezze dell'elettromagnetismo, configurazioni elettrostatiche e configurazioni magnetiche. I diversi argomenti dell'elettromagnetismo sono svolti con un approccio rigoroso, anche se in alcuni casi l'apprendimento da parte del lettore non è immediato per la complessità dello sviluppo delle argomentazioni e la mole della materia considerata. L'ultimo capitolo riguarda la formulazione maxwelliana dell'elettromagnetismo. Le forze ponderomotrici su corpi (conduttori carichi, dielettrici, corpi magnetizzati, corpi sedi di corrente) lineari e isotropi e le densità superficiali di forza sulle interfacce di separazione fra mezzi diversi sono calcolate in modo particolarmente dettagliato, considerando nelle espressioni delle densità di volume di forza la presenza di termini di elettrostrizione e di magnetostriazione. Una particolarità del trattato riguarda senz'altro la legge dell'induzione elettromagnetica: essa non è enunciata ma dedotta attraverso una sequenza di argomentazioni, anche di carattere energetico, riguardo a come bisogna intervenire per mantenere costanti le correnti stazionarie in due circuiti in moto relativo. Pregevole è il livello di approfondimento, in molti casi espresso attraverso minuziose note e precisazioni. Si può quindi ritenere che la trattazione

dell'elettromagnetismo svolta nel volume sia più apprezzabile e adatta per lettori che abbiano già conoscenza della materia.

Un aspetto importante dell'attività di Barozzi ha riguardato i problemi della certificazione, dell'unificazione e della normativa tecnologica, con particolare riferimento al settore elettrico. In questo campo, Barozzi fu, tra l'altro, Presidente del CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), dell'UNEL (Unificazione Elettrotecnica) e del Comitato Nazionale Italiano del CENELEC (Comité Européen de Normalisation Électrotechnique). Inoltre rappresentò l'Italia per molti anni nel Consiglio della CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Électriques) e fu pure membro del Consiglio dell'IEC (International Electrotechnical Commission).

### ***Ugo Reggiani***

Nell'anno accademico 1983/84, quando Barozzi lasciò l'insegnamento, il corso di Elettrotecnica I fu affidato a Ugo Reggiani (Cavezzo, Modena, 1944), nominato nel 1980, a seguito di concorso, professore straordinario di Elettrotecnica presso l'Università di Bologna e ordinario nel 1983.

Il programma di tale corso riguardava lo studio dell'elettromagnetismo, essendo previsti insegnamenti obbligatori di circuiti elettrici e di macchine elettriche. Il corso, dopo un approfondito richiamo della teoria dei campi vettoriali e delle sorgenti dei fenomeni elettromagnetici, svolto in gran parte secondo gli insegnamenti rispettivamente di Basile e di Barozzi, trattava l'elettromagnetismo seguendo un'impostazione maxwelliana e deduttiva. Dalle leggi fondamentali e derivate dell'elettromagnetismo in forma integrale erano ricavate, applicando semplici teoremi di analisi vettoriale, le corrispondenti leggi in forma locale (equazioni differenziali e condizioni di raccordo simultaneamente) da cui erano dedotti i campi caratterizzati da un'interazione tra campo elettrico e campo magnetico rispettivamente di ordine zero (elettrostatica ed elettrodinamica stazionaria), di ordine uno (elettrodinamica quasi-stazionaria) e di ordine due (elettrodinamica non stazionaria). Il programma era completato dallo studio dei circuiti magnetici, dei bilanci energetici e delle forze nei sistemi elettromagnetici, argomenti svolti a parte per la loro grande importanza tecnica.

In particolare, nell'elettrostatica e nell'elettrodinamica stazionaria erano ricavate le espressioni dei parametri capacità, resistenza e coefficienti di auto e mutua induzione in termini delle proprietà del mezzo, della geometria comunque complessa del sistema e, in modo specifico, di funzioni armoniche dipendenti solo dalla geometria. L'elettrodinamica quasi-stazionaria considerava la diffusione del campo densità di corrente e del campo magnetico in un mezzo conduttore, l'approssimazione quasi-stazionaria (con la condizione per la sua applicabilità) e il passaggio dai campi ai circuiti. Infine, l'elettrodinamica non stazionaria trattava le equazioni non omogenee delle onde nei potenziali, i potenziali ritardati, le onde piane uniformi in mezzi diversi, le guide d'onda e le antenne a dipolo, argomenti in parte svolti in un corso di laurea di secondo livello.

Reggiani fu un convinto assertore della propedeuticità dell'insegnamento di campi rispetto a quello di circuiti. Questo convincimento nasceva dalla consta-

tazione che il modello a costanti concentrate di una struttura elettromagnetica, come ad esempio un circuito elettrico, può essere introdotto solo dopo un'analisi della dinamica temporale del fenomeno elettromagnetico che interessa la struttura e della struttura stessa. Egli mostrò sempre una certa perplessità nei confronti di un insegnamento assiomatico e astratto dei circuiti elettrici rivolto a studenti privi delle conoscenze di base dei fenomeni elettromagnetici da un punto di vista ingegneristico. Fu possibile mantenere la propedeuticità dell'insegnamento di campi rispetto a quello di circuiti nel piano degli studi del corso di laurea in Ingegneria Elettrotecnica (divenuta laurea in Ingegneria Elettrica dall'anno accademico 1991/92 in base al D.P.R. 20 maggio 1989) fino all'anno accademico 2000/01 in cui rimase attivo il terzo anno della laurea quinquennale (a ciclo unico). Sino a quell'anno tenne il corso di Elettrotecnica I, che aveva nel frattempo cambiato denominazione in Principi di ingegneria elettrica e in seguito in quella definitiva di Principi di ingegneria elettrica I.

Egli svolse per alcuni anni accademici (dal 2000/01 al 2002/03), come professore incaricato, l'insegnamento di Compatibilità elettromagnetica industriale per il corso di laurea quinquennale in Ingegneria Elettrica, sviluppando un'attività di ricerca su questo tema e contribuendo alla realizzazione e allo sviluppo del LACEM (Laboratorio di Compatibilità elettromagnetica) del Dipartimento di Ingegneria Elettrica della Facoltà di Ingegneria di Bologna.

Inoltre, per diversi anni ha tenuto per supplenza l'insegnamento di Elettrotecnica presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Modena e Reggio Emilia e l'Accademia Militare di Modena.

Reggiani si era laureato in Ingegneria Elettrotecnica presso l'Università di Bologna nel 1969. Nel 1970 iniziò un periodo di studio e di ricerca come borsista del Ministero della Pubblica Istruzione presso l'Istituto di Elettrotecnica dell'Università di Bologna. Fu nominato assistente incaricato nel 1971 e ordinario nel 1972 presso la 1ª cattedra di Elettrotecnica della medesima Università, sotto la guida inizialmente del professor Stefano Basile e in seguito del professor Francesco Barozzi. Negli anni accademici 1974/75 e 1975/76 fu professore incaricato di Elettrotecnica industriale per il corso di laurea in Ingegneria Elettronica dell'Università di Ancona e dal 1976/77 al 1978/79 incaricato di Elettrotecnica II per il corso di laurea in Ingegneria Elettrotecnica dell'Università di Bologna. Svolse l'insegnamento di Elettrotecnica II per il corso di laurea in Ingegneria Elettronica della medesima Università come professore incaricato e poi di ruolo dal 1979/80 al 1982/83.

Numerosi sono stati i compiti istituzionali da lui svolti: direttore dell'Istituto di Elettrotecnica dell'Università di Bologna dal 1989 al 1995; direttore del nuovo Dipartimento di Ingegneria Elettrica (DIE) dell'Università di Bologna (nato dalla fusione degli Istituti di Elettrotecnica e di Elettrotecnica Industriale) dalla sua costituzione nel 1995 fino al 2001. Inoltre, ricoprì i seguenti incarichi: coordinatore del Dottorato di Ricerca in Ingegneria Elettrotecnica con sede amministrativa presso l'Università di Bologna (altre Università consorziate: Ancona e Firenze) dal 1988 al 1998; Presidente del corso di studio in Ingegneria Elettrica dell'Università

di Bologna per dieci anni nell'ultimo periodo della sua attività accademica, che si è conclusa nel 2015 con il collocamento in quiescenza.

La sua produzione scientifica è stata dedicata a molteplici settori dell'elettrotecnica e ha riguardato sia temi di base, soprattutto nel periodo iniziale della sua attività, sia temi specifici che risultavano progressivamente di interesse della comunità scientifica di riferimento.

La sua attività scientifica può essere inquadrata nei seguenti filoni di ricerca: celle a combustibile a idrogeno-ossigeno; rivisitazione di alcuni aspetti dell'elettromagnetismo; modellistica, stabilità e controllo in frequenza dei motori a induzione; metodi analitici e numerici di analisi e di sintesi di apparecchiature elettromagnetiche ed elettromeccaniche convenzionali e innovative; modellistica e analisi di circuiti elettrici con interruttori ideali; sistemi di condizionamento della potenza; analisi e progetto di componenti magnetici ad alta frequenza; compatibilità elettromagnetica; studio e caratterizzazione elettrica di sorgenti alternative di energia elettrica; trasmissione wireless di energia elettrica tramite array di risonatori accoppiati magneticamente.

### **Rinaldo Troili**

Il secondo insegnamento di elettrotecnica di base per gli allievi del corso di laurea in Ingegneria Elettrotecnica/Elettrica, cioè l'insegnamento di Elettrotecnica II con programma riguardante la teoria dei circuiti, fu assegnato dall'anno accademico 1979/80 a Rinaldo Troili.

Rinaldo Troili (Montefiascone, Viterbo, 1925 – Bologna, 1993) si era laureato in Ingegneria Civile presso l'Università di Bologna nel 1952. Trascorse un breve periodo come assistente volontario nell'Istituto di Costruzioni stradali e ferroviarie della medesima Università. In seguito passò all'Istituto di Elettrotecnica e delle Comunicazioni elettriche "G. Marconi" come assistente volontario di Elettrotecnica, assistente ordinario nel 1955 e aiuto nel 1971. Svolse, tra l'altro, come professore incaricato il corso di Calcolo delle macchine elettriche dall'anno accademico 1960/61 al 1971/72 e poi l'insegnamento di Elettrotecnica per gli allievi del corso di laurea in Ingegneria Civile.

Vincitore di concorso a cattedra, prese servizio nel 1976 come professore straordinario di Elettrotecnica presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Ancona, nella quale rimase fino al 1979 quando fu chiamato a coprire la cattedra di Elettrotecnica II nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, cattedra che mantenne dall'anno accademico 1979/80 fino alla sua scomparsa nel 1993.

Troili tenne con grande cura e passione il corso di Elettrotecnica II (che cambiò denominazione dapprima in Teoria dei circuiti e infine in Principi di ingegneria elettrica II), svolgendo la teoria classica dei circuiti elettrici lineari. Particolare attenzione rivolse ai sistemi monofase e trifase e ai loro aspetti energetici e applicativi, di grande importanza per gli ingegneri elettrotecnici/elettrici. Considerò pure lo studio dei sistemi trifase con il metodo delle sequenze e integrò la teoria con diversi esempi. Le sue lezioni sono raccolte nel testo *Elementi di teoria dei circuiti*, Pitagora Editrice, Bologna, 1992.

Il suo impegno e interesse per i problemi di organizzazione didattica e la sua capacità di comunicare con gli allievi gli valsero l'elezione a Presidente del corso di laurea in Ingegneria Elettrotecnica/Elettrica per il triennio 1990-1993.

Un'ulteriore conferma della passione di Troili per l'insegnamento è fornita dall'aver svolto per supplenza il corso di Elettrotecnica all'Università di Perugia, quando nell'anno accademico 1987/88 fu completata, dal biennio propedeutico preesistente, la Facoltà di Ingegneria; questa collaborazione durò due anni e fu molto apprezzata.

La sua produzione scientifica fu sempre orientata alla ricerca di una unità del sapere, pur partendo da argomenti molto lontani fra loro, che nel caso specifico riguardavano prevalentemente: lo studio teorico delle macchine elettriche, metodi generali per lo studio di sistemi fisici lineari di qualsiasi tipo (con particolare riferimento ai circuiti elettrici), questioni connesse con la progettazione effettiva di macchine e circuiti, macchine elettriche speciali, pile a combustibile e infine argomenti oltre i confini dello specifico elettrico.

Negli anni Ottanta divennero ordinari di Elettrotecnica anche Paolo Raffaele Ghigi e Francesco Negrini.

### **Paolo Raffaele Ghigi**

Paolo Raffaele Ghigi (Bologna, 1942) aveva conseguito la laurea in Ingegneria Elettronica presso l'Università di Bologna. È stato assistente incaricato nel 1968 e ordinario nel 1969 presso la 2ª cattedra di Elettrotecnica della stessa Università. Nell'anno accademico 1973/74 ebbe l'incarico dell'insegnamento di Complementi di elettrotecnica che conservò fino al 1976/77 quando nell'anno accademico successivo passò all'insegnamento di Elettrotecnica I (poi Elettrotecnica) per il corso di laurea in Ingegneria Elettronica. Continuò a svolgere tale insegnamento anche quando divenne professore straordinario di Elettrotecnica nel 1980 e ordinario nel 1983. Tenne per alcuni anni accademici (dal 1998/99 al 2000/01) l'insegnamento di Principi di ingegneria elettrica II per il corso di laurea quinquennale in Ingegneria Elettrica. All'inizio degli anni Duemila, quando fu istituita la II Facoltà di Ingegneria - Sede di Cesena, chiese di essere incardinato in tale Facoltà. Rimase in servizio fino all'anno 2008 in cui presentò domanda di essere collocato a riposo.

Ghigi ha scritto tre testi didattici che riportano le lezioni da lui svolte: *Lezioni di elettrotecnica - Campi elettromagnetici*, UTET, Torino, 1999; *Lezioni di elettrotecnica - Circuiti elettrici*, UTET, Torino, 1999; *Lezioni di elettrotecnica - Principi di macchine elettriche*, Esculapio, Bologna, 1996.

Nel testo *Lezioni di elettrotecnica - Campi elettromagnetici*, in pratica riedizione di un volume con lo stesso titolo edito da Esculapio nel 1992, Ghigi segue un approccio non usuale per studiare l'elettromagnetismo. Infatti, adotta la seguente sequenza di argomenti: grandezze ed equazioni fondamentali (definizione delle grandezze fondamentali, leggi ed equazioni fondamentali del campo elettromagnetico, equazioni di divergenza, equazioni dei materiali), equazioni dei potenziali elettromagnetici (equazioni delle onde, equazioni di diffusione, equazioni dei potenziali stazionari), teore-

mi fondamentali (teoremi di unicità, teoremi di sostituzione, teoremi di simmetria, relazione di Tellegen, relazioni di Green, relazioni di reciprocità), campi stazionari e quasi-stazionari, calcolo vettoriale.

In *Lezioni di elettrotecnica - Circuiti elettrici* è svolta la teoria classica dei circuiti elettrici lineari, dopo l'introduzione dei coefficienti di capacità, di induzione e di conduttanza.

Infine nel testo *Lezioni di elettrotecnica - Principi di macchine elettriche* un capitolo è dedicato alla conversione elettromeccanica dell'energia e la teoria delle macchine elettriche è descritta mediante equazioni interne ed equazioni esterne di collegamento.

La sua attività di ricerca ha riguardato principalmente i circuiti elettrici lineari e la teoria delle macchine asincrone.

Ghigi è stato direttore della Biblioteca centrale della Facoltà di Ingegneria "G.P. Dore" dal 1984 al 1990.

### **Francesco Negrini**

Francesco Negrini (Bologna, 1940 – Bologna, 2019) si era laureato in Ingegneria Nucleare presso l'Università di Bologna nel 1966. Dopo un'esperienza presso un'azienda industriale, nel 1967 entrò con borse di studio dell'ENEL e del Ministero della Pubblica Istruzione nell'Istituto di Elettrotecnica dell'Università di Bologna, dove ha svolto tutta la sua carriera accademica. Assistente ordinario presso la 1<sup>a</sup> cattedra di Elettrotecnica nel 1970, professore incaricato di Macchine e impianti elettrici dall'anno accademico 1975/76 (consequendovi la stabilizzazione nel 1979), professore associato di Elettrotecnica nel 1982, professore straordinario di Elettrotecnica, a seguito di concorso, nel 1986 e ordinario dopo il triennio.

Come professore di ruolo ha tenuto per titolarità l'insegnamento di Elettrotecnica per il corso di laurea in Ingegneria Nucleare divenuto corso di laurea in Ingegneria Energetica. Ha pure svolto l'insegnamento di Elettrotecnica per il corso di laurea in Ingegneria Gestionale.

La necessità di meglio caratterizzare l'insegnamento di Elettrotecnica riguardo ai contenuti qualificanti del corso di laurea in Ingegneria Nucleare/Energetica ha comportato il mantenimento della struttura classica dell'insegnamento (equazioni di Maxwell, teoria dei campi e teoria dei circuiti). La riduzione del numero di lezioni dedicate alle macchine elettriche e agli impianti elettrici ha consentito l'inserimento di nuovi capitoli riguardanti i principi di funzionamento, la tecnologia, l'economia e l'ottimizzazione dei sistemi elettrici di potenza, che faranno sempre più uso di fonti rinnovabili.

Diversi sono stati gli incarichi istituzionali ricoperti da Negrini: membro del Consiglio di Amministrazione dell'Ateneo di Bologna (1975-1977), coordinatore del Dottorato di Ricerca in Ingegneria Elettrotecnica dell'Università di Bologna per oltre un decennio prima del collocamento a riposo nel 2010, membro del Comitato di Consulenza per le Scienze di Ingegneria e Architettura del CNR (1981-1987) e per parecchi anni direttore della Scuola internazionale UNESCO sull'Ingegneria magnetofluidodinamica.

La sua attività di ricerca ha riguardato principalmente i seguenti temi: elettrodinamica dei sistemi continui, magnetofluidodinamica (MHD) applicata, superconduttività applicata, modellistica tramite l'approccio della teoria dei campi e dei circuiti, progettazione assistita al calcolatore di sistemi elettromagnetici, caratterizzazione elettromagnetica dei materiali ed energetica elettrica.

L'aspetto fondamentale che ha caratterizzato la sua attività è avere creato, sviluppato e organizzato nuove tematiche di ricerca afferenti al gruppo disciplinare dell'Elettrotecnica e avere indirizzato numerosi giovani alla ricerca. Particolare importanza rivestono le ricerche sulla magnetofluidodinamica applicata, di cui Negrini fondò nel 1977 il laboratorio di Ingegneria magnetofluidodinamica dell'Università di Bologna, e sulla superconduttività applicata, ricerche che hanno portato all'attivazione di corrispondenti insegnamenti.

Rilevanti sono state le attività di coordinamento della ricerca, a cui Negrini si è dedicato con vera passione. Si menzionano le più importanti: corresponsabile della direzione delle ricerche sulla Conversione diretta dell'energia per via magnetofluidodinamica presso il Laboratorio conversione diretta del CNEN (Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare) di Frascati (1973-1976); Presidente del Consorzio industriale italiano sulla MHD (1987-1999); Presidente nel 1999 di un Consorzio per coordinare le ricerche sulle applicazioni industriali della superconduttività; responsabile del progetto di ricerca sui combustibili fossili con conversione MHD, in collaborazione con il DOE (United States Department of Energy) dal 1987 al 1992. Altre attività di coordinamento: Vicepresidente del Comitato esecutivo del Board of Directors dell'UNESCO International Liaison Group on MHD Electrical Power Generation (1993-2002); coordinatore nazionale del sottoprogetto Magneti superconduttori nell'ambito del Progetto finalizzato CNR Tecnologie superconduttive e criogeniche (1989-1996). In questa veste Negrini ha coordinato il lavoro di molte decine di ricercatori in Italia, Stati Uniti, Russia, Cina e Giappone, ottenendo negli anni dal 1989 al 2000 risultati teorici e sperimentali di rilevanza internazionale, in particolare con la costruzione a Genova dell'innovativo "Magnete superconduttore MHD", destinato a essere installato su un bypass della centrale elettrica russa denominata U-25.

Inoltre, ha tenuto conferenze, seminari e invited Lectures presso Università ed Enti di ricerca pubblici e privati in Giappone, Stati Uniti, Russia, Cina ed Europa.

Per l'attività di ricerca svolta gli sono stati conferiti due prestigiosi premi internazionali: l'*ILG-MHD Faraday Prize* e lo *Special Award for Magnet Technology and Large Scale Superconductivity in Italy*.

### 2.7.3. Conclusioni

Alla fine del secolo scorso (1999) nasce il cosiddetto Processo di Bologna come accordo intergovernativo di collaborazione nel settore dell'istruzione superiore dell'Unione Europea. Sono introdotti l'European Credit Transfer and Accumulation System (ECTS) e l'articolazione del sistema universitario essenzialmente su tre cicli. In Italia

il primo ciclo di durata triennale è denominato “Laurea”, il secondo ciclo di durata biennale “Laurea Magistrale” e il terzo ciclo di durata minima triennale “Dottorato di Ricerca”. Nel nuovo ordinamento attuato dalla Facoltà di Ingegneria di Bologna l’insegnamento (di base) di Elettrotecnica è impartito nella Laurea dei diversi corsi di studio, con eccezione del corso di studio in Ingegneria Elettrica/dell’Energia Elettrica in cui sono presenti un secondo insegnamento di base nella Laurea e insegnamenti di approfondimento e specialistici nella Laurea Magistrale. Insegnamenti specialistici riguardanti l’area disciplinare dell’Elettrotecnica sono svolti anche nella Laurea Magistrale di alcuni altri corsi di studio.

Attualmente l’Elettrotecnica a Bologna fa riferimento a Carlo Angelo Borghi (Massa Lombarda, Ravenna, 1951), nominato professore straordinario di Elettrotecnica nel 2000 e ordinario nel 2003, e a Gabriele Grandi (Bologna, 1965), professore ordinario di Elettrotecnica dal 2016.

In particolare, Borghi ha aperto e sviluppa un nuovo filone di ricerca sull’Ingegneria dei plasmi (magnetofluidodinamica, elettrofluidodinamica e applicazioni biomedicali dei plasmi) che ha dato luogo a insegnamenti fin dal 1987. Grandi lavora su nuovi temi come i circuiti elettronici di potenza e la conversione fotovoltaica dell’energia elettrica, svolgendo i relativi insegnamenti.

Desidero terminare queste considerazioni, per le quali mi sono anche avvalso di informazioni contenute in diversi Annuari dell’Università di Bologna<sup>15</sup>, facendo presente che l’insegnamento e l’attività scientifica nel settore dell’Elettrotecnica sono stati possibili grazie all’indispensabile e prezioso contributo di tutti i professori incaricati e assistenti e di tutti i professori associati e ricercatori che si sono succeduti in questo lungo tempo che oltrepassa il secolo; ometto di elencarli per evitare involontarie dimenticanze. Tra questi, Carla Tassoni e Ivan Montanari sono divenuti professori ordinari di Elettrotecnica in altre università; Giorgio Maria Rancoita, Domenico Casadei e Fiorenzo Filippetti professori ordinari a Bologna di discipline affini (settore Macchine elettriche).

---

<sup>15</sup> Università di Bologna, *Annuari: R. Scuola d’Applicazione per gli Ingegneri in Bologna; R. Scuola d’Ingegneria in Bologna; R. Istituto Superiore d’Ingegneria in Bologna; R. Università di Bologna, Università di Bologna.*



## 2.8. L'INSEGNAMENTO DELL'ANALISI MATEMATICA NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DI BOLOGNA

*Enrico Obrecht*

In questa esposizione desidero ricordare i docenti e illustrare l'evoluzione dell'insegnamento dell'Analisi Matematica dall'istituzione della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna nel 1935 fino a oggi. Nell'esposizione risulterà naturale parlare brevemente anche dell'organizzazione dei corsi dei primi due anni e dell'evoluzione della numerosità degli studenti.

In questi 83 anni ho operato nella Facoltà (poi Scuola di Ingegneria e Architettura) per ben 44 anni, prima come assistente ordinario, poi anche come professore incaricato, quindi come professore straordinario e infine per 35 anni come professore ordinario.

È senz'altro opportuno suddividere il periodo considerato in cinque parti, tenendo conto delle profonde variazioni intercorse nell'organizzazione dell'insegnamento agli allievi ingegneri:

1. dal 1935 al 1960;
2. dal 1960 al 2001;
3. dal 2001 al 2007;
4. dal 2007 al 2015;
5. dal 2015 a oggi.

### 2.8.1. Dal 1935 al 1960

In questo periodo la Facoltà di Ingegneria operava solamente su 3 anni, perché gli studenti dopo la maturità dovevano iscriversi al Biennio Propedeutico di Ingegneria, che era inserito nella Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. I Corsi di Laurea di Ingegneria erano solo due: Ingegneria Civile e Ingegneria Industriale. L'ordinamento del Biennio Propedeutico nel 1935 era il seguente.

<i>I anno</i>	<i>II anno</i>
Analisi Matematica, parte I Esercitazioni di Analisi Infinitesimale	Analisi Matematica, parte II Esercitazioni di Analisi Matematica
Geometria Analitica Esercitazioni di Geometria Analitica	Geometria Proiettiva e Descrittiva Esercitazioni di Geometria Proiettiva e Descrittiva Disegno di Geometria Proiettiva e Descrittiva
Fisica Sperimentale (biennale)	Fisica Sperimentale (biennale) Esercizi di laboratorio
Chimica Generale e Inorganica Elementi di Chimica Organica	Meccanica Razionale con elementi di Statica Grafica Esercitazioni di Meccanica Razionale e Disegno di Statica Grafica
Disegno (biennale)	Disegno (biennale) Esercitazioni tecniche di Disegno Assonometrico
	Mineralogia e Geologia

A partire dal 1936 fu inserito in tutti i Corsi di Laurea dell'Ateneo al primo e al secondo anno l'insegnamento di Cultura Militare.

Quasi tutti i corsi, e fra questi quelli di Analisi Matematica, erano in comune con i Corsi di Laurea in Scienze Matematiche, Fisica, Matematica e Fisica, Chimica e Chimica Industriale.

Per l'accesso alla Facoltà di Ingegneria gli studenti dovevano superare gli esami in tutte le discipline del biennio propedeutico. Alcune materie, come la Fisica Sperimentale, richiedevano il superamento di un unico esame alla fine del biennio, mentre per l'Analisi erano sempre previsti due esami distinti.

L'unico professore di Analisi Matematica era Beppo Levi, che teneva entrambi i corsi. Beppo Levi è stato un grande matematico, i cui pregevoli risultati hanno portato a sviluppi significativi in geometria algebrica, in analisi matematica (in particolare nelle equazioni a derivate parziali e nella teoria delle funzioni) e in logica matematica; tutti gli studenti di Matematica lo ricordano per il teorema a suo nome che stabilisce che si può passare al limite sotto al segno di integrale (di Lebesgue) se la successione di funzioni considerata è crescente.

Nel 1936 fu chiamato a coprire una seconda cattedra di Analisi Luigi Fantappiè, che però era comandato presso l'Università di San Paolo del Brasile e di fatto non insegnò mai a Bologna.

A titolo di esempio riportiamo i programmi svolti da Beppo Levi nell'A.A. 1936/37.

*Analisi Matematica, parte I*

Funzioni razionali intere: sviluppo del prodotto  $(x - a_1)(x - a_2) \dots (x - a_n)$ .

Teorema di identità. Interpolazione. Formole di Newton e di Leibniz e proprietà dei coefficienti binomiali. Funzioni simmetriche.

Complessi, determinanti, sistemi di equazioni lineari; definizione e proprietà dei determinanti. Regola di Cramer. Sistemi di equazioni lineari omogenei e non omogenei. Prodotti di matrici. Sostituzioni lineari.

Spazii ad  $n$  dimensioni, vettori (Operazioni su complessi. Vettori ed operazioni su di essi. Quaternioni. Numeri complessi ordinari). Numeri complessi ordinari e loro applicazione allo studio delle applicazioni goniometriche.

Continuità (Aggregati. Scala lineare. Postulato di Dedekind. Funzioni continue).

Particolarità relative al dominio reale (Limite superiore e inferiore. Massimo e minimo limite. Funzioni elementari reali. Metodi elementari per la determinazione di zeri di una funzione continua reale).

Serie di potenze (Nozioni elementari sulle serie. Teorema di Cauchy-Hadamard. Funzione esponenziale, logaritmo, potenza di esponente qualunque).

Derivate (Derivate di funzioni elementari. Derivazione di una serie di potenze. Regole di derivazione. Derivate successive. Formola di Taylor. Prima regola di De l'Hospital. Infiniti e infinitesimi. Nel campo reale: il segno della derivata. Teoremi di Rolle, del valor medio, di Darboux, di Cauchy. Seconda regola di De l'Hospital e applicazioni). Teorema fondamentale dell'algebra (Equazioni binomie. Equazione cubica. Regola di Cartesio).

Prime nozioni sugli integrali come funzioni primitive (Regole di integrazione. Integrazione delle funzioni razionali).

*Analisi Matematica, parte II*

Integrali in quanto funzioni primitive (Integrazione di differenziali riduttibili alle funzioni razionali. Differenziali binomi. Integrazione delle serie di potenze. Formola e serie di Taylor e di MacLaurin. Resto. Applicazione ad alcuni importanti sviluppi in serie).

Integrale come limite di somme (Integrazione approssimata, grafica e meccanica. Integrale di Lebesgue e di Riemann. Integrabilità riemanniana delle funzioni continue e delle funzioni monotone. Integrali generalizzati. Permutabilità delle operazioni di integrale e di limite: integrazione e derivazione delle serie, derivazione sotto al segno di integrale. Integrali multipli).

Applicazioni varie (Metodo di Newton per l'approssimazione delle radici di un'equazione. Zeri semplici e multipli. Teorema di Budan-Fourier. Ricerca di massimi e minimi. Resto nelle formole di interpolazione. Formole di quadratura. Criteri di convergenza per le serie a termini positivi e a termini reali. Cenno alle serie di Fourier). Equazioni differenziali ordinarie (Integrazione grafica. Separazione delle variabili. Equazioni che si possono abbassare di ordine. Equazioni lineari. Equazioni lineari a coefficienti costanti. Integrazione per serie).

Funzioni di più variabili (Derivate parziali. Permutabilità delle derivazioni. Differenziali totali: differenziali esatti. Integrazione lungo una linea. Formola degli incrementi finiti. Derivazione delle funzioni composte. Derivazione di un integrale rispetto a un parametro. Teorema di Eulero sulle funzioni omogenee. Funzioni implicite. Massimi e minimi. Formola di Taylor. Equazioni alle derivate parziali. Equazioni del primo ordine lineari. Cenno sopra le equazioni ai differenziali totali).

Applicazioni geometriche (Varietà e varietà lineari tangenti. Lunghezza d'arco. Formola di Frénet. Area di una superficie. Famiglie di varietà: involuppi).

Gli studenti iscritti non erano numerosi: le matricole iscritte al Biennio Propedeutico nell'A.A. 1936/67 erano 82, cui si aggiungevano 33 di Matematica e Fisica e appena 2 di Scienze Matematiche e 1 di Fisica.

Nel successivo anno 1937/38 alle Esercitazioni di Analisi Matematica si affiancarono, solo per gli allievi ingegneri, le Esercitazioni di Calcolo Numerico, affidate a Giuseppe Evangelisti, allora assistente di Costruzioni Idrauliche e Libero Docente di Idraulica.

Nel 1938 le vergognose leggi razziali privarono l'Alma Mater di numerosi docenti. Riporto con amarezza lo squallido annuncio fatto dal Rettore Alessandro Ghigi in occasione dell'inaugurazione dell'anno accademico: «I recentissimi provvedimenti a tutela della razza rendono vacanti 11 cattedre, alle quali sarà provveduto entro breve termine».

Queste leggi privarono di fatto l'Istituto Matematico di tutti i professori ordinari; infatti, oltre agli epurati Beppo Levi e Beniamino Segre (di Geometria Analitica con elementi di Proiettiva e Geometria Descrittiva con Disegno), si aggiungeva la perdurante assenza di Fantappiè e la scomparsa di Pietro Burgatti (di Meccanica Razionale con elementi di Statica Grafica e Disegno).

Alle necessità dell'insegnamento dell'Analisi Matematica si provvide affidando la prima parte a Giuseppe Scorza, ordinario a Padova, e la seconda parte ad Antonio

Mambriani, libero docente di Analisi Infinitesimale e assistente di Meccanica Razionale. Le Esercitazioni di calcolo numerico cessarono dopo solo un anno.

Nel successivo anno 1939 fu chiamato a ricoprire la cattedra di Analisi Matematica Gianfranco Cimmino, che era stato allievo di Mauro Picone; fu un eminente studioso di equazioni a derivate parziali e di calcolo numerico. Il suo ruolo nella formazione degli ingegneri bolognesi fu notevole, perché insegnò a Ingegneria fino al 1974. Contemporaneamente Fantappiè fu trasferito all'Istituto Nazionale di Alta Matematica, lasciando così libera la cattedra che, di fatto, non aveva mai occupato. Cimmino tenne nell'A.A. 1939/40 il primo corso, mentre il secondo fu affidato a Francesco Zagar, ordinario di Astronomia.

Nell'ultimo anno prima della Seconda guerra mondiale il numero degli immatricolati era considerevolmente cresciuto: 185 al Biennio Propedeutico e 76 a Matematica e Fisica; solamente 2 a Scienze Matematiche e 6 a Fisica.

Nel periodo bellico Zagar continuò a tenere il secondo corso, mentre il primo fu affidato dapprima all'incaricato esterno Lamberto Cesari poi a Filippo Sibirani, ordinario di Matematica Finanziaria e Attuariale.

Inoltre la Facoltà di Ingegneria si arricchì di altri due Corsi di Laurea, in Ingegneria Chimica e in Ingegneria Mineraria.

Nel dopoguerra gli studenti di Chimica e di Chimica Industriale ebbero corsi di matematica specifici, mentre a matematici, fisici e ingegneri continuarono a essere somministrati corsi comuni.

Nel 1947 fu chiamato a ricoprire una cattedra di Analisi Lamberto Cesari, che affiancò Cimmino nell'insegnamento dei corsi di Analisi.

È interessante seguire l'evoluzione degli iscritti nel primissimo dopoguerra: l'Annuario fornisce, per l'A.A. 1947/48, solo il numero complessivo di iscritti in corso e fuori corso di ciascun Corso di Laurea. I numeri sono i seguenti:

<i>Biennio Propedeutico</i>	484 in corso (tutti maschi!) e 10 fuori corso
<i>Scienze Matematiche</i>	34 in corso e 71 fuori corso
<i>Fisica</i>	18 in corso e 39 fuori corso
<i>Matematica e Fisica</i>	127 in corso e 101 fuori corso

I Corsi di Laurea (triennali) in Ingegneria vedevano i seguenti numeri complessivi di iscritti:

<i>Ingegneria Civile</i>	464 in corso e 402 fuori corso
<i>Ingegneria Industriale</i>	738 in corso e 538 fuori corso
<i>Ingegneria Chimica</i>	58 in corso e 39 fuori corso
<i>Ingegneria Mineraria</i>	49 in corso e 36 fuori corso

Nel 1950 Cesari si trasferì negli Stati Uniti (però conservando la cattedra a Bologna); il corso fu terminato da Vittorio Emanuele Bononcini, assistente di Analisi Matematica. A partire dall'A.A. 1951/52 e fino al 1958 Antonio Pignedoli, Ordinario di Meccanica Superiore, affiancò Cimmino nell'insegnamento dell'Analisi.

Nel frattempo la Facoltà di Ingegneria aveva attivato un corso di Complementi di Matematica, che fu tenuto dal 1949 al 1951 da Giuseppe Evangelisti e Giulio Supino, ordinari di Costruzioni Idrauliche e di Idraulica, rispettivamente, e negli anni successivi fino al 1958 da Bruno Poggi, allora aiuto di Costruzioni Idrauliche. Il corso trattava le forme quadratiche, le equazioni algebriche di terzo e quarto grado, la separazione delle radici di un'equazione algebrica, la trasformata di Laplace, le equazioni e i sistemi differenziali lineari a coefficienti costanti, argomenti di meccanica analitica, sulle oscillazioni e sulla stabilità di equazioni differenziali ordinarie.

Nel 1958 Cesari si dimetteva da professore a Bologna e la sua cattedra poteva infine essere ricoperta. Venne chiamato Bruno Pini, studioso di grande valore di equazioni alle derivate parziali, che era stato allievo di Cimmino; Pini creò a Bologna una folta scuola di analisti. Nel 1958/59 Pini tenne il primo corso di Analisi.

Il numero degli studenti all'inizio del loro percorso universitario era cresciuto in modo considerevole, come mostrano i dati seguenti, relativi all'A.A. 1959/60; anche questi dati forniscono il numero complessivo di studenti iscritti a un Corso di Laurea, in corso e fuori corso.

<i>Biennio Propedeutico</i>	687 in corso (di cui 3 femmine) e 361 fuori corso
<i>Scienze Matematiche</i>	50 in corso e 30 fuori corso
<i>Fisica</i>	226 in corso e 21 fuori corso
<i>Matematica e Fisica</i>	185 in corso e 94 fuori corso

I Corsi di Laurea (triennali) in Ingegneria vedevano i seguenti numeri complessivi di iscritti:

<i>Ingegneria Civile</i>	129 in corso (fra cui 3 femmine) e 63 fuori corso
<i>Ingegneria Industriale</i>	519 in corso (fra cui 1 femmina) e 285 fuori corso
<i>Ingegneria Chimica</i>	127 in corso (e nessuna femmina) e 93 fuori corso
<i>Ingegneria Mineraria</i>	60 in corso (e nessuna femmina) e 34 fuori corso

L'aumento del numero degli studenti portò nell'A.A. 1959/60 allo sdoppiamento del primo corso di Analisi: il corso per il Biennio Propedeutico di Ingegneria fu affidato a Lamberto Cattabriga, allora assistente volontario di Analisi Superiore e libero docente di Analisi Matematica (algebrica e infinitesimale), mentre Cimmino conservava il corso per matematici e fisici. Il secondo corso fu tenuto da Pini. A testimonianza dei contenuti di quei corsi riporto i programmi svolti da Cimmino negli A.A. 1956/57 e 1957/58.

*Analisi Matematica (algebrica e infinitesimale) – I corso*

Nozioni sui numeri e gli insiemi; numeri razionali, numeri reali e complessi e loro rappresentazioni, potenze e logaritmi nel campo reale, spazio, insiemi di punti e prime proposizioni fondamentali relative ad essi.

Successioni di numeri reali o complessi; estremi, limite, minimo e massimo limite, operazioni razionali sulle successioni, successioni di potenze e di logaritmi, limiti di

forma indeterminata, serie, criteri di convergenza, convergenza semplice e assoluta, prodotti di due serie, successioni [NdR: presumibilmente serie] di numeri complessi e cenni sulle serie di potenze.

Funzioni di una o più variabili: funzioni reali di punto, funzioni elementari, estremi, limite, minimo e massimo limite per le funzioni reali, teoria dei limiti, infinitesimi e infiniti, funzioni continue e teoremi fondamentali ad esse relativi, convergenza uniforme e sue principali proprietà, cenni sulle funzioni complesse.

Calcolo differenziale: derivate e differenziali per le funzioni di una o più variabili, regole di derivazione, derivazione delle funzioni elementari, teoremi fondamentali sulle funzioni derivabili di una o più variabili, derivate e differenziali di ordine superiore, limiti in forma indeterminata, formule di Taylor e formule interpolatorie, serie di Taylor, funzione esponenziale e funzioni trigonometriche nel campo complesso, massimi e minimi per le funzioni di una variabile.

Analisi algebrica: calcolo combinatorio e prime applicazioni di esso, espressioni razionali intere e fratte, determinanti, sistemi di equazioni lineari, formula di Taylor e interpolazione, teoria della divisibilità per i polinomi di una variabile, scomposizioni canoniche delle funzioni razionali intere e fratte di una variabile.

*Analisi Matematica (algebraica e infinitesimale) – II corso*

Analisi algebrica: forme quadratiche, nozioni fondamentali sulle equazioni algebriche, cenni sulla risoluzione approssimata. Calcolo differenziale: funzioni implicite, massimi e minimi liberi e vincolati per le funzioni di più variabili.

Calcolo integrale: funzione primitiva, integrale definito e indefinito, condizioni di integrabilità, proprietà fondamentali dell'integrale, cambiamento della variabile di integrazione e integrazione per parti, funzioni dotate di primitive esprimibili in termini finiti mediante le funzioni elementari, metodi di calcolo approssimato degli integrali, integrali generalizzati, misura degli insiemi, integrali multipli, integrali estesi a insiemi misurabili, integrali multipli generalizzati, formule di riduzione degli integrali multipli. Applicazioni del calcolo differenziale e integrale: nozioni fondamentali metriche sulle curve e le superficie, rettificazione delle curve e quadratura delle superficie, coordinate curvilinee nel piano e nello spazio, corrispondenze fra insiemi superficiali e spaziali, integrali curvilinei e superficiali, formule di Gauss, Green e Stokes per gli integrali doppi e tripli, integrazione delle forme differenziali lineari, cenni sulle funzioni di variabile complessa e sulle serie di Fourier trigonometriche.

Prime nozioni sulle equazioni differenziali: condizioni iniziali, esistenza e unicità degli integrali, integrale generale, equazioni lineari, caso particolare dei coefficienti costanti, classi particolari di equazioni integrabili per quadrature.

Dal 1959 il corso di Complementi di Matematiche venne tenuto per incarico da Enrico Marchi, allora aiuto di Idraulica.

### 2.8.2. Dal 1960 al 2001

Nell'A.A. 1960/61 entrò in vigore la riforma delle Facoltà di Ingegneria che le trasformò profondamente, rendendo quinquennali i Corsi di Laurea e abolendo il

Biennio Propedeutico come attività inserita nelle Facoltà di Scienze; inoltre vennero previsti nuovi Corsi di Laurea. A Bologna i Corsi di Laurea attivati furono quelli in Ingegneria Civile (suddiviso al quinto anno nelle Sezioni Edile, Idraulica e Trasporti), in Ingegneria Meccanica, in Ingegneria Elettrotecnica, in Ingegneria Chimica, in Ingegneria Mineraria, in Ingegneria Elettronica e in Ingegneria Nucleare.

Il decreto stabiliva che i corsi dei primi due anni dovevano essere separati da quelli per gli studenti della Facoltà di Scienze, ma dovevano essere impartiti da professori della Facoltà di Scienze, a meno che la Facoltà di Ingegneria non destinasse a essi cattedre oppure bandisse incarichi di insegnamento.

Tutti i Corsi di Laurea avevano gli stessi insegnamenti al I anno e 4 insegnamenti comuni al secondo, come indicato nella tabella seguente:

<i>I anno</i>	<i>II anno</i>
Analisi Matematica I	Analisi Matematica II
Geometria I	Meccanica Razionale
Fisica I	Fisica II
Chimica	Geometria II
Disegno	

Il decreto precisava però che il corso di Geometria II poteva essere sostituito da altro insegnamento compreso in un elenco contenuto nel decreto medesimo; inoltre era possibile anticipare al II anno uno o due insegnamenti del triennio. La Facoltà di Bologna rese semestrale il corso di Geometria II e aggiunse Disegno II in ciascun Corso di Laurea e, talora, un'ulteriore materia specifica. Solo per il CdL in Ingegneria Nucleare non era previsto il secondo corso di Geometria, mentre i CdL in Ingegneria Elettrotecnica e in Ingegneria Elettronica prevedevano al terzo anno l'insegnamento di Complementi di Matematiche. Dopo alcuni anni il corso di Geometria II venne tolto da tutti i Corsi di Studio e venne inserito il corso di Complementi di Matematiche anche per Ingegneria Chimica.

Il decreto stabiliva anche delle limitazioni per l'iscrizione ad anni successivi: potevano iscriversi al II anno solo gli studenti che avessero superato almeno due fra gli esami di Analisi, Fisica, Geometria e Chimica e potevano iscriversi al III anno solo gli studenti che avessero superato tutti gli esami obbligatori, eccezion fatta per gli insegnamenti aggiuntivi (questo era il famoso blocco del biennio, che alcuni colleghi ritenevano fosse ancora in vigore negli anni Novanta!).

Nell'A.A. 1960/61 il primo corso di Analisi venne tenuto da Cimmino come compito istituzionale e il secondo da Cattabriga per incarico. Nei due successivi anni accademici i corsi furono tenuti da Cimmino come compito istituzionale e da Fabio Manaresi, assistente di Analisi Matematica nella Facoltà di Scienze, per incarico.

Nel 1963 la Facoltà di Scienze chiamò un terzo professore di Analisi Matematica, Mauro Pagni; questo consentì di sdoppiare il corso di Analisi I tra Pagni e Manaresi,

mentre Cimmino teneva il secondo corso per tutti gli studenti. La presenza di Pagni nell'Istituto Matematico, che diresse per molti anni, e nella Facoltà di Ingegneria fu di indubbio rilievo fino alla sua improvvisa scomparsa nel 1979.

Il corso di Complementi di Matematiche fu tenuto per incarico da Gian Antonio Pezzoli, allora assistente e libero docente di Idraulica.

Nei tre anni accademici successivi fu sdoppiato anche il secondo corso di Analisi: i corsi venivano tenuti l'uno da Cimmino e Manaresi e l'altro da Pagni e Angelo Malferrari, anch'egli assistente di Analisi nella Facoltà di Scienze. La suddivisione avveniva ripartendo gli studenti per iniziale del cognome.

A partire dal 1965 il corso di Complementi di Matematiche fu tenuto per incarico da Pietro Guerrini, allora aiuto di Costruzioni Idrauliche.

Nel 1967 il corso di Analisi I venne ulteriormente suddiviso, affidandone una parte a Galardo Fanti, assistente di Analisi nella Facoltà di Scienze.

Gli iscritti complessivi ai vari Corsi di Laurea nel 1967/68 erano i seguenti:

<i>Ingegneria Chimica</i>	250 (di cui 1 femmina) e 188 Fuori Corso
<i>Ingegneria Civile</i>	718 (di cui 8 femmine) e 358 Fuori Corso
<i>Ingegneria Elettrica</i>	371 (di cui 1 femmina) e 245 Fuori Corso
<i>Ingegneria Chimica</i>	250 (di cui 1 femmina) e 188 Fuori Corso
<i>Ingegneria Elettronica</i>	709 (di cui 3 femmine) e 478 Fuori Corso
<i>Ingegneria Mineraria</i>	55 (di cui nessuna femmina) e 43 Fuori Corso

A partire dal 1969 il corso di Complementi di Matematiche fu tenuto per incarico da Gian Battista Scarpi, allora aiuto e libero docente di Idraulica. Il programma fu modificato, comprendendo, accanto alle funzioni analitiche e alla trasformata di Laplace, anche questioni relative alle equazioni alle derivate parziali e alle funzioni di Bessel.

Nel frattempo la Facoltà di Ingegneria cominciò a bandire concorsi per assistenti di discipline matematiche; per l'Analisi il primo vincitore fu Luigi Cerofolini, purtroppo prematuramente scomparso, cui seguì dal 1971 Paolo Muratori.

Nel 1970 il corso di Complementi di Matematiche fu sdoppiato: Scarpi continuò a tenere quello per Chimici ed Elettrotecnici, mentre Franca Tesi, allora assistente di Analisi Statistica, tenne quello per Elettronici, dedicato oltre che alle funzioni analitiche e alle equazioni a derivate parziali, anche alle serie e alla trasformata di Fourier e ad argomenti di calcolo numerico.

A partire dal 1972, entrambi i corsi di Analisi vennero suddivisi in tre parti, poiché a Cimmino e Manaresi si affiancò Luigi Pezzoli, allora assistente di Algebra nella Facoltà di Scienze. Dal 1973/74 vennero tenuti quattro corsi sia del primo sia del secondo corso, in quanto si aggiunsero come incaricati Cerofolini e Pier Luigi Papini, allora assistente di Analisi nella Facoltà di Scienze. Inoltre, a partire da questo anno, gli studenti furono suddivisi in base al Corso di Laurea di iscrizione.

Nel 1974 la Facoltà destinò delle cattedre alle discipline matematiche e contemporaneamente fu bandito un concorso per assistente ordinario di Analisi, che, gra-



zie a una leggina favorevole, consentì di reclutare ben tre nuovi assistenti: Costante Pontini, Carlo Ravaglia ed Enrico Obrecht. Cimmino e Pagni, che avevano insegnato a Ingegneria come proprio compito istituzionale, rientrarono, anche per la didattica, nella Facoltà di Scienze e nell'anno di transizione 1974/75 i corsi furono tenuti come incaricati, oltre che da Cerofolini, Fanti, Malferrari, Manaresi, Papini e Pezzoli, anche da Pontini e dall'incaricato esterno Viglino.

Nel 1975 presero servizio come professori straordinari i vincitori di concorso Antonio Ambrosetti ed Ermanno Lanconelli; gli altri corsi vennero tenuti per incarico dai già citati Fanti, Malferrari, Manaresi, Pezzoli, Ravaglia e Viglino. Nell'anno successivo Obrecht subentrò a Viglino.

I corsi di Complementi di Matematiche furono tenuti per gli Elettrotecnici dall'incaricato esterno Flavio Bonfatti, per gli Elettronici da Tesi e da Francesco Mainardi, allora assistente di Geodesia, per i Nucleari da Vinicio Boffi, allora professore straordinario di Fisica del Reattore Nucleare.

I corsi universitari venivano svolti durante l'intero anno accademico, da ottobre a maggio. A partire dal 1976 nel Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica vennero attivati corsi intensivi, suddivisi in 2 cicli, mentre negli altri bienni proseguì l'insegnamento "estensivo".

All'inizio del 1977 i docenti di discipline matematiche impegnati nella Facoltà di Ingegneria erano diventati abbastanza numerosi; infatti vi erano i professori ordinari e straordinari Ambrosetti (di Analisi), Cavaliere D'Oro (di Geometria), Abbati Marescotti e Caprioli (di Meccanica Razionale), gli assistenti Cerofolini, Muratori, Obrecht, Pontini, Ravaglia (di Analisi), Molinari (di Geometria), Ballardini e Ruggeri (di Meccanica Razionale). Inoltre insegnavano come professori incaricati interni Fanti, Malferrari, Manaresi, Pezzoli (di Analisi), Tinaglia e Verardi (di Geometria) e gli incaricati esterni Matteuzzi (di Geometria) e Tebaldi (di Meccanica razionale). Questo fatto suggerì di creare un Istituto che li comprendesse, che venne chiamato Istituto di Matematica Applicata. È opportuno ricordare che, prima dell'entrata in vigore del D.P.R. 382/1980, gli Istituti erano organi subordinati a una Facoltà e non erano indipendenti da essa.

Nel 1977 venne chiamato come professore ordinario di Complementi di Matematiche Giulio Cesare Barozzi, che sostituì Mainardi nell'insegnamento, e che divenne il Direttore dell'Istituto di Matematica Applicata. Nello stesso tempo Ambrosetti e Lanconelli si trasferirono e furono sostituiti nell'insegnamento da Cerofolini, per un solo anno da Giovanni Mancini, assistente nella Facoltà di Scienze, e dall'incaricato esterno Corrado Corradi.

Nel 1978 fu chiamato dall'Università di Salerno un altro professore ordinario, Silvano Matarasso; il numero dei corsi rimase invariato, per la prematura scomparsa di Fabio Manaresi. Il corso di Complementi di Matematiche per Nucleari passò a Giampiero Spiga, allora assistente di Fisica del Reattore Nucleare.

Nel 1979 Bianca Rosa Bellomo, allora assistente di Analisi nella Facoltà di Scienze, subentrò nell'incarico a Corradi. Tutti i corsi di Complementi di Matematiche per studenti non elettronici furono trasformati in corsi di altro settore.

Negli anni successivi il numero dei corsi impartiti rimase stabile: furono chiamati come professori straordinari nel 1980 Obrecht, come vincitore di concorso, e nel 1982 Papini, dall'Università della Calabria; Cerofolini diventò professore associato nel 1982. La chiamata di Papini permise di sostituire Pezzoli, diventato nel frattempo associato di Geometria.

Nel 1983 l'applicazione del D.P.R. 382/1980 portò all'istituzione di numerosi Dipartimenti, che divennero organi "paralleli" e non più subordinati a una Facoltà. Fu così costituito il Dipartimento di Matematica, che riunì gli appartenenti all'Istituto di Matematica Applicata della Facoltà di Ingegneria e quelli dell'Istituto Matematico "Salvatore Pincherle" e quelli dell'Istituto di Geometria "Luigi Cremona" della Facoltà di Scienze.

Nel 1985 cessarono dall'incarico Bellomo e Fanti; furono chiamati come professori associati Carlo Ravaglia, Giovanni Dore e Franco Nardini, che avevano ottenuto in quell'anno l'idoneità; in tal modo si poté mantenere lo stesso numero di corsi.

Riportiamo il numero delle matricole nell'A.A. 1984/85, suddiviso per Corso di Laurea:

<i>Ingegneria chimica</i>	19 (di cui 3 femmine)
<i>Ingegneria civile</i>	214 (di cui 1 femmina)
<i>Ingegneria elettrica</i>	38 (nessuna femmina)
<i>Ingegneria elettronica</i>	592 (di cui 54 femmine)
<i>Ingegneria meccanica</i>	166 (di cui 1 femmina)
<i>Ingegneria nucleare</i>	40 (di cui 26 femmine)

Nel 1986 fu chiamato come nuovo professore ordinario Giovanni Mancini dall'Università di Trieste. Poiché Tesi divenne associata in altro settore, Matarasso tenne per supplenza uno dei due corsi di Complementi di Matematiche.

Nel 1987 la Facoltà bandì un concorso a due posti nel ruolo creato da poco di ricercatore: risultarono vincitori Enrico Bernardi e Davide Guidetti.

Nel 1988 furono chiamati, a seguito di concorso, come professori associati Nicola Garofalo e Fausto Segàla, che coprirono, negli anni successivi anche uno dei corsi di Complementi di Matematiche. Nel 1990 diventò ricercatrice Giovanna Citti e Garofalo fu chiamato da altra Università.

Nel 1989 fu emanata la riforma nazionale delle Facoltà di Ingegneria, che introdusse numerosi nuovi Corsi di Laurea, ne raggruppò la gran parte in tre settori (Civile, dell'Informazione, Industriale), lasciando come intersettoriali i nuovi Corsi di Studio in Ingegneria Gestionale e in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio; la riorganizzazione prevedeva la cessazione del Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria, i cui contenuti potevano essere recuperati in alcuni indirizzi di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio. Inoltre, il nuovo decreto rese meno stringenti gli ordinamenti su base nazionale, lasciando alle Facoltà una maggiore libertà di programmazione didattica. Le indicazioni nazionali si limitavano solamente a indicare l'obbligo di impartire insegnamenti in certi raggruppamenti

disciplinari, lasciando alle Facoltà la scelta delle materie in un ventaglio di denominazioni interne a questi gruppi. In sostituzione delle denominazioni vincolanti della precedente normativa, veniva fissato per tutti i Corsi di Laurea l'obbligo di 4 annualità nei settori della Matematica e della Statistica, 2 nei settori della Fisica, 1 nella Chimica, 1 nell'Informatica e 1 nell'Economia o Estimo. Venivano poi indicati i raggruppamenti disciplinari obbligatori per ciascuno dei tre settori e quelli obbligatori per i singoli Corsi di Laurea. Accanto alle materie da scegliere obbligatoriamente in uno o più settori scientifici, le Facoltà erano libere nello stabilire ulteriori corsi (obbligatori o a scelta) fino a un numero complessivo compreso fra 27 e 29. I corsi annuali dovevano prevedere un numero di ore, fra lezioni ed esercitazioni, compreso fra 80 e 120 ore. Venivano inoltre abrogati i vincoli nazionali precedentemente richiesti per l'iscrizione ad anni successivi.

La riforma fu applicata dalla Facoltà di Bologna nel 1991, istituendo i Corsi di Laurea in Ingegneria Chimica, Civile, Elettrotecnica, Elettronica, Meccanica, Nucleare, per l'Ambiente e il Territorio. Gli insegnamenti di Matematica del primo biennio rimasero gli stessi, mentre il nome del corso di Geometria fu mutato in Geometria e Algebra e quello di Complementi di Matematiche in Analisi Matematica III. La Facoltà inserì nel Regolamento di Facoltà dei vincoli per l'iscrizione ad anni successivi e precisamente:

- a) Per l'iscrizione al II anno, aver superato almeno 2 esami;
- b) Per l'iscrizione al III anno, aver superato tutti gli esami del I anno;
- c) Per l'iscrizione al IV anno, aver superato tutti gli esami del I e del II anno;
- d) Per l'iscrizione al V anno, aver superato tutti gli esami del I e del II anno e almeno 6 annualità previste al III o al IV anno.

Inoltre tutti i corsi dei primi due anni divennero intensivi, organizzati in due cicli.

Riportiamo il numero delle matricole nell'A.A. 1990/91, suddiviso per Corso di Laurea:

<i>Ingegneria chimica</i>	123 (di cui 37 femmine)
<i>Ingegneria civile</i>	313 (di cui 54 femmine)
<i>Ingegneria elettrica</i>	86 (di cui 3 femmine)
<i>Ingegneria elettronica</i>	878 (di cui 73 femmine)
<i>Ingegneria meccanica</i>	341 (di cui 12 femmine)
<i>Ingegneria nucleare</i>	30 (di cui 7 femmine)

Nel 1991 Bernardi fu assegnato all'Università di Perugia e venne chiamato come professore associato Marco Longinetti. Le esigenze didattiche imposero di affidare ad alcuni professori un secondo corso, evento che si ripeterà quasi ogni anno nel seguito; anche a Pontini fu affidato un corso.

Nel 1992 Segala si trasferì ad altra Università; furono assunti come ricercatori Simonetta Abenda e Marco Brunella, purtroppo tragicamente scomparso alcuni anni fa. Nello stesso anno decedeva Cerofolini.

Nel 1993 la Facoltà decise di aumentare la propria offerta didattica, attivando nuovi Corsi di Laurea in Ingegneria Edile, in Ingegneria Informatica, in Ingegneria delle Telecomunicazioni e (solo dal III anno) in Ingegneria Gestionale.

Nel 1994 venne attivato anche il I anno del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale a Reggio Emilia, dove il corso di Analisi I fu impartito da Bruno Franchi, Ordinario nella Facoltà di Scienze.

Nel 1994 venne emanata la normativa nazionale relativa ai diplomi in Ingegneria, di durata triennale e a numero programmato. L'ordinamento nazionale aveva la stessa struttura di quello per i Corsi di Laurea, ma le prescrizioni, anziché in termini di corsi annuali, venivano stabilite in termini di moduli, ciascuno comprendente attività assistita per almeno 50 ore. Le attività obbligatorie di Matematica e Statistica erano per tutti i Corsi di Diploma di 4 moduli.

La Facoltà attivò nello stesso anno i Corsi di Diploma in Ingegneria Aerospaziale e in Ingegneria Meccanica a Forlì, in Ingegneria Elettronica, in Ingegneria Informatica e in Ingegneria delle Telecomunicazioni a Cesena, in Ingegneria dell'Ambiente e delle Risorse a Bologna. I moduli di Matematica erano, per tutti i corsi di Diploma, raggruppati in due esami: il primo comprendeva Analisi Matematica I e Geometria, il secondo Analisi Matematica II e Meccanica Razionale.

Tutte queste nuove iniziative furono sostenute dai docenti di Matematica della Facoltà, assumendo la titolarità di un numero crescente di corsi, cosa particolarmente onerosa, tenendo presente che allora tutti i corsi di Analisi venivano impartiti nel primo ciclo di lezioni.

L'anno 1994/95 fu molto faticoso per l'Analisi Matematica: Dore e Nardini vinsero un concorso a professore ordinario in altra sede, mentre Mancini e Longinetti si trasferirono. Dore e Longinetti tennero comunque un corso, mentre fu assunto come ricercatore Fausto Ferrari.

Nel 1995 il Diploma in Ingegneria dell'Ambiente e delle Risorse venne trasferito nella sede di Reggio Emilia. Furono inoltre attivati a Cesena il Diploma in Ingegneria Biomedica e il Diploma in Edilizia.

Fu chiamato come Professore Straordinario Dore e furono assunti come ricercatori Fabio Ancona, Maria Manfredini e, per la sede di Reggio Emilia, Cataldo Grammatico, mentre Brunella si trasferì in altra sede.

Nel 1996 fu attivato anche a Bologna il I anno del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale. Riporto il numero degli iscritti al I anno, suddivisi per sede e Corso di Studio:

*Sede di Bologna*

Ingegneria Chimica	66
Ingegneria Civile	121
Ingegneria delle Telecomunicazioni	188
Ingegneria Edile	226
Ingegneria Elettrica	87
Ingegneria Elettronica	226

Ingegneria Gestionale	142
Ingegneria Informatica	171
Ingegneria Meccanica	364
Ingegneria Nucleare	17
Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio	195
<i>Totale Bologna</i>	<i>1803</i>
<i>Sede di Reggio Emilia</i>	
Ingegneria Gestionale	137
Dipl. Ingegneria dell'Ambiente e risorse	42
<i>Totale Reggio Emilia</i>	<i>179</i>
<i>Sede di Cesena</i>	
Dipl. Edilizia	44
Dipl. Ingegneria Informatica	44
Dipl. Ingegneria Biomedica	20
Dipl. Ingegneria delle Telecomunicazioni	28
Dipl. Ingegneria Elettronica	29
<i>Totale Cesena</i>	<i>165</i>
<i>Sede di Forlì</i>	
Dipl. Ingegneria Aerospaziale	49
Dipl. Ingegneria Meccanica	51
<i>Totale Forlì</i>	<i>100</i>
<i>Totale Facoltà</i>	<i>2246</i>

Negli anni Novanta venne molto indebolito il vincolo per l'iscrizione ad anni successivi. Ogni vincolo di questo tipo fu poi eliminato dieci anni dopo, quando una modifica al Regolamento Didattico di Ateneo cancellò la possibilità di applicare questo tipo di regolamentazione.

Nel 1997 fu assunto come ricercatore Nicola Arcozzi. Nel 1998 furono chiamati come professori associati Massimo Cicognani e Alberto Parmeggiani. Quest'ultimo nel 1999 passò alla Facoltà di Architettura.

Nel 1999 il Ministero stabilì che le attività didattiche che la Facoltà di Ingegneria aveva realizzato a Reggio Emilia passassero all'Università di Modena, che venne pertanto ribattezzata Università di Modena e Reggio Emilia; fortunatamente i docenti che la Facoltà aveva dislocato in quella sede (per l'Analisi Dore e Grammatico) rimasero nell'Università di Bologna. Nello stesso anno, in vista della trasformazione dei Diplomi in Corsi di Laurea triennali, la Facoltà attivò nelle sedi romagnole dei Corsi di Laurea che avevano lo stesso nome e la stessa organizzazione dei Diplomi esistenti.

### 2.8.3. Dal 2001 al 2007

Nel 1999 fu promulgato il D.M. 509/1999 che modificò radicalmente la struttura dell'università italiana. Si stabiliva infatti, «per adeguarsi alla situazione europea», che le università rilasciassero un titolo di primo livello, chiamato ancora “Laurea”, obbligatoriamente della durata di 3 anni, seguito da un titolo di secondo livello, denominato “Laurea Specialistica” della durata di 5 anni, che comprendevano anche i 3 anni della Laurea. Restavano esclusi da questa organizzazione i Corsi di Studio aventi un riconoscimento europeo (Medicina e Chirurgia, Odontoiatria e Protesi Dentaria, Medicina Veterinaria e i corsi che danno accesso alle professioni di Architetto e di Farmacista), che diventavano Lauree Specialistiche a ciclo unico e avevano una durata di 5 o 6 anni.

Fra le molte innovazioni di questo decreto vi era l'introduzione dei crediti formativi per stabilire l'estensione delle diverse attività formative; inoltre veniva abolito l'elenco dei titoli di studio conseguibili (precedentemente stabilito con Decreto del Presidente della Repubblica), impegnando però le Facoltà a inserire i propri Corsi di Studio in Classi di Lauree (o di Lauree Specialistiche), determinate con successivo Decreto Ministeriale. I Decreti sulle classi prevedevano, oltre a indicazioni sugli obiettivi formativi dei laureati, le competenze indispensabili per la validità del titolo, individuate assegnando un numero minimo di crediti formativi a specifici ambiti disciplinari, contenenti uno o più settori scientifico-disciplinari.

La Matematica era contenuta nell'ambito “Matematica, Informatica e Statistica”, che faceva parte, assieme all'ambito “Fisica e Chimica” del complesso delle discipline di base, cui erano assegnati, nelle tre Classi di Laurea dell'Ingegneria Civile e Ambientale, dell'Ingegneria dell'Informazione e dell'Ingegneria Industriale, almeno 27 CFU dei 108 (su 180) vincolati dal decreto. I settori scientifico disciplinari utilizzabili per soddisfare le richieste del decreto erano: INF/01, ING-INF/05, MAT/03, MAT/05, MAT/06, MAT/07, MAT/08, MAT/09, SECS-S/02. Inoltre, per le Classi in Ingegneria dell'Informazione e in Ingegneria Industriale era inserito anche il settore MAT/02<sup>1</sup>.

La Facoltà riorganizzò la propria offerta didattica a partire dal 2001, attivando i seguenti Corsi di Laurea:

- Nella Classe di Ingegneria Civile e Ambientale: a Bologna i CdL in Ingegneria Civile e in Ingegneria per l'Ambiente il Territorio;
- Nella Classe di Ingegneria Industriale: a Bologna i CdL in Ingegneria Chimica, in Ingegneria Elettrica, in Ingegneria Energetica, in Ingegneria Gestionale e in Ingegneria Meccanica; a Forlì i CdL in Ingegneria Aerospaziale e in Ingegneria Meccanica;
- Nella Classe di Ingegneria dell'Informazione: a Bologna i CdL in Ingegneria Elettronica, in Ingegneria Informatica, in Ingegneria delle Telecomunicazioni e in Ingegneria dei Processi Gestionali; a Cesena i CdL in Ingegneria Biomedica, in Ingegneria Elettronica, in Ingegneria Informatica e in Ingegneria delle Telecomunicazioni;

<sup>1</sup> Il settore dell'Analisi Matematica è MAT/05.

- Nella Classe in Scienze dell'Architettura e dell'Ingegneria Edile: a Cesena il CdL in Ingegneria Edile.

Venne inoltre attivato il Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Edile-Architettura, della durata di 5 anni.

Le attività formative nelle Lauree furono distribuite in 3 cicli didattici. Per tutti i Corsi di Laurea vennero stabiliti 6 crediti di Analisi Matematica LA, 6 di Analisi Matematica LB e 6 di Geometria e Algebra, tutti impartiti al I anno; ciascuno di questi corsi prevedeva 60 ore frontali, comprese le esercitazioni. Per Ingegneria Edile non era previsto il corso di Geometria. Inoltre quasi tutti i corsi prevedevano altri 6 crediti di matematica, nel settore Fisica Matematica, di varia denominazione e contenuto. Nei Corsi di Laurea in Ingegneria Elettronica e in Ingegneria delle Telecomunicazioni erano inoltre previsti ulteriori corsi di Analisi al II e al III anno. I contenuti dei corsi dovettero essere profondamente modificati: numerosi argomenti furono cancellati e il livello di approfondimento dei rimanenti fu considerevolmente ridotto, in particolare i fondamenti dell'Analisi furono ridotti ai minimi termini.

Riportiamo un esempio di programma dei corsi di Analisi LA e LB, che venivano impartiti al I anno.

#### *Analisi Matematica LA*

LIMITI E CONTINUITÀ. Definizione di successione di numeri reali convergente e divergente. I teoremi sui limiti di successioni: unicità del limite, teoremi di confronto, dei due carabinieri. L'algebra dei limiti. Successioni monotone e loro limiti. Il numero  $e$ . Definizione di funzione reale di una variabile reale continua. I teoremi di Weierstrass, degli zeri e dei valori intermedi. Definizione di limite per funzioni reali di una variabile reale; estensione dei risultati stabiliti per le successioni. Richiami sulle funzioni: composizione di funzioni, funzioni invertibili e funzioni inverse. Continuità della composizione di due funzioni continue e il teorema di cambiamento di variabile nei limiti. Limiti da destra e da sinistra. Funzioni monotone e loro limiti. Asintoti. Le funzioni circolari inverse. Le funzioni iperboliche e le loro inverse.

CALCOLO DIFFERENZIALE. Definizione di funzione derivabile e di derivata di una funzione. Il calcolo delle derivate. I teoremi del valor medio e loro applicazione allo studio della monotonia di una funzione. Derivate di ordine superiore. Formula di Taylor. Estremanti relativi: definizione, condizioni necessarie, condizioni sufficienti. Funzioni convesse.

CALCOLO INTEGRALE. Definizione di integrale per funzioni continue. Proprietà dell'integrale: linearità, additività, monotonia, teorema della media. I teoremi fondamentali del calcolo integrale. I teoremi di integrazione per sostituzione e di integrazione per parti.

#### *Analisi Matematica LB*

INTEGRALE GENERALIZZATO IN  $\mathbb{R}$  E SERIE NUMERICHE. Definizione di integrale generalizzato, assoluta integrabilità in senso generalizzato, criteri di confronto. Serie numeriche reali e complesse, convergenza e assoluta convergenza di una serie, criteri di assoluta convergenza per le serie, criterio di Leibniz, criterio integrale.

LIMITI, CONTINUITÀ E CALCOLO DIFFERENZIALE PER FUNZIONI DI PIÙ VARIABILI. Funzioni reali e vettoriali di più variabili reali: generalità. Definizione di funzione continua e

di limite. I teoremi di Weierstrass e dei valori intermedi per funzioni di più variabili. Definizione di derivata parziale, funzioni di classe  $C^1$  e differenziabilità. Matrice jacobiana. Il teorema sulla differenziabilità di una funzione composta. Derivate parziali di ordine superiore. Formula di Taylor al secondo ordine per funzioni di più variabili. Estremanti relativi per funzioni reali di più variabili reali: definizioni, condizioni necessarie, condizioni sufficienti.

INTEGRALE MULTIPOLO. Definizione di integrale doppio per funzioni continue definite su di un rettangolo compatto. Proprietà dell'integrale doppio. Estensione al caso di domini più generali. I teoremi di riduzione su rettangoli e su insiemi semplici e di cambiamento di variabile. Integrali tripli: estensione delle definizioni e dei teoremi sugli integrali doppi.

EQUAZIONI DIFFERENZIALI. Equazioni differenziali lineari omogenee e non omogenee del primo e del secondo ordine. L'integrale generale di un'equazione lineare. Il caso delle equazioni a coefficienti costanti. Un esempio di equazioni differenziali non lineari: le equazioni a variabili separabili.

Nell'anno 2001 vennero chiamati come Professori Straordinari Citti e Guidetti, quest'ultimo per la sede di Forlì.

Il nuovo Corso di Laurea in Ingegneria Energetica sostituì quello in Ingegneria Nucleare e fu attivato il Corso di Laurea in Ingegneria dei Processi Gestionali.

Nel successivo 2002 fu attivata la Seconda Facoltà di Ingegneria, nella quale confluirono tutti i corsi con sede a Cesena e a Forlì, ad eccezione di quello in Ingegneria Edile; numerosi docenti furono incardinati in questa Seconda Facoltà; quelli di Analisi furono Cicognani a Cesena e Guidetti a Forlì. Inoltre Barozzi andò anticipatamente in pensione e Ancona fu assunto come professore associato.

Riporto i numeri degli iscritti al I anno nell'A.A. 2002/03, in cui furono attivati a Bologna il Corso di Laurea in Ingegneria dell'Automazione e a Ravenna quello in Tecnico del Territorio.

*Sede di Bologna*

Ingegneria Chimica	48	
Ingegneria Civile	253	
Ingegneria dei Processi gestionali	120	
Ingegneria dell'Automazione	63	
Ingegneria delle Telecomunicazioni	90	
Ingegneria dell'Industria alimentare	9	
Ingegneria Elettrica	65	
Ingegneria Elettronica	144	
Ingegneria Gestionale	229	
Ingegneria Informatica	264	
Ingegneria Meccanica	282	
Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio	85	
Ingegneria Edile-Architettura	165	(Corso a ciclo unico)
<i>Totale Bologna</i>	<i>1873</i>	



<i>Sede di Cesena</i>	
Ingegneria Biomedica	66
Ingegneria delle Telecomunicazioni	27
Ingegneria Elettronica	61
Ingegneria Informatica	73
Ingegneria Edile	142
<i>Totale Cesena</i>	<i>369</i>
 <i>Sede di Forlì</i>	
Ingegneria Aerospaziale	84
Ingegneria Meccanica	130
<i>Totale Forlì</i>	<i>214</i>
 <i>Sede di Ravenna</i>	
Tecnico del Territorio	50

Negli anni successivi furono gradualmente attivate numerose Lauree Specialistiche; in quasi tutte, anche nella Seconda Facoltà, furono previste attività formative matematiche, in genere differenziate per Corso di Studio. Si realizzava così un auspicio da tempo sostenuto da molti colleghi ingegneri: ridurre l'impatto delle discipline matematiche all'ingresso nella Facoltà, ma fornire contenuti matematici anche negli anni successivi al primo.

Nel 2005 ci fu il pensionamento di Pontini. Nel 2006 Cicognani diventò straordinario nella II Facoltà, mentre Arcozzi e Ferrari diventarono associati. Nel 2007 ci fu il pensionamento di Matarasso.

#### 2.8.4. Dal 2007 al 2015

A partire dal 2007 fu applicato il D.M. 270/2004, che modificava in modo sostanziale il D.M. 509/1999. Le Lauree Specialistiche venivano ridenominate Lauree Magistrali e venivano completamente separate dalle Lauree triennali, che ne diventavano solamente un requisito di accesso. Inoltre venivano fissati dei limiti al numero di esami sia nelle lauree, sia in nelle lauree magistrali. Questi limiti sono stati, in moltissimi casi, elusi nell'applicazione del decreto fatto dall'Università di Bologna, accorpando in corsi integrati attività formative, in qualche caso anche eterogenee. Comunque il limite di 12 esami nelle Lauree Magistrali portò alla cancellazione (o forte riduzione) degli insegnamenti matematici in questo ordine di studi. Per ovviare a questo fatto scomparve l'omogeneità degli insegnamenti matematici del I anno e costrinse così ad attivare insegnamenti di Analisi con numero di crediti differenti. In questi 11 anni le variazioni sono state numerose; pertanto riporto solamente la situazione attualmente vigente.

*Corsi da 9 + 9 CFU:* Ingegneria dell'Automazione, Ingegneria Chimica e Biochimica, Ingegneria Edile, Ingegneria dell'Energia Elettrica, Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni e tutti i corsi di Cesena;

*Corsi da 9 + 9 CFU (contenente un modulo di Probabilità e Statistica):* Ingegneria Civile e Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio;

*Corsi da 9 + 6 CFU:* Ingegneria Energetica e Ingegneria Informatica;

*Corsi da 6 + 6 CFU:* LM in Ingegneria Edile-Architettura, Ingegneria Gestionale, Ingegneria Meccanica e tutti i corsi di Forlì.

Situazioni particolari sono previste poi per la Laurea in Design Industriale e per quella professionalizzante in Ingegneria Meccatronica, attivata dal 2018.

Fornisco un esempio di programma dei due corsi da 9 CFU, che consentono un recupero dell'insegnamento dell'Analisi Matematica, non solo come contenuti, ma anche come strumento di formazione.

#### *Analisi Matematica T1*

PROPRIETÀ DEI NUMERI REALI. Introduzione assiomatica dei numeri reali. I numeri naturali, interi, razionali.

LIMITI E CONTINUITÀ. Definizione di successione di numeri reali convergente e divergente. I teoremi sui limiti di successioni: unicità del limite, teoremi di confronto, dei due carabinieri. L'algebra dei limiti. Successioni monotone e loro limiti. Il numero  $e$ . Richiami sulle funzioni: composizione di funzioni, funzioni invertibili e funzioni inverse. Generalità sulle funzioni reali di una variabile reale. Definizione di funzione continua di una variabile reale. I teoremi di Weierstrass, degli zeri e dei valori intermedi. Definizione di limite per funzioni reali di una variabile reale; estensione dei risultati stabiliti per le successioni. Continuità della composizione di due funzioni continue e il teorema di cambiamento di variabile nei limiti. Limiti da destra e da sinistra. Funzioni monotone e loro limiti. Asintoti. Le funzioni circolari inverse. Le funzioni iperboliche e le loro inverse.

CALCOLO DIFFERENZIALE. Definizione di funzione derivabile e di derivata di una funzione. Il calcolo delle derivate. I teoremi del valor medio e loro applicazione allo studio della monotonia di una funzione. Derivate di ordine superiore. Formula di Taylor con resto nella forma di Peano e in quella di Lagrange. Estremanti locali: definizioni, condizioni necessarie, condizioni sufficienti. Funzioni convesse.

CALCOLO INTEGRALE. Definizione di integrale di Riemann. Proprietà dell'integrale: linearità, additività, monotonia, teorema della media. I teoremi fondamentali del calcolo integrale. I teoremi di integrazione per sostituzione e di integrazione per parti. Funzioni continue a tratti e proprietà dei loro integrali. Integrali generalizzati. NUMERI COMPLESSI. Definizione e operazioni sui numeri complessi. Forma algebrica di un numero complesso, modulo e argomento di un numero complesso, forma esponenziale di un numero complesso. Formula di de Moivre, radici di un numero complesso, equazioni algebriche in  $\mathbb{C}$ , la funzione esponenziale complessa.

EQUAZIONI DIFFERENZIALI. Equazioni differenziali lineari: integrale generale per le equazioni omogenee e non omogenee, il problema di Cauchy. Risoluzione delle equazioni del primo ordine e del secondo ordine a coefficienti costanti.

#### *Analisi Matematica T2*

SERIE. Serie a termini reali e complessi. Definizione di serie convergente. Convergenza assoluta di una serie. Criteri di convergenza per le serie numeriche.

LO SPAZIO EUCLIDEO  $\mathbb{R}^N$ .

LIMITI, CONTINUITÀ E CALCOLO DIFFERENZIALE PER FUNZIONI DI PIÙ VARIABILI. Funzioni reali e vettoriali di più variabili reali: generalità. Definizione di funzione continua e di limite. I teoremi di Weierstrass e dei valori intermedi per funzioni di più variabili. Definizione di derivata parziale, differenziabilità, funzioni di classe  $C^1$ . Matrice jacobiana. Il teorema sulla differenziabilità di una funzione composta. Derivate parziali di ordine superiore. Formula di Taylor al secondo ordine per funzioni di più variabili. Estremanti relativi per funzioni reali di più variabili reali liberi e vincolati.

INTEGRALE MULTIPLO. Definizione di integrale doppio per funzioni definite su di un rettangolo compatto. Proprietà dell'integrale doppio. Estensione al caso di domini più generali. I teoremi di riduzione su rettangoli e su insiemi semplici. Il teorema di cambiamento di variabili. Integrali tripli: estensione delle definizioni e dei teoremi sugli integrali doppi. Cenni sugli integrali multipli generalizzati.

INTEGRALI CURVILINEI E DI SUPERFICIE. Curve regolari e regolari a tratti, lunghezza di una curva, integrale di una funzione su di una curva. L'integrale di un campo vettoriale su di una curva. Campi vettoriali conservativi e loro potenziali. Il teorema di Green-Gauss. Superficie regolari in  $R^3$ , area di una superficie, integrale di una funzione su di una superficie. Superficie orientabili. Flusso di un campo vettoriale attraverso una superficie orientata. I teoremi della divergenza e di Stokes.

SERIE DI FUNZIONI E INTEGRALI DIPENDENTI DA UN PARAMETRO. Convergenza puntuale e uniforme di una serie di funzioni. Scambio di passaggi al limite. Serie di potenze. Serie di Fourier. Integrali (anche generalizzati) dipendenti da un parametro. Scambio di passaggi al limite. Esempi di integrali dipendenti da un parametro: le trasformate integrali.

EQUAZIONI DIFFERENZIALI. Il problema di Cauchy per equazioni e sistemi differenziali. Teoremi di esistenza, unicità e prolungabilità delle soluzioni. Alcuni problemi ai limiti per equazioni differenziali lineari del II ordine.

Nel periodo in esame vi sono state numerose attivazioni di corsi di Laurea Magistrale, anche internazionali oppure con curricula internazionali. Inoltre fu spento il CdL in Ingegneria dell'Industria Alimentare, mentre il CdL in Ingegneria Edile fu trasferito da Cesena a Ravenna; questo portò rapidamente alla disattivazione del CdL in Tecnico del Territorio.

Le variazioni nella docenza sono state la chiamata come professore associato dall'Università di Firenze di Giovanni Cupini e il pensionamento di Papini nel 2011.

Inoltre, l'applicazione della Legge 240/2010 ha portato nel 2012 all'istituzione della Scuola di Ingegneria e Architettura, che ha raggruppato le preesistenti Facoltà di Ingegneria, di Architettura e Seconda Facoltà di Ingegneria.

### 2.8.5. Dal 2015 al 2018

Nel periodo in esame l'organizzazione didattica ha visto solo modifiche limitate per quanto riguarda l'insegnamento dell'Analisi; l'applicazione completa della citata Legge 240/2010 ha portato invece all'incardinamento dei professori e ricercatori universitari nei Dipartimenti anziché nelle Facoltà. Questo ha comportato per

un Dipartimento come quello di Matematica, che offre un'amplissima didattica di servizio, la possibilità di utilizzare la propria forza docente in tutto l'Ateneo, senza necessariamente limitare il servizio didattico nei corsi della preesistente Facoltà di appartenenza. Questo ha comportato una mobilità dei docenti fra i diversi Corsi di Studio cui collabora il Dipartimento.

Segnalo le promozioni ottenute dai docenti, già incardinati nella Facoltà di Ingegneria: a ordinari Arcozzi (con sede a Cesena) e Ferrari (con sede a Bologna); ad associati Baldi (con sede a Bologna) e Manfredini (con sede a Ravenna). Inoltre nel 2018 c'è stato il pensionamento di Obrecht.

Per i motivi indicati all'inizio del paragrafo, negli ultimi anni hanno insegnato Analisi a Ingegneria anche docenti del Dipartimento, che non erano inquadrati nelle due Facoltà di Ingegneria: si tratta di Paolo Albano, Andrea Bonfiglioli, Eleonora Cinti, Vittorio Martino, Annamaria Montanari, Daniele Morbidelli, Alberto Parmeggiani, Maria Carla Tesi e Francesco Uguzzoni.

Come ogni modifica, questa ha presentato aspetti positivi e negativi. Fra quelli negativi senz'altro la minore stabilità dei docenti nei corsi, compensata largamente però dalla possibilità di utilizzare in modo più duttile la forza docente in un periodo in cui il turnover era stato limitato per legge a livelli totalmente inaccettabili.

Concludo con un'ultima tabella, contenente il numero degli immatricolati, suddivisi per Corso di Laurea, nell'A.A. 2018/19, rilevata al 23/10/2018.

*Sede di Bologna*

Ingegneria Chimica e Biochimica	144 (su 180 posti disponibili)
Ingegneria Civile	94 (su 190 posti disponibili)
Ingegneria dell'Automazione	190 (su 200 posti disponibili)
Ingegneria dell'Energia elettrica	90 (su 150 posti disponibili)
Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni	107 (su 150 posti disponibili)
Ingegneria Energetica	134 (su 200 posti disponibili)
Ingegneria Gestionale	280 (su 283 posti disponibili)
Ingegneria Informatica	222 (su 229 posti disponibili)
Ingegneria Meccanica	218 (su 229 posti disponibili)
Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio	70 (su 150 posti disponibili)
Ingegneria Meccatronica (professionalizzante)	45 (su 50 posti disponibili)

*Totale Bologna* 1594

*Sede di Cesena*

Ingegneria Biomedica	143 (su 150 posti disponibili)
Ingegneria Elettronica per l'Energia e l'Informazione	61 (su 150 posti disponibili)

*Totale Cesena* 204

*Sede di Forlì*

Ingegneria Aerospaziale	106 (su 120 posti disponibili)
Ingegneria Meccanica	113 (su 120 posti disponibili)

*Totale Forlì* 219

*Sede di Ravenna*  
Ingegneria edile

32 (su 120 posti disponibili)

*Totale Scuola di Ingegneria (escluso Architettura,  
Ingegneria Edile-Architettura e Design)*

2049

### 2.8.6. Conclusioni

Questa rapida panoramica dell'insegnamento dell'Analisi Matematica nell'Ingegneria di Bologna ci consente di segnalare, accanto alle modifiche estremamente vistose intervenute nel corso degli anni, anche alcune costanti.

Innanzitutto, il numero elevato degli studenti in ciascun corso: molto spesso i corsi sono stati rivolti a oltre 200 studenti; questo era vero alla fine degli anni Quaranta e rimane vero anche oggi (un breve periodo felice fu l'inizio del XXI secolo, in cui si riuscì a contenere la numerosità dei corsi quasi sempre entro le 150 unità, anche grazie a una riduzione del numero complessivo delle matricole). Il carico didattico dei docenti, se è stato sempre elevato per il numero degli studenti e il conseguente numero enorme di esami, è diventato spesso difficilmente sostenibile a partire dagli anni Novanta, quando diversi docenti dovettero tenere più corsi.

A partire dal 2001, questa è diventata una regola ineludibile per la limitata durata dei nuovi corsi, il che significa dover fare gli esami a classi di 200 studenti e oltre per ciascun corso impartito. A questo si aggiunge l'inadeguatezza della maggior parte delle aule, per capienza e visibilità, e la carenza del loro numero, che ha contribuito non poco alla redazione di orari inopportuni dal punto di vista didattico, come impartire lezioni fino alle ore 19. Anche i nuovi insediamenti a Bologna si sono rivelati del tutto insufficienti a offrire spazi di insegnamento adeguati.

Purtroppo, i programmi di sviluppo non consentono di sperare che, in tempi realisticamente prevedibili, a Bologna vi sia una situazione didatticamente almeno accettabile. Intanto, nell'Anno Accademico 2018/19 si tornerà a fare lezione al cinema, evento sciagurato già verificatosi negli anni Ottanta e Novanta del secolo scorso.

Un segnale positivo, limitato ma importante, è l'inaugurazione, dopo tanti rinvii, della nuova sede di Cesena, che garantisce una collocazione adeguata alle necessità della sede.

*I dati utilizzati provengono in larga parte dalla serie degli Annuari dell'Università di Bologna. Inoltre è stato utilizzato il ricchissimo documento "Il Dipartimento di Matematica negli Annuari", a cura di F. Desalvo e M. Mussolini, disponibile sul sito del Dipartimento.*

## 2.9. LA MECCANICA RAZIONALE E LA MATEMATICA APPLICATA NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Tommaso Ruggeri*

### **Premessa**

Quando i miei colleghi ed amici Domenico Mirri ed Ezio Mesini mi hanno chiesto di dare un contributo, riguardante la Matematica Applicata, a questo volume, mi sono sentito lusingato ma, nello stesso tempo, impreparato, in quanto risulta per me difficile ricordare date, eventi e nomi necessari per potere delineare una vera e propria storia, il più possibile precisa, sull'argomento. Ho cercato, quindi, in tutti i modi di esimermi da questo compito, ma la loro amichevole insistenza mi ha alla fine convinto a raccogliere e ad esporre almeno in parte i miei ricordi.

Tuttavia, più che un elenco di persone e date, quella che mi accingo a presentare è sostanzialmente la mia personale esperienza di Matematico Applicato che ha svolto, per oltre 45 anni, la sua attività didattica e scientifica nell'ambito della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna.

### **2.9.1. Breve storia dell'insegnamento della Meccanica Razionale nella Facoltà di Ingegneria**

Sino alla fine degli anni Cinquanta l'insegnamento della Meccanica Razionale nella Facoltà di Ingegneria viene svolto da docenti della Facoltà di Scienze. Infatti, la Facoltà di Ingegneria ha durata triennale e conferisce solo due tipi di Laurea: in Ingegneria Civile e in Ingegneria Industriale. Il biennio propedeutico è in comune con la Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. Pertanto, il corso di Meccanica Razionale che gli studenti di Ingegneria devono seguire è in comune con quello dei corsi di laurea in Fisica e in Matematica. I titolari sono, fino dagli inizi del Novecento, insigni ricercatori del settore, fra i quali ricordiamo soltanto Piero Burgatti (1868-1938) che svolge la sua attività didattica negli anni trenta. A lui seguiranno, nei due decenni successivi, altri illustri studiosi tra cui Dario Graffi (1905-1990) ed Antonio Pignedoli (1918-1989).

Con Decreto del Presidente della Repubblica del 31 ottobre 1960 (n. 1803), viene approvato e modificato lo statuto dell'Università degli Studi di Bologna. In particolare, viene soppresso il biennio propedeutico in seno alla Facoltà di Scienze e viene stabilito che la Facoltà di Ingegneria conferisca, dopo un corso di durata quinquennale, varie tipologie di lauree. Da questo momento, l'insegnamento della Meccanica Razionale viene impartito nel secondo anno di tutti i corsi di laurea in Ingegneria.



Figura 1. Luigi Caprioli (1913-2007).

Negli anni immediatamente successivi entrano a fare parte del corpo docente nel settore della Fisica Matematica altri valenti studiosi, fra cui ricordo in particolare Renato Nardini (1917-2010) e Luigi Caprioli (1913-2007).

### 2.9.2. La nascita dell'Istituto di Matematica Applicata

Luigi Caprioli ha dato un grande contributo allo sviluppo della Fisica Matematica bolognese, creando di fatto il primo gruppo matematico stabile della Facoltà di Ingegneria. Dopo aver conseguito il diploma di perito industriale meccanico nel 1932, lavorò per alcuni anni come assistente di laboratorio nell'Istituto Tecnico

Industriale Aldini Valeriani di Bologna, sotto la guida di Oddone Belluzzi che in seguito fu illustre maestro di Scienza delle Costruzioni presso l'Ateneo bolognese.

Dopo la guerra, alla quale partecipò come ufficiale del genio, superò da privatista gli esami di maturità scientifica, iscrivendosi poi al corso di laurea in Matematica a Bologna. Si laureò nel 1950 con Dario Graffi, di cui divenne subito assistente. Nel 1965, ternato nel concorso di Meccanica Razionale presso l'Università di Palermo, fu chiamato a ricoprire la cattedra della medesima disciplina all'Università di Parma, dove fu anche per alcuni anni Prorettore. Nel 1971 si trasferì alla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, dove rimase fino al suo collocamento a riposo avvenuto nel 1988. Caprioli, che fu anche socio Benedettino dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna e dell'Accademia di Modena, sviluppò ampiamente molti temi di ricerca del suo maestro Dario Graffi ed, in particolare, l'elettromagnetismo e la meccanica non-lineare. Tuttavia, il suo risultato più conosciuto, il notissimo criterio di Caprioli, riguarda l'elasticità non lineare, e fornisce un semplice, ma efficace criterio termodinamico – oggi incluso in tutte le monografie di elasticità non lineare – per stabilire in quale misura un dato materiale è elastico. La sua attività di docente, svolta a Bologna, Parma e all'Accademia Militare di Modena, è rimasta famosa e considerata da molti insuperata. Intere generazioni di ingegneri si sono formate grazie al suo insegnamento di Meccanica Razionale e va sottolineato come fosse molto amato dai suoi studenti per l'efficacia della sua didattica che sapeva felicemente coniugare l'aspetto teorico e quello pratico.

Alla nostra Facoltà ha dato un contributo notevolissimo, creando il primo “nucleo matematico” stabile di Ingegneria (frutto anche della lungimiranza di alcuni saggi ed illustri professori della Facoltà e suoi amici carissimi, tra i quali desidero ricordare Enzo Belardinelli, Ercole De Castro, Franco Foraboschi, Ettore Funaioli e Piero Pozzati), che, arricchito nel tempo da altri elementi, portò successivamente

alla costituzione dell'Istituto di Matematica Applicata della Facoltà di Ingegneria. Si posero, in tal modo, le basi di un gruppo scientifico di rilievo capace di formare nel tempo molti giovani ricercatori che hanno poi operato scientificamente e didatticamente sia nella Facoltà di Ingegneria di Bologna, sia in varie altre sedi.

È proprio in questo ambiente stimolante che la mia vita accademica si incrocia con la sua: infatti, ho avuto l'onore di incontrarlo nel 1972 ad una Scuola Estiva internazionale a Bressanone. In tale occasione, discutendo di argomenti di Meccanica Razionale, gli manifestai il mio desiderio, se si fosse presentata l'occasione, di lasciare Messina ove mi ero laureato nel 1969 ed ero al momento assistente ordinario e professore incaricato. Qualche tempo dopo, essendomi informato sulle mie pubblicazioni, mi telefonò proponendomi di venire a trovarlo a Bologna, ove mi presentò alcuni dei professori che ho prima menzionato i quali, praticamente sotto forma di colloquio, mi sottoposero ad una specie di esame. Dopo poco tempo mi arrivò un'altra telefonata con la proposta di trasferirmi stabilmente a Bologna: accolli l'invito con gioia ed iniziai la mia carriera presso l'Università di Bologna. Desidero ancora sottolineare come Luigi Caprioli mi abbia messo nelle migliori condizioni per lavorare scientificamente. Infatti, quando diedi la mia disponibilità a svolgere le esercitazioni di Meccanica Razionale, oltre a tenere il mio corso come professore incaricato, mi rispose che non si fidava di nessuno... Ma questo, capii poi, fu un tacito invito a lavorare scientificamente e a non perdere troppo tempo con la didattica! I suoi consigli sono stati sempre preziosi, a tal punto che ben presto è divenuto per me, più ancora che un maestro, un secondo padre. Luigi Caprioli era una di quelle rare persone che riusciva a fare cose buone nella più completa riservatezza, in silenzio, sempre disponibile, interpretando il ruolo di professore universitario come un vero e proprio servizio nei confronti dei colleghi, degli studenti e della comunità tutta. Una persona dolce, onesta e gentile che ha lasciato un grande vuoto in noi tutti ed un grande rimpianto per chi, come me, ha avuto il raro privilegio di conoscerlo e di essergli allievo ed amico.

Nel 1973, l'anno in cui mi trasferii da Messina a Bologna, vi erano due Istituti Matematici, quello di Geometria e quello di Matematica, entrambi nell'ambito della Facoltà di Scienze. Nel biennio della Facoltà di Ingegneria insegnavano molti matematici, ma il loro interesse prevalente era rivolto alla Facoltà di Scienze, dove la maggioranza di loro aveva i propri riferimenti professionali e culturali. A questo proposito, forse non tutti sanno che, per effetto di un movimento nato in Francia, il *bourbakismo*, pseudonimo collettivo di un gruppo di matematici francesi che ricercava una sintesi unitaria delle scienze matematiche, vi fu un periodo in cui anche molti matematici italiani giudicarono le applicazioni come qualcosa di "impuro", esaltando la cosiddetta Matematica Pura e le sue fondamenta. Come ho già detto in precedenza, vi era a Bologna un gruppo di "baroni" (ma illuminati) che aveva capito con chiarezza che molte discipline ingegneristiche hanno la loro base e traggono il loro nutrimento proprio nella matematica applicata, per cui trascurarla sarebbe stato un atteggiamento non solo antistorico, ma anche pericoloso. Partendo da tale presupposto, questi personaggi che hanno fatto la storia recente della Facoltà di Ingegneria,





*Figura 2. I locali dell'Istituto di Matematica Applicata in via Vallescura n. 2.*

decidendo insieme con il loro amico fraterno Luigi Caprioli, decisero di creare un Istituto di Matematica Applicata che nacque nel 1978 all'interno della Facoltà di Ingegneria. Per costituirne la sede si affittarono i locali di una villa in via Vallescura n. 2, a poche decine di metri dalla sede principale della Facoltà, ed ebbe così inizio un profondo rapporto sinergico fra alcuni matematici ed i colleghi ingegneri. Ho tuttora un vivo ricordo di quando

Caprioli ed io, carichi di scatoloni, entrammo per la prima volta in via Vallescura, insieme anche ad un giovane, Luigi Cerofolini, con cui divisi per anni l'ufficio. Luigi, assistente di Analisi Matematica, era un toscano estroso ed intelligente che amava la vita ma che, purtroppo, ci ha lasciati giovanissimo a causa di un male incurabile.

Quasi subito si aggiunse al gruppo Giulio Cesare Barozzi e poi Silvano Matarasso, neovincitore di un concorso di Analisi Matematica. Inoltre, i locali di via Vallescura erano condivisi fra il gruppo dei matematici applicati e quello dei bio-ingegneri, anch'esso appena formato e fortemente voluto da Enzo Belardinelli, che aveva con sé i suoi primi allievi, Guido Avanzolini e Gianni Gnudi. Successivamente, il gruppo di Meccanica Razionale si rafforzò con l'ingresso di Pier Paolo Abbati Marescotti, che si trasferiva dalla cattedra di Torino, e poi di Mauro Fabrizio che, tuttavia, ha sempre preferito rimanere nella sede dell'istituto di Matematica di Porta San Donato. Negli anni successivi, i matematici che avevano lo studio in via Vallescura iniziarono a formare giovani allievi.

Barozzi accolse, in periodi diversi, Stefano Alliney e Fiorella Sgallari, che costituiscono il primo gruppo di Analisi Numerica dell'Istituto di Matematica Applicata. Per quanto mi riguarda, nel 1975, appena ventottenne ed anche su sollecitazione di Caprioli, mi presentai al concorso di professore ordinario che, tuttavia, non vinsi pur ricevendo 2 voti sui 3 necessari. Nonostante questo, anche per le mie collaborazioni con illustri colleghi stranieri, tra i quali desidero ricordare Guy Boillat, avevo già una certa maturità scientifica e così scelsi Alberto Strumia come mio primo allievo. Poco tempo dopo, Caprioli inserì nel gruppo Augusto Muracchini che prese servizio, collaborando didatticamente con Abbati Marescotti, mentre Fabrizio fece venire Claudio Giorgi.

Furono anni molto belli e proficui, anche perché iniziò di fatto una vera sinergia con i colleghi di ingegneria ed a questo proposito non posso dimenticarmi, in particolare, la figura di Michele Capurso, un maestro della Scienza delle Costruzioni. Sebbene io fossi poco più di un ragazzo, Michele mi prese subito in simpatia e dimo-

strò anche un grande interesse quando seppe che avevo studiato la teoria della elasticità non lineare in presenza di grandi deformazioni seguendo gli appunti di Antonio Signorini. Allora, mi chiese di fare alcuni seminari informali, a cui parteciparono diversi suoi giovani allievi, ed a questi problemi si interessò anche Gabriele Molari. A quei tempi tenevo il corso di Meccanica Razionale agli studenti di ingegneria chimica e nucleare, che erano fra i più brillanti che abbia avuto, ma Capurso, data la mia competenza in Meccanica dei Continui, mi spinse a passare al corso di ingegneria civile nel quale da allora ho sempre insegnato Meccanica Razionale, prima dividendo l'insegnamento con Caprioli e successivamente da solo.

Devo riconoscere che sono sinceramente orgoglioso di annoverare fra i miei studenti più bravi molti degli attuali professori della Facoltà che insegnano ad ingegneria civile, fra cui il nostro attuale Rettore Francesco Ubertini, del quale sono stato, in parte, correlatore della tesi di dottorato.

L'interesse scientifico dei colleghi di ingegneria e la stima nei confronti del nostro gruppo di matematici applicati è avvalorata anche dal fatto che diversi di noi sono stati invitati a tenere corsi di dottorato in Ingegneria. Ad esempio, su richiesta di Agostino Cannarozzi e di Erasmo Viola ho tenuto con piacere diversi corsi sulla teoria delle deformazioni finite e sulla moderna teoria delle equazioni costitutive.

### **2.9.3. Il Centro Interdipartimentale per le Applicazioni della Matematica - CIRAM**

Quando con la legge n. 28 del 21 febbraio 1980 furono istituiti i dipartimenti universitari, si sviluppò subito una approfondita discussione fra noi, in alcuni momenti anche molto "accesa", riguardo alla possibilità di aderire ad un unico Dipartimento di Matematica oppure di creare un Dipartimento di Matematica Applicata. Alla fine, l'opinione di quasi tutti i professori ordinari si orientò sulla opportunità di aderire ad un unico dipartimento, ma, dato che la legge prevedeva la possibilità di creare i cosiddetti Centri Interdipartimentali, si decise di costituire anche un Centro Interdipartimentale per le Applicazioni della Matematica, che fu denominato brevemente CIRAM. L'atto ufficiale di nascita del CIRAM è del 1989 e credo che sia stata una decisione particolarmente significativa, in quanto ci permise di non disperdere i risultati ottenuti durante gli anni di vita dell'Istituto di Matematica Applicata, conservandone anche i locali. Inoltre, occorre ricordare che al CIRAM, che aveva anche autonomia amministrativa, aderirono nel tempo diversi colleghi di ingegneria. Dato che nello stesso periodo vennero ceduti all'Università i locali di via Saragozza n. 8 – ex Scuole professionali Sirani – ci trasferimmo in questa nuova sede che, grazie ad una oculata ristrutturazione, ci permise di avere a disposizione ampi spazi, sia per la didattica che per la ricerca. Il primo Direttore del CIRAM fu Giulio Cesare Barozzi, a cui seguì Silvano Matarasso e successivamente, dal 1991 fino al 1997, assunsi in prima persona questa responsabilità.

Erano anni in cui *Internet* iniziava ad essere sempre più utilizzato anche in Italia, per cui una delle mie prime iniziative, come Direttore del Centro, fu quella di pre-

disporre un adeguato cablaggio di rete nei locali di via Saragozza. A questo punto, non avendo il supporto di un tecnico informatico, decisi di acquistare una macchina *SUN* che, dopo avere acquisito la conoscenza del linguaggio *UNIX* (per la precisione *Solaris*), ci permise di dotare tutte le stanze di *personal computer* e di iniziare ad usare la posta elettronica. In quello stesso periodo il collega Olzap Babaoglu aveva realizzato uno dei primi siti *web* dell'ateneo e così, con la sua collaborazione e con un notevole impegno personale, imparai il linguaggio *html* e realizzai il primo sito *web* del CIRAM, da subito molto apprezzato, come confermato, fra l'altro, dai numerosi contatti via rete.

In seguito, la mia passione per l'informatica e la programmazione mi spinse ad introdurre nei corsi di Meccanica Razionale esercitazioni e simulazioni al computer, per integrare in modo stimolante le lezioni di teoria. Sulla base di queste sperimentazioni, ho scritto nel corso degli anni vari libri di tipo didattico, in cui si faceva ricorso anche all'uso del personal computer, sia nell'ambito della Meccanica Razionale, sia – in collaborazione con Silvano Matarasso – a supporto dei corsi di Analisi Matematica.

A questo proposito, ricordo con piacere i numerosi scambi di vedute su questo argomento con alcuni colleghi di ingegneria ed anche un riuscito piccolo convegno organizzato da me e dall'amico Roberto Guidorzi, in quel periodo Direttore del Centro di calcolo della Facoltà, i cui Atti sono reperibili nel volume: *Didattica Matematica con l'Ausilio del Personal Computer*, a cura di R. Guidorzi e T. Ruggeri, Centro di Calcolo della Facoltà di Ingegneria e Centro Interdipartimentale per la Ricerca e per le Applicazioni della Matematica, Università di Bologna, Tecnoprint (1992).

Desidero anche citare un'interessante applicazione matematica al campo dei beni culturali, basata sulle tecniche tipiche dell'*image processing*, che sviluppai verso la fine degli anni novanta al Ciram insieme ad un mio allievo, Leonardo Seccia, e a un collega architetto esperto di restauro, Nicola Santopuoli, che oggi insegna all'Università Sapienza di Roma. Si trattava di un'ampia ricerca sulla conservazione ed il restauro degli splendidi ed antichi mosaici ravennati, da attuarsi anche attraverso l'elaborazione di molte immagini multispettrali, dall'ultravioletto al vicino infrarosso. Decidemmo allora di utilizzare *Matlab* (acronimo di *Matrix Laboratory*), un potente *software* scientifico di grande diffusione creato dal matematico Cleve Moler, che si distingue come ambiente per il calcolo numerico soprattutto nell'uso delle matrici e nella grafica. Infatti, conoscevo bene le qualità di questo programma, che col passare del tempo è stato sempre più potenziato, anche in ambito ingegneristico, attraverso una lunga serie di *toolbox*, tanto è vero che credo di aver acquistato probabilmente la prima licenza italiana su piattaforma *UNIX*, anche per sollecitare i colleghi del Ciram ad usarlo. I risultati della ricerca furono molto positivi, anche perché riuscimmo a comunicarli efficacemente sfruttando le grandi risorse di *Matlab* nel campo della visualizzazione delle immagini, e così ci furono vari articoli su importanti quotidiani italiani ed esteri, come *Il Corriere della Sera* e *The Times*, e alla fine arrivò anche una troupe di *Sky* che realizzò un filmato. Queste applicazioni

furono molto apprezzate dall'allora Rettore Fabio Roversi Monaco, che fra l'altro accettò la nostra idea di far realizzare un grande *Sigillum Magnum* in mosaico da esperti restauratori di Ravenna, che attualmente si trova nell'aula magna della sede di Ingegneria a Forlì.

Voglio qui anche accennare ai numerosi *visiting professor* che nel corso degli anni sono stati invitati presso il CIRAM. Tra gli illustri ricercatori stranieri desidero menzionare, per ciò che riguarda la Fisica Matematica, Alan Jeffrey, Guy Boillat, Ingo Mueller, Yvonne Choquet Bruhat, I-Shih Liu, Henri Gouin, Tai-Ping Liu, Masaru Sugiyama. Arrivarono anche altri importanti ricercatori, in particolare nel settore dell'Analisi Numerica, grazie alla collega Fiorella Sgallari, e nel settore delle applicazioni numeriche ai plasmì, grazie al collega Vittorio Colombo. Tutte queste iniziative permisero di sviluppare temi di ricerca di grande attualità, a cui si dedicarono molti dei nostri giovani che, in tal modo, ebbero poi la possibilità di accedere ad una cattedra universitaria.

Il CIRAM, sebbene fosse in primo luogo un Centro di Ricerca, era di fatto anche un importante punto di riferimento per la didattica della Facoltà di Ingegneria. Infatti, i singoli docenti vi svolgevano il ricevimento studenti, gli esami ed anche le esercitazioni di alcuni corsi nelle aule più capienti. Per tutte queste ragioni, in quegli anni si pensò che potesse essere conveniente trasformare la struttura in un nuovo Dipartimento di Matematica Applicata, anche perchè questa conversione sembrava realizzabile in tempi brevi, in quanto erano già a disposizione i locali ed il CIRAM era un centro di spesa con un proprio segretario amministrativo. Ricordo bene il favore di molti colleghi di Ingegneria, la disponibilità ad aderirvi anche dei colleghi matematici di Economia, l'iniziale incoraggiamento del Rettore Roversi Monaco e del Prorettore Mario Rinaldi. Tuttavia, il progetto alla fine non si realizzò, con grande amarezza di tutti coloro che aderivano al Centro, sia perché osteggiato dal Dipartimento di Matematica, sia in quanto venne considerato da alcuni come un'iniziativa che, spezzando in due un Dipartimento, avrebbe potuto creare un pericoloso precedente per altre strutture dipartimentali.

Nonostante questi avvenimenti, la sinergia con la Facoltà di Ingegneria continuò naturalmente a rafforzarsi e dal 1995 al 2001 fui nominato vicepreside della Facoltà, su richiesta del Preside Arrigo Pareschi. Inizialmente non conoscevo bene Arrigo, ma quando presentò la sua candidatura e venne al CIRAM per illustrarmi il suo programma, nacquero subito una reciproca stima ed amicizia che continuano ancora oggi. Arrigo, forse anche a causa della sua formazione ingegneristica, è una persona molto concreta, che non si perde in parole, ma prima analizza in profondità un problema e poi lo risolve al meglio: devo dire che l'ho sempre ammirato per questa sua non comune capacità di far fronte ai problemi più complessi e delicati. Per quanto mi riguarda, il contributo come vicepreside è consistito soprattutto nella informatizzazione della Presidenza e nella realizzazione del primo sito *web* della Presidenza della Facoltà.

Arriviamo adesso, in questa breve e – come ho più volte sottolineato – personale ricostruzione storica, verso la fine degli anni novanta, quando fu varata una



*Figura 3. Gruppo di appartenenti al CIRAM. Da sinistra: Ravaglia, Mentrelli, Muracchini, Ruggeri, Brini, Seccia e Strumia.*

riforma dell'Università che, tra i vari suoi aspetti, riorganizzava i corsi di studio, introducendo la cosiddetta formula del 3+2. Come diretta conseguenza, si attuò un profondo cambiamento nella didattica: si pensi, in particolare, ai nuovi corsi di laurea creati nell'ambito della Facoltà di Ingegneria come, ad esempio, la laurea in Ingegneria Gestionale, ed a tutti quelli più o meno significativamente ristrutturati. Infatti, fu proprio in questo periodo che l'insegnamento della Meccanica Razionale fu abolito, in alcuni corsi di laurea, e sostituito con quello di Matematica Applicata i cui contenuti riguardano essenzialmente la teoria della probabilità e la statistica. Fu così che alcuni dei docenti di Meccanica Razionale si dedicarono progressivamente al nuovo insegnamento.

Come riprova dei profondi legami che ho sempre avuto con la Facoltà di Ingegneria, desidero qui ricordare un ulteriore significativo episodio. Alcuni anni fa, mi venne a trovare Leonardo Calandrino a nome di alcuni Accademici di Ingegneria e, in particolare dell'indimenticabile Piero Pozzati, per chiedermi se avessi gradito di fare parte dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna nella Sezione Scienze Tecniche. Sebbene fossi già Accademico dei Lincei, rappresentò per me motivo di orgoglio e di grande gioia essere tenuto in considerazione dai colleghi di Ingegneria per l'Accademia di Bologna e, nonostante abbia ottenuto molti riconoscimenti nell'arco della mia carriera, devo riconoscere che è stato per me un sincero motivo di orgoglio entrare nell'Accademia come Socio Benedettino nella Sezione Scienze Tecniche.

#### **2.9.4. Chiusura del CIRAM e creazione del Centro di Matematica Applicata Alma Mater AM<sup>2</sup>**

Purtroppo, in tempi recenti i centri interdipartimentali sono stati quasi tutti chiusi e questa stessa sorte è toccata alla fine nel 2013 al CIRAM. Tuttavia, durante quella fase di transizione anche grazie all'interessamento del Direttore del Dipartimento di Matematica Mirko Degli Esposti e del Presidente della Scuola di Ingegneria Pier Paolo Diotallevi, il Rettore Ivano Dionigi ci consentì di non disperdere l'eredità del CIRAM e di creare il *Centro di Ricerca Alma Mater di Matematica Applicata*

(AM<sup>2</sup>) nell'ambito del Dipartimento di Matematica, il che ci ha permesso, tra l'altro, di conservare almeno in parte i locali di via Saragozza n. 8.

Desidero concludere questa breve ricostruzione storica evidenziandone, come ho già detto all'inizio, il carattere volutamente personale: in essa ho voluto riassumere, sulla base dei miei ricordi di docente che ha da sempre insegnato agli allievi ingegneri, i rapporti che negli ultimi decenni sono intercorsi tra la Facoltà di Ingegneria, che oggi di fatto non esiste più (sostituita dalla Scuola di Ingegneria e Architettura), ed una parte dei Matematici applicati. Devo ammettere che io sono ancora oggi fra coloro che rimpiangono la Facoltà: infatti, attraverso questa struttura, soprattutto per i docenti non ingegneri, si era sviluppata una rete di conoscenze che favoriva, a mio parere, sia la didattica che la ricerca scientifica, facendo nascere frequentemente inaspettate e preziose collaborazioni interdisciplinari. Invece, il fatto che con questa ennesima riforma il "baricentro" della vita universitaria si sia spostato prevalentemente sui Dipartimenti, sta contribuendo alla formazione di "sistemi isolati" e, da cultore della termodinamica, sono veramente spaventato al pensiero degli effetti negativi del Principio di Entropia sui sistemi isolati!

### ***Ringraziamenti***

Desidero ringraziare Augusto Muracchini e Leonardo Seccia per la revisione del testo ed il reperimento di alcuni dei dati riportati.

## 2.10. ALCUNI CENNI SUL FRUTTUOSO INCROCIO TRA MATEMATICI E INGEGNERI NELLA COSTRUZIONE DELL'INGEGNERIA MODERNA

*Guido Masetti*

### 2.10.1. Introduzione

In occasione del compimento dei 70 anni di Enrico Obrecht ho raccolto frettolosamente in queste note – incomplete e parziali – gli elementi principali che descrivono il complesso e assai fruttuoso intreccio (inevitabilmente denso di collaborazioni, discussioni, unioni e separazioni) tra ingegneri e matematici nella costruzione dell'ingegneria dell'età moderna.

L'appunto è suddiviso in più sezioni. La prima è dedicata allo sviluppo del modello didattico moderno dell'ingegneria in Francia. La seconda alle riforme introdotte da Maria Teresa d'Austria nel suo Regno. La terza al caso specifico della nascita dell'Ingegneria nel Regno d'Italia. Successivamente, dopo aver fatto qualche cenno alla situazione dell'ingegneria Italiana, si commenterà la situazione di quella bolognese, fornendone anche alcuni dettagli sul periodo del ventennio. Infine, nell'ultima sezione, si riassumerà il ritorno alla normalità nel dopoguerra dell'ingegneria di Bologna.

### 2.10.2. Il modello di ingegneria di Monge in Francia

La problematica della mancanza di ingegneri e di personale altamente qualificato si palesò in modo evidente in Francia dopo la Rivoluzione e il periodo del Terrore.

Au lendemain de la Révolution de 1789, la France se trouve dans une situation difficile et manque cruellement d'ingénieurs et de cadres supérieurs : de nombreux officiers ont déserté, toutes les universités ont été fermées à la suite d'un décret de la Convention nationale et le réseau de transports du pays, négligé durant de nombreuses années, nécessite d'importantes remises à niveau et améliorations mais également la construction de nouvelles infrastructures. À l'instigation de quelques savants, ralliés aux idées nouvelles, parmi lesquels on trouve le géomètre Monge et le chimiste Fourcroy, le Comité de salut public crée une commission des travaux publics, par décret du 21 ventôse an II (11 mars 1794).

Jacques-Élie Lamblardie, Gaspard Monge et Lazare Carnot, pères fondateurs de l'École, se voient confier la mission d'organiser une nouvelle «École centrale des travaux publics». Le 7 vendémiaire an III (28 septembre 1794) est créée officiellement cette École centrale des travaux publics, future École Polytechnique [8].

Già nella ideazione di questa importante iniziativa risulta evidente la necessità/esigenza di integrare i punti di vista e le competenze di un ingegnere progettista, di

un ingegnere-matematico e di un matematico. Infatti, Lamblardie (1747-1797) era un ingegnere nel corpo di ponti e strade, progettista di ponti, strade e porti, che poi divenne ingegnere capo del dipartimento della Somme e nel 1794 ispettore generale di ponti e strade. Carnot (1753-1823), laureato in Ingegneria all'accademia militare di Mezieres nel 1773 sotto la guida di Monge, era un noto matematico, fisico e politico. Membro del Direttorio durante la Rivoluzione, rimase però in disparte durante il Consolato e l'Impero di Napoleone. Gaspard Monge, futuro conte di Pelusium (1746-1818), matematico e disegnatore, fu l'*inventore della geometria descrittiva*. Figlio di un venditore ambulante, venne educato in una scuola privata cattolica nella quale, terminati gli studi, vi lavorò. Una mappa della cittadina di Beaune, che Monge aveva disegnato ancora ragazzo, venne in possesso di un ufficiale che suggerì l'ammissione di Monge alla scuola di formazione a Mézières. Le sue origini, però, gli preclusero l'ammissione alla scuola militare, ma fu accettata la sua partecipazione all'istituto annesso alla scuola dove veniva insegnato il disegno geometrico. Incaricato di disegnare in modo tradizionale la pianta di una fortezza, la presentò in forma di costruzione geometrica in brevissimo tempo. Nel 1768 Monge fu nominato professore a condizione che i risultati della sua Geometria descrittiva rimanessero un segreto militare. Nel 1780 ottenne la cattedra di Matematica all'Università a Parigi.

Nominato Presidente della Commissione, Monge seppe cogliere con grande abilità le opportunità che il momento offriva per unificare la formazione di tutti gli ingegneri in una sola istituzione e delineare una scuola, senza precedenti al mondo, che sarà il prototipo delle moderne scuole d'ingegneria. Forte della lunga esperienza di esaminatore e professore di allievi ingegneri, Monge delineò un modello inedito, fondato sulla saldatura tra scienza e tecnica e sull'acquisizione del linguaggio matematico e del linguaggio grafico, identificati come peculiarità dell'ingegnere. L'ingegnere era pensato come un tecnico-ricercatore con una solida preparazione scientifica di base che gli consentiva di concepire le opere, gli impianti e i meccanismi più complessi. Su quella concezione Monge costruì un'istituzione che era a un tempo di ricerca e di didattica: «una scuola enciclopedica del tutto nuova, che realizzerà, su una grande base, l'alleanza delle scienze e delle arti» il coronamento e la sintesi più alta di tutto il suo itinerario scientifico.

Monge recuperò anche gli aspetti positivi dell'École des Ponts et Chaussées, soprattutto per quanto concerne le esercitazioni e i meccanismi di selezione. Già nel nome dato ad alcuni insegnamenti ("Applicazioni di analisi alla meccanica", "Applicazioni di analisi alla geometria") si evidenziava il senso di organica unità del nuovo piano di studi, la cui articolazione, il rilievo e i contenuti ne faranno qualcosa di originale e assai efficace.

Dopo solo nove mesi dall'inizio dei lavori della Commissione, la nuova scuola, denominata École Centrale des Travaux Publics, fu inaugurata il 21 dicembre 1794. Il corpo docente era costituito dai membri della Commissione, integrato da alcuni studiosi di grande prestigio, primo tra tutti Lagrange, al quale fu affidato il corso di analisi. Furono poi chiamati a insegnare anche alcuni ingegneri provenienti dal Corpo di Ponts et Chaussées, al fine di assicurare il necessario collegamento tra la





Figura 1. Ritratto di Gaspard Monge (1746-1818).



Figura 2. Ritratto di Jean-Baptiste Fourier (1768-1830).

teoria fisico-matematica e le applicazioni, ed alcuni giovani collaboratori dei quali Monge aveva grande stima, ma che presto avrebbero ottenuto una propria cattedra, come il giovane matematico Jean-Baptiste Fourier (1768-1830). Il 24 maggio 1795 partiva il primo corso regolare (Figg. 1-2).

Tuttavia, non tutti i problemi erano stati risolti. Il

nodo più intricato da sciogliere era costituito dal rapporto con le vecchie scuole dei Corpi dello Stato che non intendevano affatto rinunciare ai propri privilegi. Il progetto mongiano conduceva naturalmente alla loro abolizione, affidando alla nuova istituzione la formazione di tutti gli ingegneri per qualunque mansione e per qualunque Corpo dello Stato, rendendo così inutili le scuole dei Corpi.

Ben presto il nome di *École Centrale des Travaux Publics* si rivelò inadeguato; più adatto si mostrò quello di *École Polytechnique*, fattole assegnare da Monge con una legge del primo settembre 1795.

Nella tarda primavera di quello stesso anno, approfittando di difficoltà politiche di Monge (che era stato ministro della Marina nel primo governo rivoluzionario, segretario e poi vice-presidente dei giacobini), partirono i primi attacchi alla nuova istituzione, soprattutto da parte del Genio militare che, come gli altri Corpi di ingegneri, voleva mantenere la propria scuola. Monge cercò di difendere la sua creatura, ma il quadro politico era cambiato. Così, con legge del 22 ottobre 1795, la Polytechnique fu trasformata in scuola propedeutica con durata dei corsi ridotta a due anni, alla fine dei quali si poteva accedere alle scuole di specializzazione dei vari Corpi, previo un esame di ammissione.

La trasformazione in biennio propedeutico portava inevitabilmente a un'accentuazione degli aspetti teorici della formazione, alterando la logica del piano originario. L'accresciuto potere delle scuole dei Corpi non era che un aspetto dell'imminente ritorno di logiche corporative ed elitarie.

Monge, cosciente di questa involuzione, nel marzo del 1796 cercò di reagire elaborando una riforma del programma che cercava di salvaguardare alcuni principi essenziali del suo piano, in primo luogo quello dell'unitarietà dell'insegnamento scientifico.

Tuttavia, alle grandi pressioni dei Corpi si sommarono ben presto fortissime diatribe accademiche. Infatti, a partire dal 1806 il matematico Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), ormai politicamente fortissimo e molto abile a transitare da una situazione politica all'altra, tentò di far predominare nella scuola l'insegnamento dell'*haute analyse* su quello delle altre discipline e a trasformare la Polytechnique in una scuola puramente teorica, formata da scienziati matematici. Lo scontro con

Monge, cui partecipò anche Théodore Olivier (1793-1853), allievo di Monge, fu fortissimo e non solo sul fronte teorico, ma anche sull'organizzazione degli studi, sui contenuti degli insegnamenti, sulle docenze. Laplace, ad esempio, voleva che analisi e meccanica fossero insegnate dalla stessa persona, perché riteneva la meccanica un'applicazione dell'analisi, mentre per Monge la meccanica doveva essere insegnata da un ingegnere in quanto *meccanica delle macchine*, quella che è utile all'ingegnere.

Negli anni successivi si diffuse ben presto tra i tecnici e gli imprenditori francesi la convinzione che l'École Polytechnique non fosse più in grado di formare specialisti in grado di soddisfare le esigenze di carattere applicativo e industriale del paese, in ritardo rispetto alla rivoluzione tecnica e industriale. Si percepì che la prestigiosa istituzione era diventata una scuola di scienziati, fatta da scienziati e per scienziati, in grado di coprire solo una delle esigenze del suo tempo. Tra i critici più vivaci vi fu il matematico Théodore Olivier, trasferitosi da Lione alla Polytechnique nel 1811 e nel 1921 chiamato dal Re di Svezia a riorganizzare la Scuola militare di quel Paese.

In particolare, coloro che erano preoccupati dall'involuzione della Polytechnique, cercarono di rimediare, creando canali alternativi per la formazione degli ingegneri.

Nel novembre del 1819 (Monge era morto nel 1818 e il suo nominativo sarà uno dei 72 scolpiti alla base della torre Eiffel), nell'ambito del Conservatoire des Arts et Métiers venne creata un Haute École di applicazione delle conoscenze scientifiche al commercio e all'industria. Promotori dell'iniziativa furono alcuni *polytechniciens* allievi di Monge. Tra questi: Pierre-François Arago (1786-1853), matematico, fisico, astronomo e uomo politico francese; Charles Dupin (1784-1873) matematico e ingegnere; Nicolas Clément (1779-1841), chimico; Baptiste Say (1767-1832), economista e industriale (vedi *Appendice*).

Dieci anni dopo, il 3 novembre 1829, con finanziamento dell'uomo di affari Alphonse Lavallée, che ne sarà il primo direttore, per iniziativa di Olivier, del suo collega *polytechnicien* Philippe Benoit e di altri due giovani scienziati, il chimico Jean-Baptiste Dumas (1800-1888) e il fisico Eugène Pecllet (1793-1857), allievo dell'École Normale (che ne saranno i primi professori) viene costituita l'École Centrale des Arts et Manufactures, privata. L'idea dei promotori era quella di recuperare lo spirito iniziale della Polytechnique di Monge, di fare una scuola in grado di formare gli ingegneri civili e industriali che necessitavano al paese, e non potenziali scienziati e ricercatori. La prima localizzazione della scuola fu nell'edificio dell'*Hôtel de Juigné*, futura sede del Museo Picasso.

Così, mentre la Polytechnique forma i suoi allievi nelle distinte discipline che definiscono le scienze, alla nuova École si pone l'accento sull'unità della *science industrielle*. «Cette idée forte, d'un ingénieur qui doit tout savoir des sciences appliquées et pouvoir appliquer ses compétences dans tous les domaines, s'est inscrite dans le patrimoine de l'ingénieur français» [8]. L'accesso avviene attraverso una selezione, come alla Polytechnique, e agli allievi che superano gli esami finali viene rilasciato il diploma di *ingénieur civil des arts et manufactures*. Viene quindi confermata, recuperando l'originario spirito mongiano, l'impostazione di formare un ingegnere generalista, nei vari settori.

### ***Cenni sulla estensione del modello di Monge in altri Stati***

Il modello di formazione degli ingegneri messo a punto da Monge per la Polytechnique si radicò negli Stati Uniti, ove divenne riferimento essenziale per tutte le prime scuole di ingegneria. In particolare, alla Military Academy di West Point, nello Stato di N. Y., nata nel 1802 nell'ambito della creazione di un corpo di ingegneri, voluto da Thomas Jefferson (1723-1826), la riorganizzazione del 1822 fu condotta su principi mongiani.

Inoltre, dopo la caduta di Napoleone, nel paese ripararono diversi ingegneri militari francesi che avevano servito nell'esercito napoleonico: tra essi Simon Bernard (1779-1839) e Claudius Crozet (1789/90-1864), ufficiale di artiglieria, entrambi allievi di Monge alla Polytechnique. Bernard divenne assistente del Brigadiere Generale Joseph Gardner Swift (1783-1865), comandante degli ingegneri militari e soprintendente a West Point. Crozet, chiamato nel 1816 come assistente, poi come professore di ingegneria, nel 1817 fu nominato anche professore del Genio. Egli fu il primo ad introdurre negli States la matematica e le discipline tecniche di "scuola" francese e a insegnarle con il metodo della Polytechnique.

Intanto, nel 1819, il capitano Alden Partridge (1785-1854) aveva fondato a Northfield (Vermont) la American Literary, Scientific and Military Academy che prese poi il nome di Norwich University, nella quale a partire dal 1821 fu attivata la prima scuola di ingegneria civile del paese.

Negli anni Trenta, scuole di ingegneria, soprattutto civili, ma ben presto aperte ai settori industriali, venivano costituite in vari Stati degli Stati Uniti: dallo Stato di New York (a Troy, nel 1835, nacque il Rensselaer Polytechnic Institute, che nella successiva riorganizzazione degli studi si ispirò al modello francese) all'Alabama (nel 1837), al Massachusetts ove, alla metà del secolo, fu fondato il Massachusetts Institute of Technology. In tutte queste scuole si adottavano libri di testo francesi o loro traduzioni e adattamenti. Già nel 1821 Crozet pubblicò il suo *Treatise on Descriptive Geometry for the use of the cadets of the United States Military Academy*.

Anche nel Sudamerica gli studi di ingegneria vennero avviati nei primi anni dell'Ottocento, soprattutto ad opera di ingegneri civili e militari spagnoli. In Cile, ad esempio, la Escuela Militar ebbe come primo direttore l'ingegnere militare spagnolo Antonio Arcos y Arjona (1790-1851), il quale, dopo avere militato nell'esercito napoleonico, a seguito della caduta di Napoleone, era riparato in America. Presenze di personaggi di questo tipo diedero un'impostazione di tipo francese alla formazione degli ingegneri cileni.

In Argentina il ruolo dei fuoriusciti francesi e, soprattutto, degli spagnoli di scuola francese, fu determinante: essi furono infatti protagonisti della Escuela Militar de Matemáticas di Buenos Aires (1810), delle varie Accademie istituite nel decennio successivo, e poi del Departamento de Matemáticas della Universidad de Buenos Aires (1821), diventato in seguito Facultad de Ciencias Exactas: tutte istituzioni con piani di studio mutuati dal modello mongiano.

### 2.10.3. Maria Teresa d'Austria e il caso della Ingegneria di Pavia

Come noto, l'imperatrice d'Austria Maria Teresa (1717-1780), nonostante le guerre e le numerose gravidanze (16), nei suoi quarant'anni di regno si dedicò intensamente a molte riforme per riammodernare il suo Impero (Medicina e Igiene, Giustizia, Regolamento Generale Scolastico...). In particolare, pienamente consapevole della inadeguatezza della burocrazia in Austria e negli Stati dell'Impero, Maria Teresa, nel 1774 con la parziale collaborazione del quartogenito, primo maschio, Giuseppe II (erede al trono) emanò il suo *Allgemeine Schulordnung für die Neutschen Normal-, Haupt- und Trivialschulen in Sämmtlichen Kayserlichen Königlichen Erbländern* (Regolamento generale scolastico per le scuole tedesche normali, principali e banali in tutte le terre ereditarie reali).



Figura 3. Ritratto di Maria Teresa d'Austria (1717-1780).

Questo regolamento che consentiva, per la prima volta, anche agli studenti non cattolici il diritto di frequentare l'università, riorganizzò i corsi di studio promuovendo l'introduzione delle materie di diritto e facendo sì che i professori fossero scelti con particolare riferimento alla capacità professionale. Inoltre, allo scopo di garantire una preparazione uniforme, fu sancito che solo le università avrebbero potuto garantire il titolo di laurea, esautorando i collegi professionali o riservati alla nobiltà.

Di tali innovazioni risentì in modo assai importante l'Università di Pavia, considerata un faro per l'insegnamento nella "parte italiana" dell'Impero.

In particolare, tra le cattedre assegnate alla Facoltà Filosofica dell'Università di Pavia comparvero per la prima volta: Geometria, Algebra Elementare, Algebra Sublime, Meccanica e Fisica Sperimentale (tenuta da Alessandro Volta dal 1778).

Nel 1786 (era imperatore Giuseppe II), a seguito della constatazione che la presenza delle numerose discipline di carattere matematico avrebbe favorito la individuazione di un Indirizzo di Studi per la Formazione degli Ingegneri, venne emanato l'Avviso del Regio Imperiale Consiglio di Governo: «debbono fare i loro Studi a Pavia què giovani che vogliono esercitare la professione di Ingegnere o di Architetto se non dopo aver superato l'esame di Licenza nell'Università».

Dopo il periodo napoleonico, con il ritorno dell'Impero, nel 1817 (Imperatore Francesco I di Asburgo Lorena) vennero messe a punto e emanate delle Istruzioni provvisorie per le varie facoltà. In questo contesto, un ruolo importante e lungimirante per l'Ingegneria pavese lo giocò Pietro Configliachi (che non era un ingegnere, ma un filosofo, matematico, fisico – successivamente Rettore). Nel 1819, nella sua veste di direttore della Facoltà di Filosofia, e di Incaricato dall'I.R. Governo, compilò il *Regolamento definitivo di disciplina e di studio per quelli che vogliono dedicare alle utili liberali Professioni d'Ingegnere, d'Architetto e d'Agrimensore*.

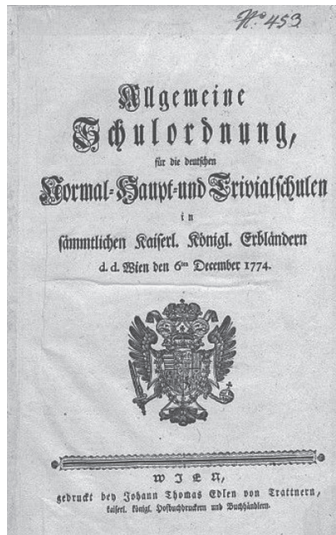


Figura 4. *Allgemeine Schulordnung für die Neutschen Normal-, Haupt- und Trivialschulen, Vienna 1774.*

(10 ore), Disegno elementare (10), II anno: Geometria descrittiva (5), Geodesia (3), Disegno (10), III anno: Architettura civile (10), Agraria (5), Disegno di composizione architettonica (10).

A conclusione del corso di studio lo studente avrebbe dovuto affrontare tre esami “di rigore” (il primo sulla Matematica pura sia elementare che sublime; il secondo sulla Fisica Meccanica ed Agraria; il terzo sulla Geodesia e sull’Architettura); dopo il terzo esame dovrà affrontare la pubblica “difesa di trenta o più tesi” per ottenere così il grado accademico di “Dottore in Matematica”.

Nel 1839, venne accresciuto significativamente il numero degli insegnamenti, con l’inserimento di Meccanica sublime (con calcolo differenziale e integrale), di Matematica applicata, di Disegno di Macchine..., mentre nel 1840 vennero confermati per il Lombardo Veneto i due “Istituti per l’istruzione dei periti Agrimensori, Ingegneri ed Architetti”, l’uno presso

Nello stesso 1819 Configliachi fece introdurre quattro corsi «di nuova istituzione e indispensabili» sono aggiunti all’offerta didattica: Geometria descrittiva, Architettura statica e idraulica, Idrometria, e Disegno.

Ovviamente, la ferrea organizzazione austriaca prevedeva fin da allora una fase di verifica-controllo e revisione delle iniziative attuate dal governo centrale. In particolare, nel 1825 l’Imperial Regia Commissione Aulica degli Studi (una sorte di CNVSU del tempo) osservò che «...le provvisorie disposizioni impartite per il corso degli Ingegneri [...] in Pavia sono insufficienti, e non conformi al piano generale degli studi filosofici...» [16]. Venne quindi rapidamente compilato un nuovo progetto di regolamento che entrerà in vigore nel 1827.

Pertanto, furono istituiti un nuovo piano didattico e un nuovo orario delle lezioni, che prevedevano, tra l’altro: I anno: Matematica pura sublime



Figura 5. *Avviso del Regio Imperiale Consiglio di Governo, 1786.*

l'Università di Pavia, l'altro presso quella di Padova. Vengono inoltre precisate le competenze specifiche delle due professioni: «l'ingegnere deve occuparsi direttamente ed in sostanza nelle fabbriche idrauliche nel senso più esteso, senza però di essere alieno nelle cognizioni delle fabbriche civili» [16].

Nel 1847 la Facoltà di Matematica si rese autonoma da quella Filosofica.

Nel 1849, vediamo di nuovo all'opera un matematico ben conscio dell'importanza della formazione ingegneristica. Antonio Bordonì (1788-1860), riconosciuto come il fondatore della Scuola di Matematica a Pavia e docente di Calcolo sublime, geodesia e idrometria e Matematica pura ed elementare, presenta una "Proposta per un nuovo piano per lo studio matematico", in cui auspica l'istituzione di corsi pratici per l'ingegneria e prevede le specializzazioni di architettura, ingegneria rurale, meccanica, mineraria, idraulica e civile, militare. La proposta non ha seguito, nel 1856 (tre anni dopo Pavia passerà al Regno di Sardegna e il Bordonì diventerà Direttore della Facoltà di Matematica) si attivano alcuni nuovi corsi liberi: Scienza della costruzione di macchine, Tecnologia meccanica, Disegno tecnico-industriale.

#### 2.10.4. Il Regno d'Italia e la legge Casati

Il 13 novembre 1859 la legge Casati del Regno Sabaudò introdusse un'importante riorganizzazione degli studi secondo lo schema seguente.

Gabrio Casati, di famiglia nobile e formazione scientifica, fu un eminente politico milanese, podestà di Milano sotto l'Impero asburgico, partecipò con grande intensità alle vicende politiche risorgimentali.

Dopo la seconda guerra d'Indipendenza, nel 1859 divenne Ministro dell'Istruzione del Governo La Marmora. Successivamente fu Presidente del Senato.

In virtù degli ampi poteri concessi al governo nel pieno della seconda guerra d'Indipendenza, senza discussione parlamentare, nel giro di quattro mesi fu portato a termine con un articolato e organico piano di ristrutturazione del sistema formativo. Recepita successivamente e integralmente nel 1861 dal neo-Stato Italiano, la legge Casati rimase in vigore fino alla riforma Gentile del 1923. Con i suoi 360 articoli, la legge conferiva un assetto organico all'intero sistema scolastico definendone cicli, curricula, materie di insegnamento, programmi, personale, apparato amministrativo.

età in anni	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	ciclo inferiore		ciclo superiore		ginnasio				liceo			Università				
					Istruzione Secondaria Classica											
	Istruzione Elementare				scuola tecnica		istituto tecnico									
					Istruzione Secondaria Tecnica											

Figura 6. La Scuola italiana secondo la Legge Casati.



Figura 7. Ritratto di Gabrio Casati (1798-1873).

Per quanto concerne l'Università, innestava sullo schema medioevale delle Facoltà di Teologia (che sarà poi soppressa nel 1873), Diritto e Medicina le nuove Facoltà di "Lettere e Filosofia" e di "Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali". A quest'ultima venne annessa la *scuola di applicazione* per la formazione degli ingegneri, della durata di tre anni, alla quale si accedeva dopo aver frequentato il biennio della facoltà.

Per la Facoltà di Scienze fisiche, matematiche e naturali si prevedevano i seguenti insegnamenti: Introduzione al calcolo; calcolo differenziale ed integrale; Meccanica razionale; Geodesia teorica; Geometria descrittiva; Disegno; Fisica; Chimica generale; Mineralogia e Geologia; Zoologia; Botanica.

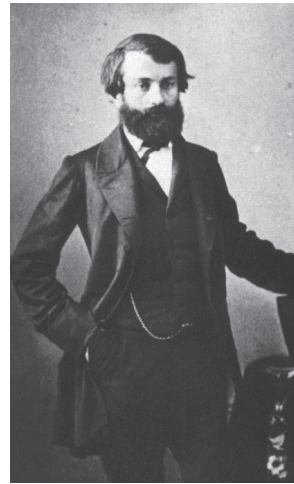
Inoltre, all'art. 53 si indicava esplicitamente che alla Facoltà di Scienze Fisiche e Matematiche dell'Università di Torino sarebbe stata annessa una Regia Scuola d'applicazione in surrogazione all'esistente Regio Istituto tecnico, in cui si sarebbero dati i seguenti insegnamenti: 1. Meccanica applicata alle macchine ed Idraulica pratica; 2. Macchine a vapore e ferrovie; 3. Costruzioni civili, idrauliche e stradali; 4. Geodesia pratica; 5. Disegno di macchine; 6. Architettura; 7. Mineralogia e Chimica docimastica; 8. Agraria ed Economia rurale.

Infine, alla Facoltà anzidetta in Torino e Pavia sarebbero state annesse cattedre di Analisi e Geometria superiore, di Fisica-matematica, e di Meccanica superiore. Quindi, la prima Scuola d'Ingegneria a nascere fu la Regia Scuola di Applicazione per Ingegneri di Torino, istituita nel dicembre del 1860 sulla base di un Regolamento del 17 ottobre dello stesso anno. L'accesso era riservato ai laureati in matematica e avrebbe dovuto formare ingegneri che avrebbero lavorato per lo Stato.

Il vero ispiratore della minuziosa stesura della parte della legge relativa all'ingegneria, che nei fatti seguiva un modello di formazione mongiano, con qualche ritocco ispirato alla parte applicativa presente nella metodologia tedesca, fu Quintino Sella (1827-1884). Il Sella, ingegnere idraulico a Torino e poi perfezionatosi all'École des Mines, era buon conoscitore delle situazioni universitarie e industriali europee (avendo visitato la Germania, l'Inghilterra e il Belgio). Grandissimo appassionato di mineralogia e di alpinismo, nel 1852 venne nominato professore di Geometria applicata alle Arti presso il Regio Istituto Tecnico di Torino e alla fine del 1853, fu nominato professore di Matematica presso l'Università di Torino. Successivamente, pur continuando a professare l'alpinismo, fu un importante uomo politico italiano.

Il 23 novembre 1863, con il nome di Regio Istituto Tecnico Superiore, fu istituita la scuola di Milano, con un triennio di specializzazione che aveva anche una sezione di meccanica, al quale si accedeva dopo un biennio in altra facoltà di matematica del Regno (tra cui Pavia, ove fu istituito solo il primo anno del triennio di specializzazione, mentre il completamento degli studi doveva avvenire a Milano).

Anche nella formazione di quello che sarebbe diventato il Politecnico di Milano, un ruolo molto importante fu giocato da un matematico. Infatti, il fondatore – Francesco Brioschi (1824-1897) – era professore di matematica applicata e Matematica Superiore, nonché di Idraulica a Pavia dove fu anche Rettore. Membro del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione, legato a Quintino Sella, il Brioschi riteneva però indispensabile una preparazione tutta interna all'Istituto; così, a partire dal 1875, fu assegnata alla scuola l'intera formazione, sia quella scientifica di base sia quella tecnica, e concesso l'accesso direttamente dalle scuole secondarie. La Scuola milanese avrebbe dovuto formare ingegneri destinati a lavorare nel settore dell'Economia Privata. Brioschi rappresenta inoltre quella figura di idraulico/matematico con forte sensibilità ingegneristica che incontreremo anche in altri personaggi.



*Figura 8. Ritratto di Quintino Sella (1827-1884).*

A Palermo la prima Scuola di Ingegneria fu fondata da Giuseppe Garibaldi nel mese di ottobre del 1860, anche se poi attivata solo nel 1867.

A Napoli fu creata nel 1863 una Scuola di Applicazione per Ingegneri con lo stesso regolamento di quella attivata a Torino. Lì, ben presto sorsero forti polemiche legate al permesso di iscriversi ai soli laureati in Fisica. Il vincolo venne allora eliminato sia a Napoli che a Torino. L'accesso veniva così riservato a coloro che avevano superato gli esami di: Introduzione al Calcolo, Calcolo Differenziale e Integrale, Meccanica Razionale, Geodesia Teoretica, Geometria descrittiva, Fisica, Chimica Generale, Mineralogia. A Torino e a Pavia occorreva aver superato anche Analisi e Geometria Superiore, Fisica Matematica, Meccanica Superiore.

Nel 1870 a Genova la Scuola Navale, sotto la forte pressione degli Enti locali, venne trasformata in Real Scuola.

Nel 1873 venne creata a Roma la Scuola di Applicazione per Ingegneri (il matematico Luigi Cremona ne fu nominato direttore).

A Bologna nel 1859 venne istituito un primo corso pratico per Ingegneri, poi una prima parte della Scuola nel 1875 e, infine, il triennio a partire dal 1877 (vedi sezioni successive).

### **2.10.5. Il caso dell'Ingegneria di Bologna e dei suoi primi tribolati anni**

Il decreto del 30 settembre 1859 del Governatore delle Romagne, Benedetto Cipriani, promulgato su proposta del ministro Cesare Albicini, prevedeva per gli allievi ingegneri un corso pratico quinquennale di studi, con il conseguimento finale di una laurea dottorale e di libera pratica nella Facoltà matematica. Tra i corsi che gli allievi dovevano superare comparivano: Introduzione al calcolo (al primo



anno), Calcolo sublime (al secondo), Geometria superiore, Fisica sperimentale e Meccanica Applicata.

Al termine dei vari anni del corso, gli allievi ingegneri erano sottoposti ad un esame generale. Quello tra il I anno e il II era chiamato esame di “passaggio”; “baccellierato” era detto l’esame tra il II anno e il III; “licenza” quello tra il III anno e il IV; esame di “laurea dottorale” era quello tra il IV anno e il V; alla conclusione dell’ultimo anno del corso, il V, vi era quindi l’esame di “libera pratica”, che sanciva lo *status* di neo-ingegnere.

L’ordinamento degli studi per gli ingegneri, stabilito dal decreto Cipriani, restò in vigore solamente per un triennio, giacché fu sostituito – con decreto datato 1 novembre 1862 – da un nuovo ordinamento che estendeva anche all’Università di Bologna le norme contenute nel Decreto 14 settembre 1862 per le Facoltà di Scienze fisiche, matematiche e naturali. Tali norme, stabilivano in particolare che «l’attestato di licenza per le scienze matematiche apriva l’adito» alle scuole d’applicazione per gli ingegneri, ed «alle pratiche per ottenere il diploma d’ingegnere» secondo le varie leggi che risultavano ancora in vigore «nelle diverse province del Regno».

Però, rapidamente, la Scuola dell’Università di Bologna evidenziò un divario crescente, sia nei confronti delle più importanti scuole per ingegneri e istituzioni politecniche straniere, che nei confronti delle scuole d’applicazione istituite in diverse città del regno d’Italia. Lo scarto risultava sensibile rispetto alla scuola d’applicazione torinese, milanese, nonché alle Scuole d’applicazione di Napoli e di Roma.

E su questo punto entrarono in gioco a vario titolo diversi matematici e il loro ruolo complessivo fu determinante per il futuro dell’ingegneria bolognese.

Il matematico Dino Padelletti (1852-1892), laureato a Pisa e perfezionatosi all’estero in varie sedi (Zurigo, Dresda, Berlino e Londra), dal 1877 professore di Meccanica razionale a Palermo e poi dal 1879 a Napoli, fu uno dei più inflessibili. Da un confronto tra i numeri degli insegnamenti, fra i programmi degli stessi nelle sedi italiane e quelle estere da lui visitate, egli – particolarmente critico nei confronti dell’ordinamento italiano, e della situazione delle scuole minori di ingegneria, in specie di quella bolognese – giunse alla conclusione che sarebbe stato utile limitare le scuole d’ingegneria solo a tre sedi (Milano, Torino e Napoli). All’inizio del 1875, su richiesta del segretario generale del Ministero (il matematico pisano Enrico Betti, Direttore della Scuola Normale Superiore di Pisa) e con decreto del Ministro dell’Istruzione pubblica Ruggero Bonghi (storico, filosofo e filologo, e noto per aver inserito l’obbligo della dissertazione scritta di laurea – Governo La Marmora II) si istituì una Commissione ispettiva per le Scuole d’Ingegneria minori (Padova, Palermo, Pisa, Bologna). Ciò poiché queste scuole minori (o meglio corsi pratici di ingegneria) finivano per accentuare in modo insostenibile una «condizione anormale di cose», ossia una «grande disuguaglianza di studii in ingegneri usciti da Scuole tutte mantenute dallo Stato».

Al termine di una intensa, ancorché rapida, attività ispettiva, il 10 giugno 1875, venne redatta la relazione finale da parte della Commissione presieduta da Luigi Cremona (laureato in Ingegneria a Pavia, matematico e direttore della Scuola di Ingegneria di Roma), e costituita dai membri Fortunato Padula (laureato in Ingegneria

a Napoli, matematico, direttore della scuola di Napoli) e Prospero Richelmy (ingegnere torinese, matematico, idraulico e Direttore della Scuola di Torino).

Così, a testimonianza del fatto che gli studi di ingegneria erano «ivi lontani dall'esser completi» e che «quindi diversi rami del disegno» vi dovevano essere «o tralasciati o insegnati con orario e mezzi insufficienti», mentre era ormai ammesso da tutti che «i lavori grafici tengono un posto grandissimo nell'attività d'una Scuola d'Applicazione». Inoltre, «alle applicazioni della geometria descrittiva sono date tre ore in giorni distinti» e non viene «fatta menzione del disegno di costruzioni».

Soprattutto a Bologna «il difetto» appariva massimo e non emendabile: in particolare veniva posta l'attenzione sul fatto che «un incaricato fa meccanica applicata e costruzioni (scusate se è poco)». Né, nei piani di studio bolognesi, si trovava traccia «di disegno di applicazioni della geometria descrittiva, di costruzioni, di macchine, ecc.».

Del resto, si poteva ancora leggere nella Relazione, «il lustro delle tre grandi Università di Padova, Pisa e Bologna» è tale che di sicuro «non ha d'uopo d'essere accresciuto dall'appiccicatura d'una meschina Scuola d'Applicazione». Quelle «tre insigni Università», si chiedevano i relatori, che possono di certo sostenere il confronto con le Università straniere, «scemerebbero forse d'importanza e di decoro» se venisse loro tolta «quell'ombra di corso pratico con cui ora vi si fabbricano ingegneri più o meno imperfetti?» [5, 6].

Per Bologna la relazione della Commissione proponeva di fatto, senza riserve, la chiusura della scuola pratica per ingegneri; ritenendo conveniente peraltro solo l'istituzione di una «Scuola Normale per gli insegnanti di scienze naturali».

Di fronte a questa situazione apparentemente senza speranza, il Ministero decise invece di procedere assai rapidamente (a soli 4 mesi dalla relazione) con una forte riforma. Infatti, il Decreto 26 ottobre 1875 (uno degli ultimissimi atti del ministro Bonghi, Destra Storica, Ministero Minghetti II) stabiliva l'attivazione a Bologna del primo anno di una Scuola d'applicazione – a partire dall'1 novembre 1875 – con l'abrogazione del vecchio Corso pratico. Poco più di un anno dopo, il Decreto 14 gennaio 1877 (ministro Coppino, Governo De Pretis I, Sinistra Storica), attivava a partire dall'1 novembre 1877 il triennio completo.

In realtà, stava contemporaneamente crescendo un altro forte sostenitore della scuola bolognese. Era un altro matematico, che eserciterà un ruolo importante per alcuni decenni: Cesare Razzaboni (1827-1893). Laureato in Matematica a Modena, docente di Matematica elementare, cosmografia e trigonometria sferica presso il Collegio dei nobili di Modena fino al 1851. Nel 1854 passò all'insegnamento di Idraulica sublime, teorica e pratica e dal 1866 a Meccanica razionale. Nel 1871 si trasferì all'Università di Roma e poco dopo all'Università di Bologna, dove dal 1872-74 insegnò Meccanica razionale. Trasferitosi a Roma dal 1874 al 1876 con l'incarico di calcolo Infinitesimale. Alla fine del 1876 (un

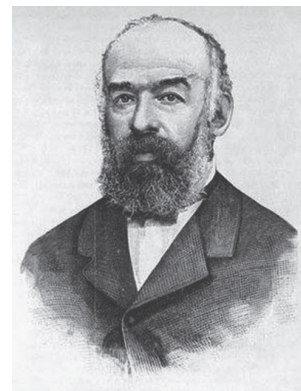


Figura 9. Ritratto di Cesare Razzaboni (1827-1893).

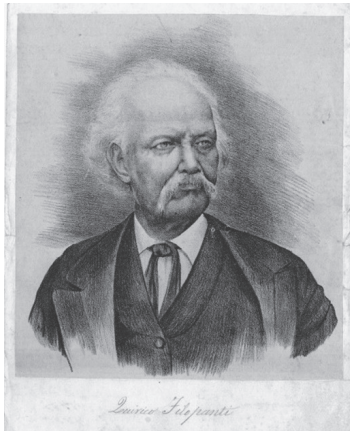


Figura 10. Ritratto di Quirico Filopanti (1812-1894).

risulta utile anche ricordare che in quegli anni era molto attivo a Bologna un altro matematico, Quirico Filopanti, molto sensibile all'ingegneria, matematico-idraulico come il Razzaboni e suo buon amico.

Quirico Filopanti (Giuseppe Barilli) nasce a Budrio, nel 1812, da famiglia poverissima. Si laurea in matematica e filosofia nel 1834. Professore di meccanica e idraulica all'Università di Bologna (28 marzo 1848). Garibaldino attivo. Esule per tre anni negli Stati Uniti d'America e altri nove in Inghilterra, si mantiene dando ripetizioni mentre scrive il suo principale lavoro nel quale è contenuta la proposta di dividere la terra in fusi orari. Torna in Italia nel 1859 e viene reintegrato nel suo ruolo di docente a Bologna, dal quale viene nuovamente rimosso nel 1864 perché non accetta di giurare fedeltà al Re d'Italia; successivamente rientra all'Università. Viene eletto prima consigliere comunale di Bologna e poi deputato al Parlamento nel 1876; manterrà quest'ultima carica fino alle nuove elezioni del 1892.

Gli studi di matematica e di ingegneria svolti presso l'Università di Bologna, e poi l'insegnamento presso la stessa, nonché i rapporti con la locale Accademia delle scienze, e, soprattutto, i contatti con la comunità scientifica nazionale che ruotava attorno ai Congressi degli scienziati italiani, avevano stimolato in Filopanti un'articolata ed approfondita riflessione sulle connessioni tra lo sviluppo delle discipline ingegneristiche e la realizzazione di una società migliore. In questo contesto, il Filopanti si batté assai vigorosamente per l'istituzione della Scuola d'Applicazione completa a Bologna. Probabilmente giocò a favore del Decreto del 14 gennaio 1877 anche la tempistica del cambio di governo, passato dalla Destra storica di Minghetti alla Sinistra storica di Depretis (sostenuto caldamente da Filopanti) il 26 marzo 1876.

Come già ricordato, il Decreto 14 gennaio 1877 attivava a partire dall'1 novembre 1877 il triennio completo annesso alla Facoltà di Scienze Matematiche. Si stabiliva che gli allievi, con il nuovo ordinamento degli studi, dovevano frequentare inizialmente il primo biennio della Facoltà di matematica dell'Università di Bologna, seguendo gli insegnamenti di Algebra, Calcolo infinitesimale, Chimica inorganica,

anno dopo il decreto del 26 ottobre 1875 che aveva attivato il primo anno) il Razzaboni fu trasferito definitivamente a Bologna come titolare di Calcolo infinitesimale, con l'incarico di preparare la definitiva costituzione della Scuola. Idraulico valente, fu Direttore della Scuola stessa dal 1877 al 1893).

Sulle vivaci polemiche e le forti proteste suscitate dall'abrogazione del Corso pratico, che toglieva all'Università di Bologna la possibilità «di conferire il diploma di ingegnere» [6] e sulle ragioni che si collocano a monte della successiva decisione di attivare il triennio completo della Scuola d'applicazione, restituendo così all'ateneo bolognese la possibilità di rilasciare il diploma di ingegnere, è presente una ricca bibliografia. Forse

Disegno di geometria descrittiva, Disegno di geometria proiettiva, Disegno di ornato, Disegno di ornato e di architettura, Fisica, Fisica sperimentale, Geologia, Geometria analitica, Geometria descrittiva, Geometria proiettiva, Mineralogia I e II.

Superato quindi l'esame conclusivo del primo biennio – esame di “Licenza in matematiche e fisiche” che si articolava in prove relative ad Algebra e Calcolo infinitesimale, a Geometria analitica e Geometria proiettiva e descrittiva, a Fisica e Chimica, ed ottenuti inoltre i “certificati di diligenza” in Mineralogia, Geologia, Disegno di ornato e di architettura con relativi saggi – i futuri ingegneri venivano ammessi al corso triennale della Scuola d'applicazione.

Se, ad esempio, andiamo ad analizzare in dettaglio il calendario didattico dell'anno 1877/78 di Bologna, si coglie subito il forte interallacciamento tra i docenti dei vari anni di corso e una tipologia didattica sostanzialmente mongiana. In particolare, si osserva la forte competenza matematica anche dei docenti di discipline ingegneristiche specifiche, che consentiva a un professore di essere assai versatile e di poter insegnare al tempo stesso sia materie di base che discipline applicative. Ad esempio, il matematico Boschi insegna Geometria proiettiva al I anno, Descrittiva al II e Applicazioni di Geometria descrittiva al III. Il pesarese Luigi Donati era docente di Algebra al I anno e di Fisica Tecnica al IV (Donati sarà poi il primo docente di Elettrotecnica della Scuola nel 1902). Donati, professore straordinario di Fisica nel Regio Istituto Tecnico Superiore di Milano nel 1876, nel 1877 diventa ordinario di Fisica Tecnica a Bologna. Diventò anche ordinario di Fisica Matematica a Bologna nel 1879 e fu Direttore della Scuola d'Ingegneria dal 1918 al 1923. Un docente con questa flessibilità e formazione può definirsi un ingegnere, un matematico, un fisico-matematico o un matematico applicato?

Anche a quei tempi si discuteva sulla qualità e sulla quantità di matematica da comminare agli allievi ingegneri. Forse risulta utile riportare su questo punto il parere del matematico Francesco Brioschi (Direttore del Politecnico di Milano (1863-1897), al quale successivamente sarà pure intitolato il Dipartimento di Matematica).

Nella prefazione al volume di Giulio Tomaselli *Esercizi sulle equazioni differenziali* (Hoepli, 1883) il Brioschi scriveva:

Desideravo esprimere ancora una volta, la mia opinione rispetto alla differenza di metodo dell'insegnamento delle matematiche secondo che esso è dato a giovani che a questa scienza dedicheranno la loro vita; oppure ad altri pei quali la scienza stessa, pur formando parte principale della loro coltura, non rappresenterà che un mezzo, uno strumento potente, di cui potranno giovare in ciascuna ricerca che riguarda l'azione di forze naturali. Se nel primo caso lo spingere i giovani verso le più alte teorie, se il mantenerli nel campo ideale della scienza pura, è opera di buon maestro; così non sarebbe nell'altro, mentre in quel secondo indirizzo più che all'altezza deve aversi di

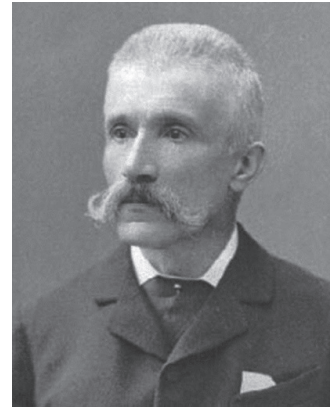


Figura 11. Ritratto di Francesco Brioschi (1824-1897).

colonna i punti riportati nell'esame del candidato. Il voto assegnato numero dei punti per la promozione è di 60 centesimi.

INDICAZIONI DEGLI ESAMI	DATA		ESITO DEGLI ESAMI		FIRMA DEL PROFESSORE
	Sessione Estiva	Sessione Autunnale	Promosso con punti	Respiro con punti	
<b>Esami obbligatori:</b>					
Fisica sperimentale I e II . . .	17 V. 19.		novanta		B. Marconi
Chimica inorganica ed organica . . .	9-10-19		settantacinque		A. Rambani
Analisi algebrica e infinitesimale II . . .	25/10/19		ottantacinque		M. Capelli
Geometria analitica . . . . .					
Geometria proiettiva e descrittiva con disegno . . .	21/9-1919		ottanta		M. Capelli
Meccanica razionale . . . . .	27/10/19		settanta		B. Brambilla

Figura 12. Esempio di “Libretto dello studente” degli anni 1919/20 (Scuola preparatoria e Scuola di Applicazione di Milano).

mira l'estensione e devesi soprattutto conseguire il non facile intento di rendere familiare l'applicazione e l'uso di quel mezzo in problemi concreti. [...]

Non può rimanere dubbio della necessità che nel medesimo sia fatta parte conveniente anche a quelle dottrine le quali danno alle matematiche altresì il carattere di un metodo di induzione. Intendo accennare al calcolo delle probabilità, alle formule di interpolazione, alla teorica delle osservazioni e così via; le quali discipline tutte hanno tanta importanza pel futuro ingegnere quanto il calcolo differenziale o l'integrale. [12]

Problematica ancor oggi di strettissima attualità.

Per curiosità, viene mostrata in Fig. 12 la copia di una pagina di un *Libretto dello studente degli anni 1919-1920* che evidenzia come questo “sacro oggetto dello studente” (a parte la votazione in centesimi) sia rimasto di fatto invariato nel corso dei decenni prima della sua trasformazione in “elettronico”.

### 2.10.6. Cenni sulla Riforma Gentile (e il Ventennio)

Negli anni 1922 e 1923 vennero emessi vari Regi Decreti (cosiddetta Riforma Gentile) che complessivamente prevedevano un riordino importante per l'intero sistema scolastico Italiano. In particolare, il R.D. 30 settembre 1923, n. 2102 (concernente l'Università) stabiliva, tra l'altro che:

- Le Scuole di Applicazioni per Ingegneri diventavano Scuole di Ingegneria;
- L'accesso alle Facoltà era riservato ai soli diplomati dei Licei (Classico e Scientifico);
- Il biennio propedeutico veniva lasciato alle sole Facoltà di Scienze (con eccezione delle sedi di Milano e di Torino).

Il successivo Regio decreto-legge 7 ottobre 1926, n. 1977 (cosiddetto Testo unico-TU dell'Istruzione superiore) all'art. 1 stabiliva che gli studi di ingegneria si

compiono in cinque anni e che sono divisi in due corsi: uno biennale di studi propedeutici ed uno triennale di studi di applicazione.

Nel corso degli studi gli allievi erano obbligati a sostenere gli esami di profitto di: Analisi algebrica ed infinitesimale; Geometria analitica e descrittiva con elementi di proiettiva; Fisica sperimentale (corso biennale); Chimica generale inorganica con elementi di chimica organica; Meccanica razionale; Disegno di ornato e di architettura (corso biennale).

La successiva Riforma De Vecchi del 1935, stabiliva la trasformazione delle Scuole in Facoltà. Inoltre, per tener conto delle sempre più pressanti richieste/esigenze del mondo industriale venivano istituiti, come all'estero, più corsi di laurea. Infatti, oltre al corso di laurea in Ingegneria Civile con 3 Sezioni, venivano istituiti i corsi di laurea in Ingegneria Meccanica, Ingegneria Chimica e Ingegneria Elettrotecnica.

### ***La soluzione al problema edilizio dell'Ingegneria bolognese***

In quegli anni, sotto la forte spinta del mondo industriale stava aumentando, seppur lentamente il numero di matricole dell'Ingegneria bolognese. Quindi la vecchia sede di piazza de' Celestini in centro città si rivelava sempre più insufficiente. Tralasciamo la numerosa bibliografia relativa alle discussioni comunali e universitarie relative all'utilizzazione di fondi speciali per accrescere la Facoltà (e anche lì ci si pose la sempiterna domanda: utilizziamo i nuovi fondi per reclutare nuovi docenti (Muggia) o per realizzare una nuova grande e moderna sede della Facoltà - Puppini)? Come ben si sa, la scelta cadde sulla seconda ipotesi, che portò alla costruzione della lungimirante e maestosa sede (per quei tempi) di porta Saragozza (vedi Fig. 13).

Un ruolo importante per la realizzazione della nuova Facoltà lo giocarono anche l'Amministrazione Comunale, i collegamenti con il Governo Nazionale, nonché due personaggi, presidi di Facoltà: Attilio Muggia (Preside della Facoltà nel 1923-27) e Umberto Puppini (Preside della Facoltà per ben due volte, nel 1927-32 e nel 1941-45), oltre che sindaco e assai influente uomo politico.



*Figura 13. Nuova sede della Facoltà di Ingegneria, Bologna.*

### **Lo sfregio**

Se si va ad analizzare in dettaglio il piano didattico dell'Ingegneria bolognese dell'A.A. 1936/37, si possono evidenziare alcuni fatti rilevanti: la presenza al primo e al secondo anno di un insegnamento (seppur di due sole ore settimanali) di Cultura militare, tenuto da un tenente colonnello e la presenza di figure di altissimo livello tra i docenti, come Quintino Majorana per la Fisica, Beppo Levi per la Matematica e Beniamino Segrè per la Geometria.

In particolare, per quanto riguarda il programma degli insegnamenti matematici in quegli anni si può fare riferimento all'interessante e dettagliatissima monografia di Enrico Obrecht *L'insegnamento dell'Analisi Matematica nella Facoltà di Ingegneria di Bologna*. Come si potrà osservare, i programmi erano ben assestati e contenevano anche argomenti relativi ad alcune questioni matematiche di interesse avanzato.

Ma quelli erano gli anni delle leggi razziali e di altro. Tant'è che all'inaugurazione dell'A.A. 1937/38 il Rettore Alessandro Ghigi aveva così esordito: «L'Anno Accademico, che si inaugura oggi, sorge in una atmosfera di gloria e di trionfo, nella quale campeggia la figura del Duce conquistatore della Pace Romana, fondata sulla giustizia e garantita da un popolo in armi, cui il Fascismo ha ridato la gioia e la gloria di sentirsi italiano» e che «il problema di politica interna che maggiormente interessa il regime in questo momento è quello della razza, inteso, a salvaguardare l'integrità della stirpe dalle deprecabili mescolanze che potrebbero verificarsi con razze inferiori».

«I recenti provvedimenti a tutela della razza rendono vacanti altre 11 cattedre, alle quali sarà provveduto entro breve termine» [2]. Agli ex colleghi cacciati non rivolse neppure il saluto che impone la buona educazione!

I nomi di questi colleghi erano: Tullio Ascarelli (Diritto commerciale), Mario Camis (Fisiologia generale), Gustavo del Vecchio (Economia politica), Emanuele Foà (Fisica tecnica), Guido Horn d'Arturo (Astronomia), Beppo Levi (Analisi matematica), Rodolfo Mondolfo (Storia della filosofia), Maurizio Pincherle (Clinica pediatrica), Beniamino Segrè (Geometria analitica), Giulio Supino (Costruzioni idrauliche), Edoardo Volterra (Diritto romano).

Erano anche gli anni in cui il glorioso annuario della Regia Università riportava in prima pagina di copertina l'indicazione di Regime (ad es.: Regia Università di Bologna, *Annuario 1939-40-XVIII - IV dell'Impero*).

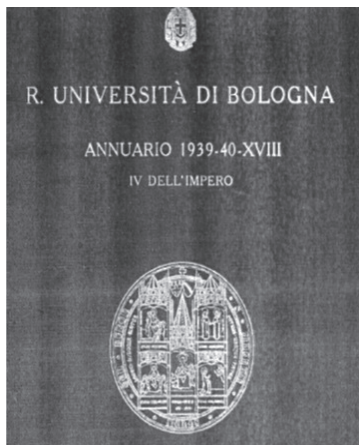


Figura 14. Regia Università di Bologna, "Annuario 1939-40-XVIII - IV dell'Impero".

### 2.10.7. Il ritorno alla normalità nell'Ingegneria di Bologna

Alla riapertura fisica degli spazi dell'Ingegneria bolognese, dopo il terribile periodo di occupazione della sede, i docenti della Facoltà e i loro collaboratori ripresero i loro insegnamenti e le attività di laboratorio con grande passione e ardore. Così, il Rettore Edoardo Volterra, da poco reintegrato nel suo status di professore, poté finalmente aprire con parole di speranza il nuovo anno accademico (23 luglio 1945). Uno scarno Annuario di Ateneo riassume in estrema sintesi gli accadimenti dei quattro A.A. 1942/43, 1943/44, 1944/45, 1945/46.

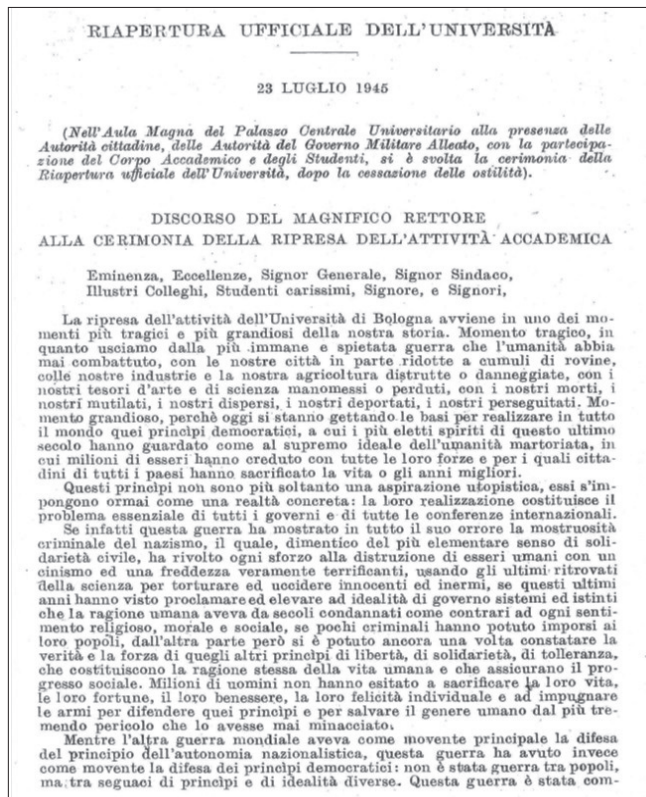
Dopo la ripresa, seguirono circa quindici anni di invarianza normativa a livello nazionale. Tuttavia, nel 1960 l'Università Italiana fu attraversata dall'applicazione dal cosiddetto D.P.R. 60, ossia il D.P.R. 31 gennaio 1960 n. 53, integrato dal D.P.R. 28 agosto 1960, n. 1445). In estrema sintesi, per quanto concerne le Facoltà di Ingegneria questo significò:

- Portare il biennio all'interno delle Facoltà di Ingegneria;
- Conservare lo sbarramento tra biennio e triennio;
- Stabilire il numero minimo di esami per conseguire la laurea;
- Istituire altri corsi di laurea, che così divennero 8 in totale (Civile, Meccanica, Elettrotecnica, Chimica, Elettronica, Nucleare, Aeronautica, Mineraria). Qualche anno dopo arriveranno anche l'Informatica, il Gestionale e l'Ambiente;
- Stabilire 9 insegnamenti per il biennio propedeutico (Analisi 1, Analisi 2, Chimica, Disegno, Meccanica Razionale, Geometria 1, Geometria 2 [sostituibile], Fisica 1, Fisica 2);
- Suddividere gli insegnamenti del triennio in corsi obbligatori e corsi a scelta.

Il dibattito che si creò attorno all'ideazione e alla redazione del D.P.R. 60 fu caratterizzato da non poche discussioni e polemiche. Ve ne furono di aspre tra matematici e ingegneri, con molti dei primi favorevoli al mantenimento di una stretta unitarietà nella formazione di base tra i diversi percorsi. Ve ne furono addirittura di asprissime tra ingegneri e ingegneri, perché mentre alcuni temevano un'eccessiva specializzazione/parcelizzazione degli studi, altri sostenevano fortemente questa direzione. Addirittura, uno slogan in proposito riportava la motivazione che «specialista è colui che conosce sempre più e più intorno a meno e meno» [8]. Peraltro, il tessuto industriale si mostrò contrario alla riforma, soprattutto le grandi industrie, perché risultava difficile prevedere le future richieste del mercato del lavoro e si temeva fortemente di sbagliare programmazione. Alla fine del ricco dibattito prevalse una posizione di equilibrio rispetto della tradizione.

Erano questi gli anni in cui all'interno delle Facoltà, talvolta prendendo spunto dai temi oggetto delle discussioni sulla riforma, i docenti più esperti e dotati di maggior carisma/fascino contribuirono a consolidare e a "sistematicizzare" maggiormente le fondamenta di alcune discipline dei corsi di laurea classici, mentre altri, più giovani, ma non meno brillanti e carismatici, svilupparono le fondamenta fisico-matematiche delle discipline fondamentali dei nuovi corsi di laurea. Questo processo contribuì a plasmare e a creare aggiornate figure di Maestri per le varie discipline dell'Ingegneria, tradizionali e nuove.





*Figura 15. Riapertura ufficiale dell'Università, 23 luglio 1945.*

A questo punto, occorrerebbe riportare un giusto e lungo elenco dei nomi di questi Maestri, almeno di quelli bolognesi. Ma cercare di ricordarli tutti, oltre che assai complesso, sarebbe poco incisivo e darebbe sicuramente luogo a gravi omissioni. Quindi, poiché sono certo che ne dimenticherei tantissimi, chiedendo fin d'ora umilmente scusa e senza voler far torto a nessuno, mi permetterò di ricordare solo due tra i Maestri che più fortemente potrebbero rappresentare i simboli del connubio "mongiano" dell'Ingegneria bolognese del dopo guerra. Uno, fortemente operativo all'incirca fino agli anni della riforma D.P.R. 60, l'altro, principalmente attivo da quel D.P.R. in avanti. Due personaggi afferenti due aree dell'ingegneria relativamente lontane.

Giulio Supino (1898-1978), che potrebbe essere ricordato come il Preside Ingegnere-Matematico o Matematico-Ingegnere. Ebbi la fortuna di incrociare la sua affascinante figura alcune volte nei corridoi della Facoltà nel corso dei miei primi anni da studente.

Rientrato a Bologna dopo la Prima guerra mondiale, Supino vi si laureò in Ingegneria civile prima (1921) e Matematica pura poi (1923). Assistente e docente di Algebra e Geometria (1923/24), e poi di Analisi (1924-28) e di Geometria proiettiva e descrittiva dal 1927 al 1931 (quindi, con il lessico di oggi, di SSD Matematici, ben distinti dai SSD di Ingegneria). Però, poco dopo, docente di Meccanica applicata alle Costruzioni dal 1926, Costruzioni di Ponti dal 1931 al 1934 e Costruzioni idrauliche dal 1934 (appartenenti a SSD tipici delle "dure" ingegnerie Meccanica e Civile di oggi).

Nel 1938 dovette abbandonare l'insegnamento ufficiale a seguito delle leggi razziali. Dal 1941 al 1943 insegnò nella Università clandestina di Roma per la formazione degli studenti ebrei di Roma.

Riprese l'insegnamento a Bologna e nel 1946 passò alla cattedra di Idraulica, che mantenne fino al collocamento a riposo nel 1968 e fu in quegli anni che in lui, più che mai, «tornarono a incrociarsi e a confluire positivamente studi e competenze di fisico matematico e di ingegnere idraulico» [1]. Infine, una curiosità, che, in realtà pare una costante di molti colleghi di Idraulica: insegnò Complementi di Matematica nel 1948-51. Dal 1949 al 1952 insegnò anche Meccanica superiore alla Facoltà di Scienze.

Dal 1962 al 1968 fu Prorettore Vicario dell'Università di Bologna e dal 1965 al 1968 Preside della Facoltà di Ingegneria.

Ercolo De Castro (che, assieme a tanti altri, mi onoro di avere avuto come grande Maestro) fu il fondatore sostanziale dell'Elettronica e il cofondatore delle Comunicazioni Elettriche in Bologna. Nato nel 1929, si laureò nel 1952 in Ingegneria Elettrotecnica a Milano. Dopo un breve periodo in azienda, iniziò ad operare a Bologna nell'area delle Comunicazioni Elettriche che, a suo avviso, avevano bisogno di una più ricca e attenta sistemazione/inquadramento metodologico. Ecco allora che, giovanissimo (1961), pubblicò, come opera propedeutica, il classico ed essenziale volume di *Complementi di Analisi Matematica*, che sintetizzava e arricchiva verso le aree da lui coltivate le fondamenta del corso già tenuto da Supino (ma mai tenuto dallo stesso De Castro). Il testo, scritto con acume e precisione, è stato lungamente apprezzato anche da tanti colleghi matematici (tuttavia, con una battuta, al giorno d'oggi questa opera fondamentale sarebbe sicuramente fuori SSD per l'Autore!).

Alcuni anni dopo aver iniziato a insegnare i primi Corsi di Comunicazioni Elettriche, egli scrisse il volume di *Fondamenti di Comunicazioni Elettriche* (pubblicato nel 1966), nel quale si riconosce l'ingegnere che vuole ben organizzare con puntiglio e precisione anche gli aspetti matematici e formali di una nuova disciplina (per molti di noi, studenti di qualche anno dopo, sembrava talvolta un libro di Matematica applicata!). Per una completa storia delle Comunicazioni Elettriche bolognesi, si faccia riferimento all'eccellente lavoro predisposto dal collega Leonardo Calandrino in questo stesso volume (citato in Bibliografia).

Infine, impossibile non ricordare la sua grande opera *Fondamenti di Elettronica - Fisica elettronica ed elementi di teoria dei dispositivi*, dove nel ricavare e discutere numerosi problemi fondamentali dell'Elettronica moderna (in perfetto spirito mon-giano) faceva emergere tutta la sua acutezza scientifica e il suo nitore matematico. Purtroppo, egli morì a soli 56 anni.

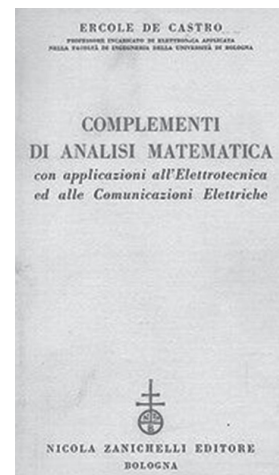


Figura 16. E. De Castro, "Complementi di Analisi Matematica", Bologna 1961.

## Appendice

### **Umberto Puppini (1884-1946): il Preside della nuova sede d'Ingegneria**

*Nato a Bologna da povera famiglia, si laureò in Ingegneria nel 1908. Iniziò a occuparsi di applicazioni della matematica a problematiche di Ingegneria come Assistente di fisica tecnica ed elettrotecnica con Luigi Donati, il quale – in quegli anni – stava dando un notevole impulso all'applicazione della fisica matematica all'ingegneria. Nel 1912 libero docente in idraulica, partecipò alla Prima guerra mondiale. Nel 1920 professore straordinario. Candidato al Consiglio comunale di Bologna in una lista elettorale promossa da un comitato di "partiti d'ordine", nel marzo del 1923 divenne sindaco. Nel 1924 riuscì a far aumentare in modo significativo i contributi dell'amministrazione municipale all'Università.*

*Amico di Pincherle, fu tra i membri fondatori dell'UMI di cui fu anche membro dal 1927 al 1932. Nel 1926 presentò al ministero della Pubblica Istruzione uno schema definitivo di convenzione fra tutti gli enti interessati al rinnovamento edilizio dell'Università di Bologna. Il 31 ottobre 1926 si trovò seduto in auto accanto a Mussolini quando questi venne fatto oggetto di un attentato a Bologna. Il 26 dicembre 1926, si dimise da sindaco per l'entrata in vigore del nuovo ordinamento podestarile.*

*Nel novembre del 1927 al 1932 fu direttore della Scuola di applicazione per ingegneri. Affidò l'incarico di progettare la nuova sede – inaugurata il 28 ottobre 1935- al noto ingegnere Vaccaro. Nel 1929 Puppini fu eletto deputato alla Camera del Regno, riconfermato nel 1934. Nel 1935 nominato Presidente dell'Agip. Dal 1937 al 1945 Preside della facoltà di Ingegneria. Quando nel 1938, a causa delle leggi razziali, la Facoltà perse due ordinari e tre fra assistenti e liberi docenti, il Consiglio presieduto da Puppini scelse di non sostituire i colleghi con altri titolari di cattedra. Nel 1945 fu sottoposto a procedimento di sospensione dalla Commissione di epurazione dell'università con l'imputazione di 'servilismo fascista'; venne assolto e reintegrato. Tra le lettere di apprezzamento scritte per lui, quella di Supino, allontanato dall'insegnamento in seguito alle leggi razziali.*

### **Pierre-François Arago (1786-1853)**

*Matematico, fisico, astronomo e uomo politico francese. Fin da giovanissimo, Arago dimostrò una stupefacente sensibilità matematica, a 17 anni entrò alla Polytechnique, e alla età di 23 anni (1809) fu scelto dal consiglio del Politecnico per succedere a Gaspard Monge per la cattedra di Geometria Analitica. Fu poi Direttore della Polytechnique. Successivamente, venne nominato dall'imperatore Napoleone come uno degli astronomi dell'Osservatorio Reale. Collaborò con Michel Faraday, Joseph-Louis Gay-Lussac e August-Jean Fresnel. Deputato nel 1830 per oltre 20 anni, fu Primo ministro per due mesi nel 1848. Il suo nominativo è uno dei 72 incisi alla base della torre Eiffel.*

### **Charles Dupin (1784-1873)**

*Matematico e ingegnere. Anche lui entrò alla Polytechnique a 17 anni e, ancora da studente, sotto la guida di Monge elaborò e pubblicò alcune nuove teorie geometriche ancor oggi note con il suo nome. Diventò ingegnere navale. Nel 1819 venne nominato professore al Conservatoire des Arts e Metiers, e lo fu fino al 1854. Famose le sue lezioni pubbliche sulle applicazioni industriali della matematica e della meccanica. Nel 1828 venne eletto deputato, nel 1834 ministro della Marina. Inoltre, Dupin, convinto assertore dell'insegnamento mongiano, per il quale all'istruzione sono connessi lo sviluppo tecnico e quindi economico, si adoperò affinché gli anciens élèves della Polytechnique organizzassero corsi di formazione professionale nelle città ove sarebbero stati destinati. Cosa che ad esempio fece Jean-Victor Poncelet.*

**Jean-Victor Poncelet (1788-1867)**

*Nato a Metz, Poncelet, altro allievo di Monge alla Polytechnique, come matematico e ingegnere diede molti contributi allo sviluppo della geometria proiettiva. Fu generale di Napoleone. Dal 1848 al 1850 fu Comandante Generale della École Polytechnique.*

**Nicolas Clément (1779-1841)**

*Noto come Mr. Calorie, fu un fisico e un chimico. Titolare della prima cattedra di Chimica al Conservatoire des Arts et Métiers. Collaborò con Sadi Carnot e lungamente con Charles Desormes (esperimento Clement-Desorme). Fu il primo a definire e a utilizzare il concetto di caloria. Industriale, si occupò dell'estrazione dello zucchero dalle bietole.*

**Baptiste Say (1767-1832)**

*Economista e industriale. Fu tra i fondatori del Conservatoire des Arts et Métiers, dove insegnò lungamente. Già nel 1819 fu per lui creata la prima cattedra di Economia Industriale del Conservatoire des Arts et Métiers.*

**Théodore Olivier (1793-1853)**

*Fu un matematico francese che, dopo aver brillantemente conseguito la laurea a Lione, nel 1811 si trasferì all'École Polytechnique. Nel 1815 fu professore aggregato alla Artillery School di Metz, dove divenne professore nel 1819. Nel 1821 fu chiamato dal re di Svezia Carlo XIV Giovanni (Jean-Baptiste Bernadotte) a riorganizzare la scuola militare di Marienberg. Ritornato in Francia, Olivier fu tra i principali critici del sistema pedagogico che si era venuto instaurando nella École Polytechnique e nel 1829, assieme a Alphonse Lavallée, Jean-Baptiste Dumas e Jean Claude Eugène Péclet, fondò l'École Centrale des Arts et Manufactures, dove fu professore di Geometria e di meccanica. Tra il 1830 e il 1844 fu anche professore all'École Polytechnique. Olivier è principalmente noto per la costruzione di modelli tridimensionali di corpi geometrici per scopo pedagogico.*

**Alphonse Lavallée (1791-1873)**

*Economista, Direttore di varie Aziende, tra cui la Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans. Fu anche uomo d'affari nel settore nautico. Nel 1829 decise di creare una nuova scuola di Ingegneria particolarmente dedicata ai settori industriali emergenti in Francia, e non solo per la pubblica amministrazione. Nel 1829 fu tra i fondatori dell'École centrale des arts et manufactures di Parigi. Lavallée fu il principale finanziatore della scuola e ne fu il primo Presidente. La prima sede della scuola fu nell'Hôtel de Juigné, ora Museo Picasso.*

## Bibliografia

1. *Annuari della Regia Scuola di Ingegneria in Bologna*, Bologna.
2. *Annuari dell'Università di Bologna*, 1877, 1937, 1946.
3. *Archivio Storico dell'Università di Bologna*.
4. L. Calandrino, *Vittorio Gori ed Ercole De Castro, Lincei: Esordio e sviluppo della disciplina delle Comunicazioni Elettriche nella Facoltà di Ingegneria di Bologna*, “Conferenza di Scuola” tenuta il 25 gennaio 2018 presso la Scuola di Ingegneria e Architettura dell'Università di Bologna.
5. G.C. Calcagno, *Un istituto per la formazione degli ingegneri: la «Scuola d'Applicazione» di Bologna*, in *Innovazione e modernizzazione in Italia fra Otto e Novecento*, a cura di E. Decleva, C.G. Lacaita e A. Ventura, Angeli, Milano, 1995, pp. 262-296.
6. G.C. Calcagno (a cura di), *Ingegneri e modernizzazioni. Università e professione nell'Italia del Novecento*, Esculapio, Bologna, 1996.
7. G.C. Calcagno, *Il nuovo ingegnere (1923-1961)*, in *Storia d'Italia. Annali*, vol. 10, Einaudi, Torino, 1996.
8. V. Cardone, P. La Mantia (a cura di), *La storia dell'Ingegneria e degli studi di Ingegneria a Palermo e in Italia*, «Quaderni della Conferenza dei Presidi delle Facoltà di Ingegneria», CUES, Salerno, 2007.
9. C. Citrini, *Matematica e vita civile nel Politecnico di cento anni fa: la vicenda di Max Abraham*, Dipartimento di Matematica “Francesco Brioschi” - Politecnico di Milano, «Annali di Storia delle Università italiane», 12 (2008).
10. F. Desalvo, M. Mussolini (a cura di), *Le radici del Dipartimento di Matematica negli Annuari dell'Ateneo (dal XII secolo a oggi)*, Alma Mater Studiorum, Dipartimento di Matematica, 2018.
11. P.P. Diotallevi, *Una Facoltà tra due Scuole. La Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna (1935-2012)*, in *Scienza e tecnica nel Settecento e nell'Ottocento: la rivoluzione industriale vista dagli ingegneri*, a cura di D. Mirri, E. Mesini, CLUEB, Bologna, 2012.
12. *Dizionario Enciclopedico Treccani*.
13. P.A. Nigro, *La Scuola in Italia dalla Legge Casati all'Autonomia Scolastica*, Istituto Regionale di Studi sociali e politici “Alcide De Gasperi”, Bologna.
14. E. Obrecht, *L'insegnamento dell'Analisi Matematica nella Facoltà di Ingegneria di Bologna*, 2019.
15. [http://www.cisui.unibo.it/annali/01/testi/studi\\_calcagno\\_testo.htm](http://www.cisui.unibo.it/annali/01/testi/studi_calcagno_testo.htm).
16. <http://www-3.unipv.it/ingserv/organizzazione/storia.php>.

## 2.11. EVOLUZIONE DELL'INSEGNAMENTO DELLA SCIENZA DELLE COSTRUZIONI A BOLOGNA

*Angelo Di Tommaso*

### **Preambolo**

Intendo presentare in questa memoria alcuni riferimenti e commenti sull'insegnamento della Scienza delle Costruzioni a Bologna dalla Fondazione della Scuola di Applicazione degli Ingegneri (1877) fino al gennaio 1976 quando fui chiamato a ricoprire una cattedra della disciplina in oggetto a Bologna.

L'accento sarà posto sull'aspetto didattico della disciplina allora nascente, nella cornice sociale, professionale e culturale dell'epoca. Oggi i documenti sono i libri scritti dai docenti incontrati nel cammino evolutivo della scuola di Ingegneria e qualche conferenza pubblicata dai docenti stessi; il contributo scientifico dei docenti è dato per scontato e non rappresenta oggetto di questo scritto. Ho anche inserito qualche aneddoto che ho direttamente vissuto.

### **2.11.1. Scenari dell'Ingegneria civile strutturale alla fine del 1800**

Nella Bologna del 1877, il 14 gennaio, venne inaugurata ufficialmente la "Regia Scuola di Applicazione degli ingegneri", collocata nell'ex Convento dei Padri Celestini (ordine religioso soppresso dai Francesi nel 1797), a pochi passi dalla piazza Maggiore.

In quegli anni apparvero in città i primi focolai di colera, fatto che diede grande impulso al rinnovamento urbano per risanare le costruzioni cittadine malsane. La edilizia di sostituzione nel centro urbano vedeva anche nel 1877 la inaugurazione dell'edificio della Cassa di Risparmio di Bologna, in via Farini, progettato dall'architetto Giuseppe Mengoni, lo stesso che poi sarà fra gli artefici della Galleria di Milano.

L'ingegnere capo del comune di Bologna, Antonio Zannoni, promuoveva il nuovo regolamento edilizio comunale e dava impulso ai grandi lavori della sistemazione dell'acquedotto del Setta, mettendo mano anche alla parziale riattivazione dell'acquedotto romano di Traiano, finché si giunse al piano regolatore di Bologna del 1889 per il quale si procederà all'abbattimento della cerchia muraria cittadina del 1300. Zannoni diverrà poi professore ordinario di Architettura Tecnica presso la Regia Scuola di Bologna dal 1899 fino al 1910.

Questo uno spaccato dell'ambiente cittadino post unitario, in cui nasceva la Scuola di Ingegneria di Bologna.

Rivolgendo lo sguardo all'Europa, limitandomi alle inferenze con la didattica nel campo strutturale delle costruzioni, annoto che al Politecnico di Zurigo insegnava Statica delle Costruzioni dal 1855 il professor Karl Culmann che col suo testo *Die*

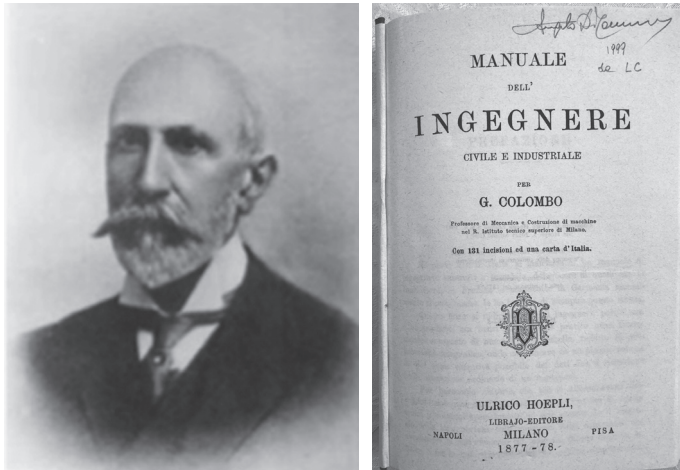


Figura 1. Ritratto di Giuseppe Colombo e frontespizio del "Manuale dell'Ingegnere civile e industriale", Milano 1877.

*Graphische Statik* (1a ed. 1865) tracciò la strada al calcolo strutturale grafico il quale rimase per un secolo la fondamentale base operativa degli ingegneri strutturali di tutto il mondo.

La scuola degli ingegneri di Roma era stata attivata dal 1873 e vi insegnava dal 1879 il professor Luigi Cremona, proveniente dall'attivo Istituto Tecnico Superiore di Milano (poi Politecnico), cultore e promotore del calcolo strutturale grafico e delle rappresentazioni geometriche dette Proiettive. Egli ricopriva a Roma la cattedra di Statica Grafica. Cremona aveva introdotto già nelle sue lezioni a Milano sin dall'anno accademico 1867/68 la Statica Grafica sulla scia di Culmann.

Al tempo la cultura dell'ingegnere civile e industriale era unica ed il calcolo grafico sostanzialmente la attività progettuale sull'aspetto strutturale.

Nello stesso anno 1877 esce la prima edizione, per i tipi di Hoepli (Fig. 1), del manuale dell'ingegnere civile ed industriale detto comunemente "Manuale Colombo" che ha accompagnato e ancora accompagna con edizioni continuamente aggiornate la pratica tecnica dell'ingegnere italiano, anche se nuovi mezzi di informazione tecnica si sovrappongono e la continua evoluzione normativa rincorre le nuove edizioni.

Particolare spazio veniva riservato nel detto manuale sin dalla sua apparizione alla *Resistenza dei Materiali* ed alla *Statica delle Strutture*. Nei vari capitoli venivano puntualizzati i carichi (tensioni) di rottura e di sicurezza dei materiali, quindi le scelte operative dei margini di sicurezza dei materiali delle costruzioni. Scelte che risentivano dello stato della tecnologia del tempo ed anche delle conoscenze sul comportamento strutturale. Il problema della stabilità delle strutture metalliche snelle era ben rappresentato. I calcoli strutturali erano eminentemente elastici per le strutture metalliche, mentre per le strutture murarie e lignee si davano ampie relazioni empiriche, frutto di consolidate esperienze dello sviluppo storico costruttivo. Se si seguono le edizioni dei vari manuali di pratica nel tempo si ha la percezione del sapere tecnico consolidato ed è possibile confrontarlo con i testi dei docenti in cattedra. In quegli anni si diffondeva rapidamente l'uso della ghisa per le colonne e poi per le travi; si

ebbero non pochi crolli perché la produzione non era tecnologicamente controllata nelle operazioni di raffreddamento e cura dei particolari di questo materiale fragile. Allora il calcolo che era già supportato da valide teorizzazioni era non sempre adeguato per il progetto. La scienza e la tecnica si separavano per le esigenze di coprire le procedure tecnologiche con adeguati coefficienti di sicurezza (alcuni scherzosamente li chiamavano coefficienti di ignoranza).

Per quanto riguarda i testi di Meccanica delle Costruzioni europei del tempo, ne vanno ricordati alcuni, fra cui il testo di W. Rankine (1877) in Gran Bretagna, quello di F. Grashof (1878) in Germania, quelli di M. Bresse (1868, 1880) e di V. Contamin (1878) oltre a quello di B. De Saint Venant (1864, 1883) in Francia, quello di Culmann (1865) in Svizzera, il volume in francese del torinese A. Castigliano (1879) in Italia. Segue la serie di volumi di Camillo Guidi pubblicati presso V. Bona di Torino nella collana di *Lezioni di Scienza delle Costruzioni* date nel Politecnico a partire dal volume *Nozioni di Statica Grafica* (1891) e dal volume *Teoria dell'elasticità e resistenza dei materiali* (1891).

### 2.11.2. Albori della Scienza delle Costruzioni a Bologna

#### *Silvio Canevazzi*

Sin dalla sua fondazione (1877), la Regia Scuola di Applicazione degli Ingegneri di Bologna ha fra i suoi docenti Silvio Canevazzi (Fig. 2), modenese. Egli terminerà il suo magistero con la improvvisa fine nel marzo 2018. Egli partecipa alla stesura dei nuovi regolamenti sulle costruzioni del Regno e ad attività normative in conseguenza del terremoto di Messina (1906); partecipa attivamente a consulenze e collaudi per opere impegnative. La nascente tecnica del Calcestruzzo Armato lo vede in prima linea come cultore e promotore delle basi della conoscenza.

Il suo trattato *Meccanica applicata alle Costruzioni* per i tipi di Negro, Torino, 1890 (Fig. 3), è da considerare una delle pietre miliari nello sviluppo della scienza delle costruzioni italiana.

Esso contiene i fondamenti della meccanica del continuo, le basi della teoria dell'elasticità, applicazioni alle costruzioni di acciaio composte e bullonate, le principali macchine di prova dei materiali con la meccanica di precisione del tempo, allineandosi così alla trattatistica scientifico-tecnica coeva europea.

L'appendice del detto volume, "Cenni storici e bibliografici", mostra la conoscenza dei principali trattati coevi presenti nei grandi paesi europei, spesso attraverso le traduzioni in francese. La proiezione di Canevazzi verso le nuove tecnologie è evidente, non figurano peraltro attenzioni alle costruzioni murarie e in legno (per esse si utilizzavano



Figura 2. Silvio Canevazzi (1852-1918).



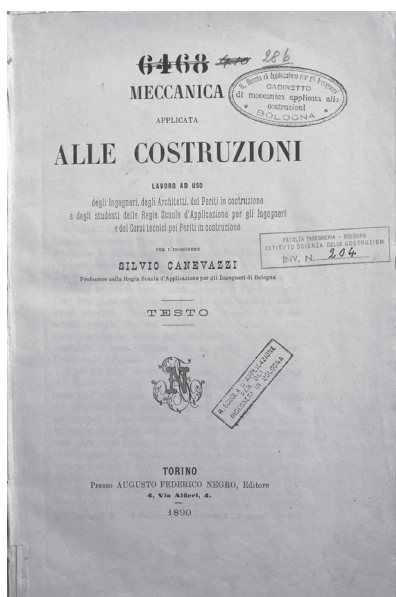


Figura 3. S. Canevazzi, “Meccanica applicata alle Costruzioni”, Torino 1890.

formule empiriche derivanti dalla prassi costruttiva). Eppure nel 1885 la Mole di Alessandro Antonelli di Torino raggiunge i 146 metri, la più alta costruzione di muratura in Europa.

Alla Reale Scuola degli ingegneri di Torino si era laureato ingegnere civile (1873) Alberto Castigliano e questi incluse parti riguardanti le *costruzioni in muratura* nei suoi lavori tecnico-scientifici pubblicati presso Negro, Editore in Torino, in lingua francese. Nella citata appendice di Canevazzi, sintetica ma incisiva, si notano le lente veicolazioni della cultura scientifico-tecnica di fine Ottocento nelle scuole di ingegneria italiane: ad esempio il testo di Culmann citato è quello della traduzione francese (1880) dalla seconda edizione in tedesco, mentre l'originale era del 1865!

Il Gabinetto di Meccanica applicata alle Costruzioni presso la scuola di Bologna da Lui istituito rappresenta in nuce il “Laboratorio

di Resistenza dei Materiali” che sarà poi annesso all'Istituto di Scienza delle Costruzioni che nascerà in seguito e di cui si dirà.

Se si considerano le prassi costruttive del tempo e si confrontano col trattato di Canevazzi, si nota una certa separatezza. Il trattato inquadra la disciplina con rigore scientifico in linea con i trattati coevi delle scuole europee; la separatezza fra pratica corrente e teorie accademiche era condizione diffusa anche in altri siti europei.

Il trattato anzidetto usa algoritmi matematici accessibili agli allievi ben istruiti di scienze matematiche nelle scuole universitarie. Oggi si direbbe che il testo era “elitario”. Tuttavia Canevazzi, consapevole del fatto, puntò anche a colmare questa distanza concedendo spazio ai procedimenti approssimati ben accolti dall'ingegnere costruttore che si destreggiava fra gli algoritmi matematici appresi alla Scuola e la pratica del cantiere, basti pensare ad esempio all'ambientazione bolognese in cui imperversava il colera dove le demolizioni con frettolose ricostruzioni si susseguivano freneticamente. Il trattato però fu un seme che avrebbe dato i suoi frutti negli anni a venire con l'avvento degli elaboratori elettronici con cui quegli algoritmi furono poi resi applicabili.

Come documento comprovante quanto sopra esposto riporto in seguito un passo dagli appunti di un suo allievo, l'ingegner Armando Landini, che aveva preparato la tradizionale dispensa «dalle lezioni del prof. Canevazzi». In essa si riconosce la puntualizzazione sull'aspetto delle approssimazioni nei calcoli dell'ingegnere. Era necessario parlarne in quanto da un lato veniva offerta una trattazione con algoritmi non elementari e dall'altra si concedevano gli strumenti di aiuto al calcolo per la pratica. Il regolo calcolatore di Rietz del 1902 era ancora poco produttivo fino al fondamentale regolo calcolatore di Darmstadt (1934). E ancora, un calcolo raffinato non incontra-

va la coerenza se confrontato con le coeve grossolane tecnologie costruttive e con la pratica del cantiere e della industria.

L'altra questione è che la tipologia dei corsi del tempo e del materiale didattico, quindi dei testi scientifico-tecnici, non era inquadrata nel contesto socio-economico del tempo e allineata con le pratiche correnti delle costruzioni che erano prevalentemente murarie.

Canevazzi nel suo trattato parte subito dalla definizione di corpo, di solido, magari dalla geometria di esso. In seguito nei decenni successivi Albenga nel suo trattato di ponti, nella prima pagina, partirà dalla geometria della trave e al tempo accademicamente si andrà avanti così. Perché fare sul Polcevera un ponte con stralli in calcestruzzo precompresso e non in acciaio? Perché fare uno schema isostatico con selle Gerber e non uno schema iperstatico? A queste similari tipologie di problematiche, rapportate al tempo, raramente allora si concedeva spazio nei testi accademici.

Ecco lo stralcio dalle *Lezioni del prof. Canevazzi* raccolte da Armando Landini nell'A.A. 1907/08 nell'Ateneo Bolognese (l'anno prima *ibidem* terminava il suo magistero Giosuè Carducci, al quale fu conferito il premio Nobel nel 1906).

Una soluzione approssimata o non soddisfa o soddisfa soltanto mediocrementemente e parzialmente il fisico ed il matematico che studia per quanto è possibile esattamente i fenomeni presentati dai corpi.

Una soluzione approssimata invece potrà sempre convenire all'ingegnere per l'esercizio della propria professione, qualora sia dimostrato che l'errore è piccolo e minore delle quantità che nei casi particolari si ritengono apprezzabili. Anzi in tali condizioni una soluzione approssimata può presentare reali vantaggi, poiché tenendo conto dei soli elementi apprezzabili o predominanti sui risultati e trascurando gli altri, permette di arrivare a formule relativamente semplici e di uso comodo.

Il primo modo di studio che ha di mira particolarmente l'esattezza delle ricerche costituisce un ramo della fisica matematica che è conosciuto sotto il nome di "Teoria matematica della elasticità" ed ha speciale interesse per i matematici e per i fisici.

Il secondo modo di studio che non si propone come scopo l'esattezza assoluta ma solo una approssimazione relativa poiché si cerca la semplicità dei risultati, riguardando come esatto tutto ciò che non può condurre ad errore influente sul risultato pratico. È evidente che le due scienze si riferiscono ad una medesima questione avendo attinenza colla fisica e colla matematica, soltanto vi si riferiscono studiandole da due punti di vista diversi e con scopi differenti.

Scopo di queste lezioni essendo quello di iniziare gli allievi ingegneri allo studio razionale delle costruzioni, ci dovremo attenere al secondo modo di studio, cioè ci occuperemo di determinare relazioni semplici e di uso facile e la risoluzione sufficientemente approssimata, rispetto ai bisogni della pratica, dei problemi che si presentano nell'esercizio dell'arte dell'ingegnere.

Quanto impegno di studio per le soluzioni approssimate, ricordo i miei anni di ricerca sulle approssimazioni di calcolo sulle volte sottili cilindriche negli anni Sessanta: impegni totalizzanti oggi risibili!



Figura 4. Eugenio Miozzi (1889-1979).



Figura 5. Pier Luigi Nervi (1891-1979).

Merita una sottolineatura anche la fattiva collaborazione del professor Canevazzi con l'Istituto Ortopedico Rizzoli per la meccanica delle protesi agli arti (intensificata in conseguenza della Prima guerra mondiale): la scienza aveva applicazioni sociali.

Canevazzi fu docente di tanti ingegneri italiani, tra i quali ricordiamo l'ingegner Eugenio Miozzi (laurea 1912, Fig. 4) che operò a Venezia, artefice di vari ponti ancora in uso: il ponte

Littorio (ora "della libertà"), il ponte degli Scalzi, il ponte dell'Accademia (1933, poi ristrutturato 1986).

Tra di essi anche l'ingegner Pier Luigi Nervi (laurea 1913, Fig. 5), di cui si ricordano numerose opere, quali il palazzetto dello sport di Roma, il grattacielo Pirelli a Milano e la partecipazione come strutturista nel gruppo di progettazione della cattedrale cattolica di San Francisco.

### **Giuseppe Albenga**

La fine improvvisa (1918) di Canevazzi lasciò un grande vuoto nella scuola bolognese, per qualche anno il suo allievo Landini coprì alcuni corsi ma poi ci si rivolse alla Scuola di Torino.

Da rilevare che dopo Canevazzi il nuovo direttore (1919-23) della scuola Bolognese fu il professor Luigi Donati (Fig. 6) che era studioso di Fisica Matematica, disciplina la quale curava in particolare la Teoria della Elasticità ed alcuni aspetti della Meccanica delle Strutture in Facoltà di Scienze. Quindi la filiera continuava sul doppio binario, ingegneristico (Landini) e della fisica matematica (Donati) sino alla chiamata (1920) del professor Giuseppe Albenga da Torino.

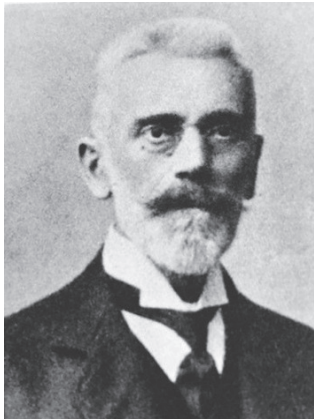


Figura 6. Luigi Donati (1846-1932).

In Europa la Meccanica delle Costruzioni aveva molteplici centri universitari eccellenti di Studio e Ricerca applicativa, le scuole di lingua tedesca rappresentavano la *magna pars* della tecnica proprio nel dopoguerra (dal 1919 in poi), nascono testi importanti ove sempre la statica grafica dominava il calcolo strutturale, dalla trave alle strutture. Fu tradotto nel 1919 il manuale tedesco del professor M. Förster di Dresda per i tipi di Vallardi (Fig. 7): se oggi lo consultiamo possiamo vedere che la statica grafica vi domina sempre.

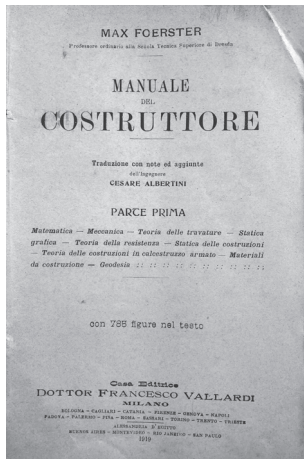


Figura 7. M. Förster, “Manuale del Costruttore”, Milano 1919.



Figura 8. Giuseppe Albenga (1882-1957).



Figura 9. Il professor Giulio Supino (1898-1978) riceve dal sindaco di Bologna Zangheri l'Archiginnasio d'oro.

Il professor Albenga (Fig. 8) fu prima incaricato e poi ricoprì la cattedra di Meccanica delle Costruzioni a Bologna, succedendo al professor Canevazzi. Egli si dedicò molto al tema dei ponti; ebbe anche l'incarico del corso di ponti a Bologna e andò preparando il suo celebre libro *Lezioni di ponti* che pubblicò (1930) subito dopo il ritorno alla sua Torino nel 1928.

Per qualche anno dal 1926 il professor Giulio Supino (1898-1978, Fig. 9) a Bologna coprì l'insegnamento di Meccanica delle Costruzioni e di Costruzione di Ponti; egli aveva formazione matematica assieme a quella ingegneristica e in seguito, dopo un intervallo a causa delle leggi razziali, ritornò alla docenza con l'insegnamento di Idraulica e infine fu Preside di Ingegneria dal 1965 al 1968, periodo caldo delle università.

Il primo capitolo del volume di Albenga (Fig. 10a) si chiama “Richiami di Scienza delle Costruzioni”, infatti viene datata proprio intorno al 1930 la istituzione nelle Scuole di Ingegneria italiane della disciplina con la denominazione “Scienza delle Costruzioni”. Nel R. Politecnico di Torino il professor Gustavo Colonnetti ricopriva la cattedra di Meccanica analitica e grafica: il suo volume di *Fondamenti di Statica* (UTET, 1927) porta come sottotitolo “Introduzione alla Scienza delle Costruzioni”. Consultando il volume si può vedere ancora come la statica grafica è ampiamente utilizzata ma compaiono non pochi metodi tensoriali e analitici.

Albenga si inserì nella vita della città di Bologna, ecco un episodio aneddotico che voglio ricordare: l'edificio della Cassa di Risparmio di Bologna progettato dall'architetto Mengoni ebbe dei dissesti ai grandi capitelli del portico; Albenga intervenne con una tecnica particolare di sostituzione delle parti danneggiate con un dispositivo meccanico (Fig. 10b) di acciaio a vite giovandosi di contributi sperimentali del Gabinetto di Meccanica delle Costruzioni della Scuola di Ingegneria

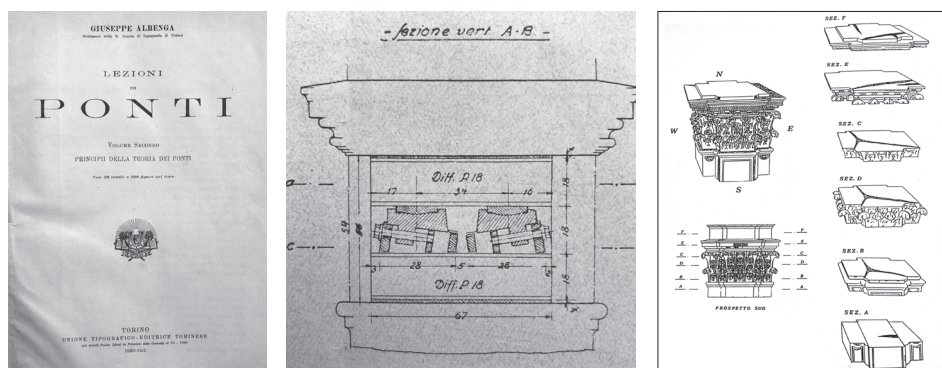


Figura 10a. G. Albenga, "Lezioni di ponti", Torino 1930.

Figura 10b. Il capitello della Carisbo con marchingegno di Albenga.

Figura 10c. Tomografia sonica al capitello Carisbo (intervento di Di Tommaso e Pascale).

(pubblicato sugli Annali dei Lavori Pubblici, Anno 1930, fasc. 5°). Il dispositivo era stato poi nascosto dalle circostanti foglie di acanto originarie fatte dalla pietra di Brenno.

Il caso ha voluto che quando successivamente dirigevo negli anni Ottanta l'Istituto di Scienza delle Costruzioni della Facoltà di Ingegneria di Bologna il dissesto si ripresentò per un altro dei capitelli e si rivolsero a me allora direttore del Laboratorio. Il lavoro fu fatto (1989) con tecniche di diagnostica totalmente diverse (Fig. 10c; tomografia sonica) e tecniche di sutura anch'esse diverse (micro-iniezioni di epox) da quelle precedenti (a distanza di 60 anni, calciobalilla e videogiochi... A. Baricco, *The game*, Torino 2018).

Albenga, pur trasferendosi a Torino, mantenne un legame con Bologna anche dopo, negli anni Cinquanta, quando fu incaricato come consulente nel progetto per la copertura del Palazzo dello Sport di Bologna, oggi PalaDozza (inaugurato nel 1956). La struttura della grande cupola metallica reticolare ha 68 metri di luce libera sul diametro maggiore e altezza in chiave di 25 metri.

Il progetto architettonico venne eseguito dal professor architetto Francesco Allegra di Torino. La struttura è notevole per il tempo in cui fu costruita; in un paio di siti web che oggi ho consultato non appare il nome dello strutturista Giuseppe Albenga accanto agli artefici dell'opera, sebbene la struttura della copertura rappresenti la vera evenienza notevole della costruzione e la documentazione in mio possesso citi Albenga. Gli ingegneri strutturisti spesso non sono menzionati nelle "Guide" anche se il loro contributo è stato essenziale e di grande valore sul lato della "conoscenza".

Queste strutture complesse furono progettate (anni Cinquanta) ovviamente con gli strumenti dell'epoca e cioè con il regolo calcolatore e, forse, con le primissime calcolatrici meccaniche a manovella ed anche presumibilmente utilizzando la statica grafica.

Albenga subì in quegli anni (1953) una triste circostanza per il crollo della guglia della mole Antonelliana mentre si stava occupando del progetto di rinforzo di quella costruzione (la prima fase del rinforzo nella parte di sostegno alla cupola fu attuata nel 1930-41 sotto la sua direzione). Un opuscolo di *Guida alla visita della torre* (a cura di F. Levi e R. Rolli, Torino 2016) che ho fra le mani riporta giudizi di «eccessivo programma di consolidamento» e «interventi invasivi». Giudizi che coinvolgono valutazioni sul grado di sicurezza strutturale del monumento con opinioni prive di precisi riferimenti e motivazioni, e poi la ignominia di “invasività” riguarda la lesa autenticità anche se il suo mantenimento in essere, “com’era”, avrebbe comportato elevato rischio. La gente è incline ad accettare i giudizi somari e gli slogan dominanti delle vestali dell’architettura storica. Si profila il tempo in cui la “gente” non accetta il giudizio dell’esperto, dell’élite cioè, e si sente dire «era eccessivo il rinforzo e ammesso che fosse stato necessario esso era fatto male» in quanto “invasivo”: lesa maestà.

Albenga scomparve per malattia nel 1957. Possiamo leggere nel necrologio redatto dal professor Giulio Supino e pubblicato sul Bollettino dell’Unione Matematica Italiana: «Albenga lasciò suoi allievi a Bologna, tra questi si annovera Odone Belluzzi. Questi di fatto sarà il suo successore nella disciplina che ormai sarà detta “Scienza delle Costruzioni”».

Nel ricordo in suo onore redatto nel 1990 dal professor Piero Pozzati si legge: «L’attività di Giuseppe Albenga costituisce un luminoso esempio di armonica fusione della scienza e della tecnica» (*Figure di Maestri*, Acc. Sci. Bologna, volume 1990). Nelle università italiane era viva la caratterizzazione dei due poli culturali accademicamente separati: tecnica *vs* scienza (!), aspetto tipico nella cultura italiana del tempo (intorno agli anni Novanta) e Pozzati volle sottolineare che in Albenga, maestro del suo maestro, le due anime erano state convergenti.

Qualche anno antecedente alla Prima guerra mondiale il professor Stefan Timoshenko iniziò a Pietroburgo una didattica innovativa nel settore della Meccanica Strutturale: circolano appunti in russo ma il vero ingresso sulla scena mondiale fu la stampa per McGraw-Hill (1934) del volume *Theory of Elasticity*. L’enorme *corpus* della teoria degli “elasticisti” veniva propinato in pillole con esempi e tematiche ridotte e conseguenti, con uso di geometria elementare e algoritmi semplici, insomma molto facilmente abbordabile dagli ingegneri e da qualche bravo architetto.

### **Odone Belluzzi**

Dopo qualche anno di interregno posteriore alla partenza di Albenga nel 1931, Odone Belluzzi (Fig. 11a), grande autodidatta, fu chiamato a ricoprire la cattedra di Scienza delle Costruzioni nell’ateneo Bolognese. Non è dato sapere se Belluzzi ebbe modo di consultare il volume di Timoshenko, certo è che il celebre trattato di Belluzzi (Fig. 11b) si muove nella stessa direzione di Timoshenko, il quale continuava, dopo la presenza nella Scuola di Pietroburgo, il suo magistero alla università USA del Michigan.

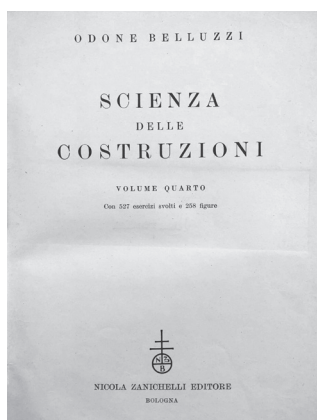


Figura 11a. Odone Belluzzi (1882-1956); 11b. O. Belluzzi, "Scienza delle costruzioni", vol. IV, Bologna 1941.

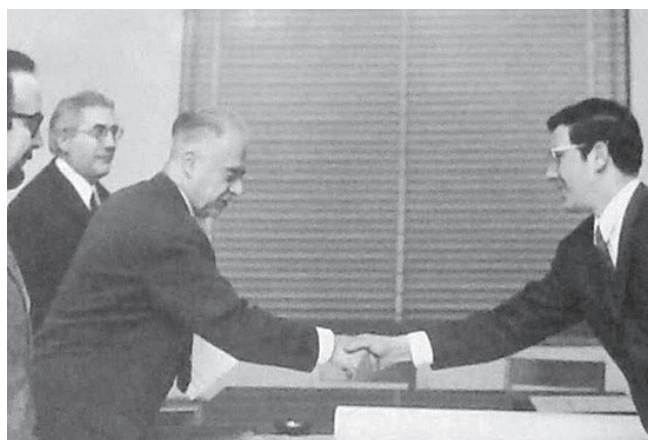


Figura 12. Osvaldo Zanaboni (1902-1981) si congratula con un neo-ingegnere.

Nell'anno 1932 Osvaldo Zanaboni (Fig. 12) fu nominato assistente alla cattedra di Scienza delle Costruzioni bolognese.

Il trattato di *Scienza delle Costruzioni* di Belluzzi vide la luce nel 1941 e indubbiamente si pone in un mondo parallelo a quello dei cattedratici italiani del tempo i quali seguivano la linea deduttiva dalle teorie generali. Il fatto singolare è che oggi, dopo quasi 80 anni, il testo è stato ristampato ed appare ancora nelle vetrine dei librai e gli studenti di Ingegneria bolognesi vanno a lezione attraversando via Odone Belluzzi. Esso oggi ha la funzione di Manuale dell'ingegnere strutturista.

In realtà invece le trattazioni generali di meccanica strutturale, che avevano conosciuto una riduzione di interesse quando la complessità analitico formale non aveva possibilità di applicazione diretta per le difficoltà operative, hanno avuto un rinnovato interesse con l'avvento dei calcolatori elettronici. Tuttavia il testo di Belluzzi resta "il manuale di scienza delle costruzioni".

Belluzzi si spense improvvisamente nell'estate 1956 ed il suo terzo volume venne completato postumo dal suo allievo Piero Pozzati, mentre si possono leggere traduzioni in francese ed in spagnolo, con diffusione attuale anche in America Latina.

**Piero Pozzati, Osvaldo Zanaboni, Michele Capurso**

Piero Pozzati (Fig. 13) si laureò in Ingegneria civile, nel 1945, relatore il professor Odone Belluzzi.

Divenne Assistente alla cattedra di Scienza delle Costruzioni nel 1946 e nel 1949 conseguì la libera docenza in Scienza delle Costruzioni divenendo nello stesso anno professore incaricato di Costruzioni in Legno, Ferro e Cemento Armato (la disciplina che poi si trasformò in Tecnica delle Costruzioni). Nel 1955 Pozzati fu chiamato a Bologna a ricoprire la cattedra di Tecnica delle Costruzioni (la cattedra di Scienza delle Costruzioni era ancora ricoperta da Belluzzi).

Successivamente divenne Direttore dell'Istituto di Tecnica delle Costruzioni quando si attuerà la storica scissione Scienza/Tecnica delle Costruzioni (1956) alla morte di Belluzzi. Il professor Zanaboni sarà direttore dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni. Sottolineo, per un eventuale lettore di oggi, che allora l'Istituto universitario era mono-cattedra.

Nel biennio 1992-94, Pozzati fu Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, guida istituzionale dello sviluppo della tecnica e tecnologia Italiane.

Il professor Osvaldo Zanaboni si laureò nel 1925 al Regio Politecnico di Milano in Ingegneria Industriale e dopo un periodo di attività nell'industria si avvicinò alla Scuola di Bologna ove fu accolto nel 1932 come assistente prima volontario e poi ordinario da Belluzzi.

La cooptazione a quel tempo era l'unica strada di accesso alla carriera universitaria. Nei *curriculum* allora si scriveva: "fu chiamato dal professor... a ricoprire il posto di...". Oggi la cooptazione in genere continua di fatto sotto mentite spoglie; ufficialmente si deve ricercare "il migliore" in assoluto sulla base dei criteri prima stabiliti dalla commissione di concorso. Il dipartimento, ben più grande dell'Istituto, ha più cattedre della stessa disciplina.

Come opera didattica ritroviamo le *Lezioni sulle costruzioni in cemento armato*, G.U.F., Bologna 1938, di Zanaboni, mentre egli produceva intensa attività scientifica in tema di lastre piane e curve.

Nel 1946 fu chiamato a ricoprire la cattedra di Scienza delle Costruzioni alla Università di Trieste.

Nel 1956, dopo un decennio in terra giuliana, venne chiamato alla Facoltà di Bologna a ricoprire la cattedra di Scienza delle Costruzioni resasi vacante per il prematuro decesso del professor Belluzzi.

Fu allora che nacquero i due istituti: Scienza delle Costruzioni e Tecnica delle Costruzioni diretti rispettivamente da Zanaboni e Pozzati; in quegli anni molto si parlava della separazione delle due discipline, essenzialmente come aspetto di cultura scientifico-tecnica sulle costruzioni nel paese. Accadimento molto simile a quello che occorre a Napoli con la morte del professor Adriano Galli, titolare della cattedra di



Figura 13. Piero Pozzati (1922-2015).





Figura 14a. Michele Capurso (1935-1987).

Scienza delle Costruzioni, e la successiva creazione di due Istituti, di Scienza e di Tecnica, diretti dagli allievi di Galli: V. Franciosi e E. Giangreco.

In quel tempo si costruivano molti ponti autostradali nella "Italia della Ricostruzione", mi ricordo quando Giangreco tornava a Napoli da Roma, dopo le sedute del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, e si parlava del ponte Morandi. Ricordo la ammirazione che circondava il grande progettista anche perché erano gli anni del *boom* del precompresso... poi in seguito il caso volle che io conoscessi Morandi in occasione di una commissione in cui fui nominato (ero professore ordinario a Bologna) con lui per l'esame dello stato dei ponti della autostrada Firenze-Bologna. Mi viene in mente la problematica delle realizzazioni e quindi delle tecnologie attuate per la costruzione in dipendenza dal disegno di progetto. La teoria del "precompresso" era bene messa a punto, teneva conto del "fluage" ma esigeva tecnologie appropriate (...e se gli stralli avessero avuto grosse deficienze nella realizzazione?).

Dopo un breve periodo nel quale fu incaricato, Michele Capurso (1935-1987, Fig. 14a), studioso formatosi alla Università di Napoli accanto al professor Giangreco, fu chiamato a ricoprire la seconda cattedra (per sdoppiamento allora si diceva) di Scienza delle Costruzioni di Bologna nel 1971.

Lo sdoppiamento, mal sopportato da Zanaboni, avvenne su iniziativa del professor Supino.

Al tempo (1971), dunque, c'erano due cattedre di Scienza delle Costruzioni, assegnate a Zanaboni e Capurso.

In breve il docente napoletano diede alle stampe le sue lezioni. Apparve subito una impostazione deduttiva chiara e finalizzata alle conoscenze di base dell'ingegnere. Si tratta del volume (Fig. 14b) *Lezioni di scienza delle costruzioni*, Ed. Pitagora, Bologna 1971.

Il testo è rimasto ancor oggi nel catalogo della Pitagora Editrice e viene utilizzato in varie università italiane, esso rappresenta una pietra miliare nella didattica a partire dai primi anni Settanta, si affianca al testo di Belluzzi ma possiede una diversa linea espositiva e ha chiaro intento di coprire un corso universitario secondo gli ordinamenti italiani di fine secolo scorso (corso di terzo anno di laurea quinquennale, dopo robusto biennio matematico, in serie con la Meccanica razionale).



Figura 14b. M. Capurso, "Lezioni di scienza delle costruzioni", Bologna 1971.

Da menzionare anche che Michele Capurso aveva colto le tendenze evolutive della disciplina per cui si impegnò anche sul fronte della formazione professionale al passo con i tempi, restano infatti il suo volumetto *Introduzione al calcolo automatico delle strutture*, Ed. Cremonese, Roma 1977 ed il capitolo “Analisi limite delle strutture” in *Manuale dell’ingegnere*, Ed. Cremonese, Roma 1982.

La sua attività scientifica di alto valore è contenuta nel volume in suo onore (Fig. 14c) che l’Istituto di Scienza delle Costruzioni di Bologna ha voluto dedicargli con una selezione dei suoi lavori scientifici.

Sono stato testimone diretto di tanti episodi in cui la statura scientifica di Capurso emerse con grande evidenza; mi ricordo quando a Napoli fu invitato il professor C. Massonnet per una conferenza, questi era un luminare ben noto in campo internazionale. Ebbene gli furono mostrati i lavori di Capurso sul calcolo a rottura, egli rimase di stucco constatando che il tema che si accingeva a presentare come originale era stato già affrontato e risolto dal giovane ricercatore napoletano.

Qualche anno dopo la chiamata del professor Michele Capurso, fu chiamato il professor Pietro Matildi (1917-2002) a ricoprire per trasferimento (ancora da Trieste) una cattedra bolognese di Scienza delle Costruzioni (allora dicevasi: prima cattedra). Torino, Trieste, Napoli: il triangolo di Scuole da cui la Scienza delle Costruzioni bolognese ha attinto.

Matildi era esperto in ponti metallici e teorie dei gusci sottili e fino al suo pensionamento insegnò nel corso di laurea per ingegneri meccanici. Menziono il suo testo delle *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, edito dalla Casa editrice Adriatica (1978).

Il professor Capurso, affiancando il professor Osvaldo Zanaboni nel corso di studi di Ingegneria civile, inaugurò una linea culturale nuova per Bologna che coesisteva con quella tradizionale, la quale seguiva la impronta data da Belluzzi; quest’ultima linea manteneva sicuramente il suo spazio culturale nella Tecnica delle Costruzioni. Infatti il professor Piero Pozzati, ordinario di Tecnica delle Costruzioni, ne era il continuatore. In sostanza nella ingegneria civile coesistevano le due linee culturali, non in parallelo ma in serie con ovvia parziale discontinuità nel raccordo. Nella ingegneria meccanica la impronta era data dalla linea di Matildi nel solco classico della Scienza delle Costruzioni con origine nella scuola pisana.

Nel gennaio 1976 lo scrivente, Angelo Di Tommaso, scuola napoletana di Giangreco, con libera docenza in Tecnica delle Costruzioni, veniva chiamato a ricoprire una cattedra di Scienza delle Costruzioni (terza cattedra, come allora si denominava, in quanto era andato in pensione il professor Zanaboni).

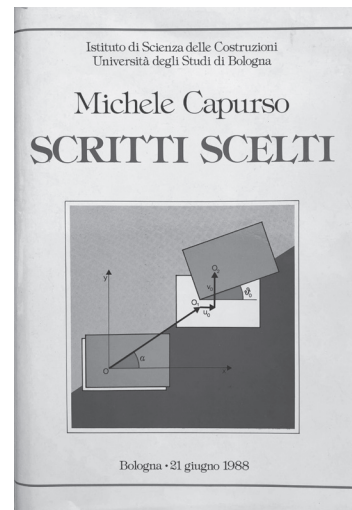


Figura 14c. M. Capurso, “*Scritti scelti*”, Bologna 1988.

Quindi, nel gennaio 1976, i cattedratici di Scienza delle Costruzioni erano tre: Matildi, Capurso e Di Tommaso.

La prematura scomparsa (1987) del professor Capurso lascerà un vuoto fra i suoi tanti amici e allievi.

Vi ho raccontato, con qualche coloritura, questi episodi, che in parte ho vissuto.

Chiudo questa memoria con le parole conclusive di una Conferenza di Albenga, Magister dello Studio Bolognese, tenuta nel 1949 alla fondazione Pesenti di Milano:

proclamo con serena convinzione che l'opera dei nostri tecnici minori, dei ferraioli, dei carpentieri, dei cementieri deve essere esaltata [...], verso questi nostri collaboratori abbiamo degli obblighi.

Noi, mi sia permesso usare una parola che non usa più, noi che siamo la aristocrazia nel campo delle costruzioni, delle aristocrazie abbiamo tutti i doveri e il più imperioso di essi è di persuaderli che l'opera nostra non è tutta materiale, di convincerli che se molti di loro non sanno più offrire la loro fatica come gli antichi magistri «ad maiorem dei gloriam», rimane pur sempre la possibilità di concorrere ad un mondo migliore.

Nei giornali in questi giorni (febbraio 2019) si parla molto di dicotomia nella società: la "élite" e la "gente". Sono di certo categorie esistenti, di definizione alquanto sfuocata. La "élite" tende oggi a non riconoscere e ricompensare appieno la funzione della "gente", e questa di contro tende a voler fare a meno della "élite". In questo caso intendo con "élite" quelli che sono definiti "esperti" (anche gli ingegneri lo sono) e "gente" il popolo di Facebook *et similia*.

## 2.12. LE DISCIPLINE IDRAULICHE NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Giambattista Scarpi*

### 2.12.1. Premessa

Questa breve rassegna vuole delineare in modo succinto lo sviluppo delle discipline idrauliche nel periodo che va dalla nascita della Facoltà di Ingegneria (29 ottobre 1935) alla fine degli anni Settanta del secolo passato, dando prevalente spazio ai docenti che si possono a buon diritto considerare come i fondatori della attuale scuola idraulica bolognese, Umberto Puppini, Giulio Supino e Giuseppe Evangelisti. Del “dopo” viene data solo una sintetica cronologia.

L'idraulica è stata a lungo una disciplina quasi esclusivamente empirica: gli esecutori delle mirabili opere idrauliche dell'antichità (si pensi ad esempio ai sistemi di canalizzazione e regolazione delle acque presso le civiltà mesopotamiche o nell'antico Egitto, ai monumentali acquedotti romani, più recentemente alle sistemazioni fluviali relative al Reno e al Po progettate ed eseguite nel Settecento<sup>1</sup>) operavano secondo regole e procedure trasmesse dalla tradizione e continuamente migliorate dall'esperienza, che però non avevano un riscontro teorico consolidato. Anche trattati come quello di Benedetto Castelli (1558-1643)<sup>2</sup> o di Domenico Guglielmini (1655-1710)<sup>3</sup>, per quanto pregevoli, fornivano pur sempre indicazioni di tipo più qualitativo che quantitativo e presentavano lacune e inesattezze (e anche veri e propri errori). Alla fine del Settecento l'idraulica, a differenza di altre discipline già più evolute sul piano teorico, non era ancora inquadrata con sufficiente rigore scientifico. Merita riportare quanto lamenta a riguardo Pierre Louis George Du Buat (1734-1809) nel *Discours préliminaire* alla seconda edizione (1786) dei suoi *Principes d'hydraulique*<sup>4</sup>:

---

<sup>1</sup> *Memorie idrostatico-storiche delle operazioni eseguite nell'inalveazione del Reno di Bologna [...] dall'anno 1765 fino al 1772 dal P. Antonio Lecchi [...]*, Società Tipografica, Modena 1773, vol. I e vol. II. Si veda in proposito G. Supino, *La inalveazione dei fiumi delle tre province (Bologna, Ferrara e Romagna)*, Discorso inaugurale per l'anno accademico 1966-67, in *Annuario dell'Università di Bologna degli anni accademici 1966-67 e 1967-68*, pp. 284-295.

<sup>2</sup> B. Castelli, *Della misura dell'acque correnti*, Roma 1628, ristampato sempre a Roma nel 1639 e a Bologna nel 1660.

<sup>3</sup> D. Guglielmini, *Della natura dei fiumi. Trattato Fisico-Matematico*, Eredi Antonio Pisarri, Bologna 1697. Nel 1739 ne esce presso Lelio Dalla Volpe una nuova edizione con le annotazioni di Eustachio Manfredi.

<sup>4</sup> P.L.G. Du Buat, *Principes d'hydraulique*, Imprimerie de Monsieur, Paris 1786<sup>2</sup>, pp. VII-X. Il trattato fu tradotto in tedesco nel 1796 da J.W.A. Kosmann, con note e aggiunte di J.A. Eytelwein: *Grundlehren der Hydraulik*, Belitz & Braun, Berlin. Il *Discours préliminaire* di Du Buat è riportato identico nella terza edizione (postuma) del trattato, nel 1816.

Si sa che attualmente le nostre conoscenze di Idraulica sono estremamente limitate; nonostante molti grandi ingegni se ne siano occupati in epoche diverse, dopo tanti secoli ignoriamo quasi del tutto le leggi alle quali è soggetto il moto dell'acqua; solo da centocinquanta anni è stato scoperto, con l'ausilio di esperimenti, quali siano la durata, la portata e la velocità dell'efflusso dell'acqua da una luce. Tutto ciò che riguarda il moto uniforme delle acque che scorrono sulla terra ci è sconosciuto; e per farsi un'idea di quanto poco ne sappiamo è sufficiente gettare uno sguardo su quanto ignoriamo. Valutare la velocità di un fiume del quale conosciamo la larghezza, la profondità e la pendenza; determinare a quale altezza sale il suo livello al confluire di un altro corso d'acqua; prevedere quanto scende il livello se si deriva una portata assegnata; stabilire la giusta pendenza di un acquedotto perché l'acqua mantenga una data velocità; dimensionare un canale di pendenza assegnata per convogliare l'acqua necessaria al fabbisogno di una città; definire il percorso di un fiume in modo che non tenda a modificare il letto nel quale è stato inalveato; calcolare la portata di una condotta della quale siano noti la lunghezza, il diametro e il carico; determinare di quanto un ponte, una briglia o una paratoia faranno innalzare il livello dell'acqua in un fiume; indicare a quale distanza si sentirà il rigurgito e prevedere se la campagna sarà soggetta ad inondazione; calcolare la lunghezza e le dimensioni di un canale per prosciugare terreni paludosi da lungo tempo inutilizzabili per l'agricoltura; stabilire la forma migliore per l'imbocco dei canali e per lo sbocco nei fiumi; determinare la forma più vantaggiosa da dare agli scafi per solcare le acque con la minima resistenza; calcolare la forza necessaria per muovere un corpo che galleggia sull'acqua: tutti questi problemi, e infiniti altri dello stesso genere, sono ancora insolubili. Chi potrebbe crederlo? *Tutti parlano di Idraulica, ma pochi sono in grado di capirla.*

L'ultimo inciso richiama alla memoria il *Witz* di Evangelisti, quando affermava sornione che «l'idraulica la conosce soltanto l'acqua». In realtà la visione di Du Buat è esageratamente pessimistica, probabilmente per fare risaltare maggiormente i risultati che vengono presentati nel suo trattato: è quasi un "manifesto" per invitare gli studiosi a fondare una scienza idraulica, a quell'epoca appena abbozzata, anche se erano già noti da tempo i risultati ottenuti da Daniel Bernoulli nella sua *Hydrodynamica*<sup>5</sup>, da D'Alembert<sup>6</sup> e da Eulero<sup>7</sup>. Nell'Ottocento i lavori di Eytelwein, di Bazin, Boussinesq, Dupuit, Graëff, Rankine, Darcy, Weisbach, Navier, Reynolds, Fantoli, Turazza, Cipolletti e di tanti altri hanno aperto la strada al formarsi di una idraulica "scientifica" analogamente a quanto già era avvenuto, o stava avvenendo, in altri campi, ad esempio nell'elettromagnetismo.

Quando, nell'anno accademico 1935/36 (per l'esattezza il 29 ottobre 1935), il Regio Istituto Superiore d'Ingegneria in Bologna (già Regia Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri) entrò a far parte dell'Università come Facoltà di Ingegneria, nello studio bolognese le discipline idrauliche potevano contare già su una solida tradizione:

<sup>5</sup> D. Bernoulli, *Hydrodynamica, sive De viribus et motibus fluidorum commentarii*, typis Joh. Henr. Deckeri, Argentorati [Strasburgo] 1738.

<sup>6</sup> J-B.L. d'Alembert, *Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides*, Chez David, Paris 1744.

<sup>7</sup> L. Euler, *Principes généraux du mouvement des fluides*, Mémoires de l'Académie royale des sciences et des belles lettres de Berlin, vol. 11, 1757, pp. 274-315.

il fondatore della Scuola (della quale fu direttore dal 1877, anno della fondazione, al 1893), Cesare Razzaboni (1827-1893), accademico Linceo, era professore di Idraulica e aveva dato vita a un laboratorio (il Regio Gabinetto di Idraulica) in modo da poter affiancare alla ricerca teorica l'indispensabile contributo di quella sperimentale. Nell'ultimo anno accademico del Regio Istituto, il 1934/35, ne era Direttore Giuseppe Sartori, professore di Elettrotecnica generale, che fu anche il primo Preside della nuova Facoltà fino al 1937, anno della sua scomparsa.

Il comparto delle materie idrauliche era già allora organizzato su due strutture, l'Istituto di Idraulica e l'Istituto di Costruzioni idrauliche (in quasi tutte le sedi nazionali vi era un unico Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche); del primo era direttore Umberto Puppini (ordinario di Idraulica, che già era stato direttore della Scuola dal 1927 al 1932 e che divenne Preside della Facoltà alla morte di Sartori) e assistente Carlo Baietti; del secondo era direttore Giulio Supino, da un anno professore straordinario di Costruzioni idrauliche, e assistente Giuseppe Evangelisti. Nella nuova sede ognuno dei due Istituti disponeva di un ampio e ben attrezzato laboratorio, situato al piano terreno. I due laboratori erano comunicanti (come gli Istituti) e disponevano di una zona destinata a officina meccanica e a falegnameria che permettevano di realizzare autonomamente i manufatti necessari per le ricerche sperimentali e per la realizzazione dei modelli fisici. Dalla metà degli anni Cinquanta l'Istituto di Idraulica aveva a disposizione nell'edificio delle ex-scuderie anche un rudimentale tunnel aerodinamico (tipo Eiffel) utilizzato per la realizzazione di modelli idraulici in aria. Il tunnel era attrezzato con un ventilatore elicoidale a passo variabile, alimentato da un motore da 35 kW. Questa apparecchiatura è stata successivamente trasferita nel laboratorio di Fluidodinamica realizzato dal Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIN) nella sede di Forlì. Da alcuni anni il laboratorio di Idraulica e quello di Costruzioni idrauliche sono stati riuniti e trasferiti nella nuova sede del Lazzaretto, rinnovandone e ampliandone l'attrezzatura.

Puppini, Supino ed Evangelisti possono essere a buon diritto considerati i fondatori della scuola idraulica bolognese, che ha sempre goduto di grande prestigio, non solo a livello nazionale. Caratteristica comune a questi tre pilastri delle discipline idrauliche (e al loro illustre predecessore Razzaboni) è un'ottima conoscenza della matematica e la convinzione che quest'ultima sia indispensabile per inquadrare i fenomeni fisici, per fornire soluzioni generali e non solo contingenti; e il fatto di avere una cultura scientifica non limitata alla propria specifica disciplina, ma con uno spettro molto largo, in modo da poter cogliere le numerose interessanti analogie e le possibili sinergie fra diversi campi del sapere: il tutto non disgiunto da una solida cultura umanistica, che rende pregevoli i loro scritti (in particolare quelli di carattere divulgativo) anche dal punto di vista estetico.

Nell'atrio della Facoltà spiccano i medaglioni bronzei dei tre studiosi, e fra il primo e il secondo piano dello scalone è collocato un busto marmoreo di Razzaboni, sopra la lapide commemorativa lì trasferita dalla vecchia sede della Scuola in Piazza dei Celestini: in essa Razzaboni è definito, a conferma di quanto detto, *Ingegnere-Architetto, Matematico ed Idraulico*.

### 2.12.2. I tre pilastri

#### ***Umberto Puppini***

Umberto Puppini (1884-1946) si laureò in Ingegneria civile con il massimo dei voti nel 1908, presso la Regia Scuola di applicazione per gli Ingegneri di Bologna, e lo stesso anno iniziò la carriera universitaria come assistente di Fisica tecnica e di Elettrotecnica nell'Istituto allora diretto da Luigi Donati (1846-1932), che era stato fra i suoi Maestri. Nel 1910 divenne assistente di Idraulica sotto la guida di Giovanni Cicali (1875-1952), professore di Macchine termiche, idrauliche ed agricole, che teneva per incarico il corso di Idraulica ed era direttore dell'omonimo Gabinetto scientifico; nel 1912 prese la libera docenza in Idraulica. Nominato straordinario di Idraulica nel 1920, divenne ordinario dal 1923. Direttore della Regia Scuola d'Ingegneria in Bologna dal 1927 al 1932, si adoperò con grande impegno e passione perché venisse costruita la nuova sede della Facoltà di Ingegneria (inaugurata il 28 ottobre 1935, anniversario della marcia su Roma), di cui fu Preside dal 1937 al 1945. Fu tra i fondatori dell'Unione Matematica Italiana, Presidente dell'Istituto per le Applicazioni del Calcolo e del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Accademico Benedettino dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna e Accademico Corrispondente dell'Accademia delle Scienze di Torino. Rivestì diverse cariche pubbliche: tra le altre quelle di Sindaco di Bologna (città per la quale ebbe sempre un forte sentimento di gratitudine), sottosegretario alle Finanze, ministro delle Comunicazioni, Presidente dell'Agip. Fu persona di grande rigore morale ed onestà, qualità riconosciutegli anche da chi non condivideva le sue scelte politiche. A tale proposito ricordo quanto scrisse di lui Giulio Supino nel necrologio per il Bollettino dell'Unione Matematica Italiana: «Ebbe anche numerose cariche pubbliche e tutte tenne con quell'indiscutibile rettitudine e quello scrupoloso senso del dovere che lo ha guidato in tutta la sua vita e che lo ha fatto ammirare dai discepoli e dagli amici e rispettare dagli avversari. La rinuncia a prebende che erano percepite usualmente da chi quelle cariche ricopriva, il coraggioso contegno al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici contro la costruzione dell'idroscalo di Roma, l'opposizione alla chimerica autarchia dei combustibili liquidi, in seno al Consiglio Nazionale dell'Autarchia, sono fatti noti e ricordati da tutti»<sup>8</sup>.

La sua produzione scientifica riguarda prevalentemente argomenti di idraulica e meccanica dei fluidi, anche se non mancano importanti lavori nel campo della scienza/tecnica delle costruzioni. Da ricordare il suo trattato *Idraulica*, a tutt'oggi ancora leggibile con profitto, la cui ultima edizione uscì postuma nel 1947 presso l'editore Zanichelli (rivista nelle ultime bozze da Giovanni Cocchi, laureatosi nel 1936 ed entrato nel 1938 come assistente), che inquadra in maniera rigorosa lo studio dei fenomeni idraulici facendo ampio ricorso allo strumento matematico, in questo seguendo la tradizione che, attraverso l'insegnamento di Luigi Donati, risale a Razzaboni.

<sup>8</sup> G. Supino, *Umberto Puppini*, «Bollettino dell'Unione Matematica Italiana», Serie 3, vol. 1 (1946), n. 1, p. 70.

Nel 1913 pubblicò *Sui fondamenti scientifici dell'Idraulica* dove si trova formulato un teorema di reciprocità per le falde acquifere (artesiane o freatiche), formalmente analogo a quelli vigenti in altri campi della fisica, che gli valse nel 1915 il premio Boileau, assegnato dall'Accademia delle Scienze di Francia: la relazione fu scritta dal celebre fisico-matematico Joseph Valentin Boussinesq (1842-1929), professore di Meccanica dei fluidi all'Università di Parigi<sup>9</sup>, allievo di Barré de Saint-Venant.

Molti dei lavori di Puppini nel campo dell'Idraulica sarebbero oggi probabilmente classificati come appartenenti più al campo della "Meccanica dei fluidi" che non a quello dell'Idraulica vera e propria, intesa (o limitata, come vorrebbe una tendenza attuale?), quasi in senso etimologico (*idraulica*, da ἵδωρ, acqua, e αὐλός, tubo), come disciplina che dovrebbe occuparsi soltanto del moto dell'acqua nelle condotte o nei corsi a superficie libera. Il suo trattato di Idraulica, come si è detto, è impostato in maniera rigorosa, seguendo una tendenza che andava ormai diffondendosi anche in Italia (si vedano per esempio le *Lezioni di idraulica* di Giulio De Marchi (1890-1972), che cita diversi lavori di Puppini), così come in Europa: ne sono esempi in Francia il trattato di Flamant<sup>10</sup> del 1923 o l'opera in molti volumi di Henri Bouasse (1866-1953), pubblicata fra il 1923 e il 1928 nella "Bibliothèque scientifique de l'ingénieur et du physicien" che ha come motto «Beaucoup de Science mais en vue des Applications», in Germania il volume di Forchheimer<sup>11</sup> (l'edizione del 1930 cita un lavoro di Puppini sui pozzi piezometrici pubblicato in italiano su «L'Energia elettrica» del 1925) e in Inghilterra il Gibson<sup>12</sup>. Da rilevare l'apertura di Puppini verso altre discipline, caratteristica che si ritroverà anche nei suoi allievi Supino ed Evangelisti, in particolare verso l'elettrotecnica, che gli permise di mettere a punto dei modelli analogici elettrici per lo studio del comportamento delle falde acquifere. Notevoli risultati egli ottenne anche con le sue ricerche sui profili di rigurgito nei canali, sul riscaldamento dell'acqua nelle condotte, sulle linee segnalatrici di possibilità climatica. Fondamentale il contributo (del 1923) al calcolo dei canali di bonifica completato nel 1931 e 1932 dalle memorie sui coefficienti udometrici (basato sui risultati di una ricerca del 1929 di Giulio Supino), dove propone un metodo rapido per il calcolo delle reti di canali, noto oggi come "metodo italiano di calcolo", che veniva indicato nel classico *Manuale dell'Ingegnere* del Colombo come metodo di Puppini-Supino.

Altri importanti lavori riguardano la propagazione ondosa nei corsi d'acqua, osservazioni critiche sul moto permanente nei canali e sul moto vario nelle condotte in pressione. Notevoli sono le considerazioni riguardo alla definizione del coefficiente

<sup>9</sup> J. Boussinesq, *Intéressant théorème de réciprocité dans les phénomènes permanents de filtration, dû à M. Umberto Puppini. Rapport sur le prix Boileau d'Hydraulique pour l'année 1915*, «Journal de mathématiques pures et appliquées», 7<sup>e</sup> série, tome 1 (1915), pp. 285-290.

<sup>10</sup> A. Flamant, *Hydraulique*, Béranger, Paris-Liège 1923.

<sup>11</sup> P. Forchheimer, *Hydraulik*, Teubner, Leipzig-Berlin 1930<sup>3</sup>.

<sup>12</sup> A.H. Gibson, *Hydraulics and its applications*, Constable & Company, London 1919.



di viscosità, dove viene acutamente analizzato il classico enunciato di Newton sulla resistenza che si origina nei fluidi in moto<sup>13</sup>.

### **Giulio Supino**

Giulio Supino (1898-1978) si laureò con lode in Ingegneria civile nella Scuola di Bologna nel 1921, e, sempre a Bologna, in Matematica pura nel 1923 (con una tesi di argomento applicativo, *Sull'equilibrio dei solidi elastici isotropi e dei solidi disgregati*). Fu dapprima assistente presso varie cattedre dell'Istituto matematico, incaricato di Geometria proiettiva e descrittiva dal 1927 al 1931. Libero docente in Meccanica applicata alle costruzioni nel 1927, nel 1928 divenne assistente di Costruzioni idrauliche sotto la guida di Puppini. Dall'anno accademico 1931/32 al 1933/34 tenne per incarico il corso di Ponti e nel 1932/33 e 1933/34 anche quello di Costruzioni idrauliche, materia di cui divenne professore straordinario nel 1934/35, e ordinario dalla fine del 1937. Nel 1949/50 ha tenuto per incarico il corso di Meccanica superiore e dallo stesso anno accademico ha dato vita, assieme a Giuseppe Evangelisti, al corso di Complementi di matematiche (che è stato tenuto da docenti del settore idraulico fino all'anno accademico 1975/76) convinto che un bravo ingegnere dovesse conoscere i metodi matematici più avanzati per poterli applicare con profitto alla soluzione di problemi concreti.

È stato Preside della Facoltà di Ingegneria dal 1965 al 1968. Era Socio nazionale dell'Accademia dei Lincei, Accademico Benedettino dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, Socio Corrispondente dell'Accademia delle Scienze di Torino, dell'Istituto Lombardo di Scienze Lettere e Arti, dell'Accademia dei Georgofili, dell'Académie des Sciences di Tolosa; la Technische Hochschule di Monaco di Baviera gli aveva conferito la laurea *honoris causa*; è stato Vicepresidente della IAHR (International Association of Hydraulic Research), fondatore assieme a Bruno Finzi dell'AIMETA (Associazione Italiana di Meccanica Teorica e Applicata) di cui fu anche Presidente, membro del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, del Consiglio Superiore di Sanità e del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione. Per le sue benemerite il Comune di Bologna gli ha assegnato nel 1974 l'Archiginnasio d'oro.

Nel 1938, quando a seguito delle leggi razziali venne estromesso dall'Università<sup>14</sup>, era ordinario di Costruzioni idrauliche e direttore dell'Istituto omonimo: dal 1938/39 l'insegnamento di Costruzioni idrauliche e la direzione dell'Istituto furono assegnati a Giuseppe Evangelisti, che nel frattempo, vincitore di concorso, era stato nominato professore straordinario. Alla fine della guerra Supino fu reintegrato (formalmente a partire dal 1/1/1944) e dal 1946, dopo la morte improvvisa di Puppini,

<sup>13</sup> I. Newton, *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, Streater, Londini 1687, p. 373: «Resistentiam quæ oritur ex defectu lubricitatis partium fluidi, caeteris paribus, proportionalem esse velocitati, qua partes fluidi separantur ab invicem».

<sup>14</sup> Il fatto è liquidato dal Rettore Alessandro Ghigi nel discorso inaugurale dell'anno accademico 1938-39 con un semplice inciso: «I recentissimi provvedimenti a tutela della razza rendono vacanti altre 11 Cattedre, alle quali sarà provveduto entro breve termine»: R. Università di Bologna, *Annuario dell'Anno Accademico 1938-39 – XVII, III dell'Impero*, Bologna, p. 89.

si trasferì alla cattedra di Idraulica, assumendo la direzione dell'Istituto omonimo. Nel 1954 diede alle stampe un testo di *Idraulica generale*<sup>15</sup>, pensato per gli studenti, che raccoglieva il contenuto delle sue lezioni, e che fu ristampato per molti anni: nell'*Avvertenza* all'inizio del volume Supino raccomanda «come necessario complemento, di leggere e consultare i migliori trattati di questa disciplina; in particolare l'*Idraulica* di Umberto Puppini, che del resto troveranno frequentemente richiamata in queste lezioni».

La produzione scientifica di Supino è assai vasta e abbraccia argomenti diversi, sia di ingegneria, sia di matematica. La sua profonda conoscenza e padronanza dello strumento matematico gli hanno permesso di ottenere ragguardevoli risultati in entrambi i campi. Inizialmente le sue ricerche ingegneristiche si sono indirizzate verso la scienza delle costruzioni, dove, padroneggiando la teoria matematica dell'elasticità, è stato in grado di fornire importanti risultati, utili per le applicazioni tecniche. Successivamente i suoi interessi si sono rivolti al campo dell'idraulica. Di particolare rilievo i contributi al calcolo delle reti di canali di bonifica con il metodo del volume d'invaso, gli studi sulle onde di oscillazione e di traslazione, sui modelli fisici; i risultati relativi alla possibilità di moti irrotazionali nei fluidi viscosi (esposti in una memoria del 1949 ai Lincei) sono riportati nell'*Handbuch der Physik* come «first» e «second» «theorem of Supino»<sup>16</sup>. Nel 1938, da poco ordinario, pubblica il trattato *Le reti idrauliche* (Zanichelli) dove sono contenuti in forma organica e unitaria i metodi di calcolo per le reti di deflusso (bonifiche, fognature, reti idrografiche), opera di grande utilità non solo per gli studiosi, ma anche per i tecnici e i professionisti. A riprova della profonda stima reciproca fra i due studiosi, nella *Prefazione* scrive: «ringrazio in particolare il mio illustre Maestro, S.E. il prof. Umberto Puppini che ha acconsentito a leggere il manoscritto di questo libro». Il volume avrà nel 1965 una nuova edizione, profondamente rielaborata e aggiornata con i più recenti risultati, presso l'editore Pàtron: quanto l'argomento si sia sviluppato dall'epoca della prima edizione lo dice già il numero delle pagine che passa da 380 nella prima a quasi 800 nella seconda. In quest'ultima edizione vengono discussi anche i problemi relativi alla filtrazione attraverso gli argini, al trasporto solido, al moto vario nei canali, e sono forniti criteri per il calcolo statico delle opere.

Notevoli i risultati ottenuti da Supino nel campo della propagazione ondosa, con particolare riferimento ai problemi riguardanti la laguna veneta, talché gli fu affidata la presidenza del Comitato per la difesa di Venezia.

Fu studioso profondo nella teoria, ma sempre attento alle possibili applicazioni ingegneristiche dei risultati degli studi svolti: attitudine che ebbe modo di dimostrare in occasione di eventi naturali disastrosi, quali la rotta del Po del 1951, l'alluvione di Firenze del 1966. Fu Vicepresidente della cosiddetta "Commissione De Marchi" (Commissione Interministeriale per lo Studio della Sistemazione Idraulica e della

<sup>15</sup> Pàtron, Bologna 1954.

<sup>16</sup> C. Truesdell e R.A. Toupin, *The classical field theory*, in *Handbuch der Physik*, a cura di S. Flügge, vol. III/1, Springer, Berlin-New York 1960, p. 395.

Difesa del Suolo) istituita dopo le alluvioni del 1966, e, all'interno di essa, Presidente della seconda Sottocommissione ("Sistemazione idraulica dei bacini idrografici"). Gli atti, pubblicati nel 1970, sono oggi disponibili in rete (<https://www.censu.it/attivita/atti-della-commissione-de-marchi-1970/>). Come si legge nel sito del Gruppo italiano di Idraulica (GII): «la Commissione De Marchi è stato un passo fondamentale nella definizione della fragilità idraulica e geologica dell'Italia. All'interno degli Atti sono esaminate le questioni tecniche, economiche e legislative connesse alla esposizione al rischio idraulico dell'Italia dell'epoca. Vengono proposti interventi, strutturali e non, di sistemazione idraulica e di difesa del suolo che ancora oggi costituiscono un riferimento degno della massima attenzione».

Svolse anche attività professionale e di consulenza: per gli acquedotti di Argenta, di Portomaggiore e di Palermo, per il porto di Gela, per la centrale di Porto Tolle, ecc.; in campo internazionale, per la sistemazione del delta del Mekong e del fiume Senegal. A proposito dell'attività professionale è purtroppo ancora attuale quanto Giovanni Cocchi ebbe a ribadire nella commemorazione di Supino tenuta nel 1979 all'Accademia delle Scienze di Bologna: «presentemente nel nostro paese l'attività professionale dei docenti universitari di materie tecniche è repressa in ogni modo, mentre in altri Paesi più avvedutamente si reputa che per insegnare bene a progettare è anche necessaria la pratica che si acquista progettando».

Supino fu quasi certamente il primo a infrangere, nel 1954, il tabù accademico dell'Istituto monocattedra: propose infatti alla Facoltà (presieduta da Paolo Dore), e ottenne, lo sdoppiamento della cattedra di Idraulica, separando il corso per ingegneri civili e minerari da quello per ingegneri "industriali" (meccanici, elettrotecnici) e chimici; tenne per sé il corso per civili e minerari, mentre l'altro fu affidato a Giovanni Cocchi, nel frattempo vincitore del concorso nazionale.

La scuola idraulica cui ha dato vita Supino ha "colonizzato" la sede di Genova, dove Enrico Marchi, allievo della Scuola bolognese dal 1951, vincitore di concorso, si insediò alla fine del 1961 (sucedendo a Marcello Lelli, che si era laureato nel 1914 nella Scuola di Bologna ed era stato allievo di Puppini) creando a sua volta una scuola che più tardi, assieme a giovani colleghi bolognesi, avrebbe contribuito a "colonizzare" la nuova Facoltà di Ingegneria a Firenze. Così è stato per la sede di Torino Politecnico, dove Giannantonio Pezzoli, anch'egli allievo della Scuola bolognese dal 1956, vincitore di concorso nazionale, si trasferì nel 1968 (sucedendo a Bruno Gentilini che passò al Politecnico di Milano), dando nuovo impulso alle discipline idrauliche nella sede torinese.

Supino è stato maestro esemplare, così come lo era stato Puppini (assieme a Burgatti, Enriques, Pincherle, Tonelli, Albenga, e Donati, come ebbe a dire nel discorso di ringraziamento in occasione del conferimento dell'Archiginnasio d'oro: «oltre all'insegnamento scientifico ho avuto da loro l'esempio di come un insegnante debba assolvere ai propri doveri verso i discepoli»). Nella commemorazione di Giulio De Marchi, che tenne ai Lincei nel 1972, affermava di ritenere che «il più nobile compito a cui un uomo possa dedicarsi sia quello del Maestro; sia cioè quello di indirizzare i giovani allo studio, alla ricerca, alla critica, alla serietà nella professione e nella vita».

### **Giuseppe Evangelisti**

Giuseppe Evangelisti (1903-1981), inizialmente iscritto alla Regia Scuola Superiore di Chimica industriale<sup>17</sup>, si laureò a Bologna in Ingegneria civile, col massimo dei voti, nel 1927; dopo la laurea esercitò per qualche tempo la libera professione: nel 1931 divenne assistente volontario alla cattedra di Costruzioni idrauliche, di cui era titolare Puppini, e successivamente, dal 1935, Supino. Nel 1937 prese la libera docenza in Idraulica. Nel 1938 Supino, che era ordinario di Costruzioni idrauliche e direttore dell'Istituto omonimo, fu estromesso dall'Università per effetto delle leggi razziali. Evangelisti, vincitore nel frattempo di un concorso nazionale, fu nominato professore straordinario di Costruzioni Idrauliche e divenne direttore dell'omonimo Istituto. Dal 1939/40 tenne per incarico il corso di Impianti speciali idraulici, raccogliendo poi il testo delle sue lezioni in due volume usciti per i tipi di Pàtron nel 1947, che negli anni successivi saranno aggiornati e ripubblicati con il titolo *Impianti idroelettrici*. Nel 1946 Supino, reintegrato in servizio dopo la parentesi della guerra e il crollo del regime fascista, riassunse per un brevissimo periodo la direzione dell'Istituto di Costruzioni Idrauliche: poco tempo dopo, come già detto, a seguito della improvvisa scomparsa di Puppini, si trasferì all'Istituto di Idraulica, ed Evangelisti tornò a dirigere l'Istituto di Costruzioni Idrauliche.

Era Socio nazionale dell'Accademia dei Lincei, Accademico Benedettino dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, Corrispondente dell'Istituto Lombardo di Scienze Lettere ed Arti, socio dell'Accademia nazionale di Agricoltura, dell'Académie des Sciences di Tolosa, membro onorario dell'Institut Belge de Régulation et d'Automation, dell'Association Suisse pour l'Automation e dell'Executive Council of the International Federation of Automatic Control (IFAC). La Technische Hochschule di Monaco di Baviera gli conferì la laurea *ad honorem* nel 1971. È stato membro del Consiglio superiore della Pubblica istruzione, del Consiglio superiore di Sanità ed ha ricoperto varie cariche all'interno del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Il 19 gennaio 2006 la Facoltà di Ingegneria ha intitolato a suo nome l'aula 6.2.

Durante un breve soggiorno negli Stati Uniti presso il M.I.T. dove si era recato per illustrare lo stato delle ricerche idrauliche in Italia, ebbe modo di rendersi conto delle enormi potenzialità che potevano offrire i nuovi mezzi di calcolo automatico, in particolare per quello che riguardava la regolazione delle turbine idrauliche e lo studio della stabilità dei sistemi complessi: è del 1947 il suo trattato *La regolazione delle turbine idrauliche* (Zanichelli), un vero apripista nel suo campo, che mise a disposizione non solo degli studiosi ma anche degli operatori tecnici i risultati resi possibili dagli sviluppi di quella che Norbert Wiener nel suo volume del 1948 avrebbe chiamato «cibernetica»<sup>18</sup>. Questi studi lo convinsero a far acquistare dalla Facoltà nel

<sup>17</sup> *Archivio storico dell'Università di Bologna. Archivio degli studenti*, Fascicolo N. 42. Il trasferimento a Ingegneria è datato 27.10.1924.

<sup>18</sup> N. Wiener, *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine*, M.I.T. Press, Boston 1948; tradotto in italiano nel 1953 per i tipi di Bompiani.

1951 una calcolatrice elettronica analogica che fu installata nella “Sala calcoli” presso la Biblioteca; successivamente, nel 1956, fu acquistata una macchina digitale, la Bendix D12. Nel 1957 fondò presso la Facoltà il Centro Calcoli e Servomeccanismi, di cui fu direttore fino al 1969.

Evangelisti aveva sempre coltivato un forte interesse per il campo dell'elettrotecnica e dell'elettronica (all'epoca ancora allo stato nascente) e per le comunicazioni elettriche, tant'è che per molti anni, a partire dal 1946, tenne l'insegnamento di Teoria dei circuiti per il Corso di perfezionamento in radiocomunicazioni; tenne anche l'insegnamento di Comunicazioni elettriche (nel 1944/45), di Complementi di elettrotecnica (assieme a Francesco Barozzi, nel 1951/52), di Elettronica (1958/59 e 1959/60); nel 1949 diede vita, assieme a Supino, al corso di Complementi di matematiche.

Nell'anno accademico 1960/61 quello che era il biennio propedeutico di Ingegneria, che veniva svolto nella Facoltà di Scienze, divenne parte integrante della Facoltà, che fu quindi articolata su cinque anni; contemporaneamente furono attivati i corsi di laurea in Ingegneria meccanica ed in Ingegneria elettrotecnica, che sostituivano il vecchio corso di Ingegneria industriale, e creati *ex novo* i corsi in Ingegneria nucleare e in Ingegneria elettronica: in quest'ultimo Evangelisti assunse l'incarico dell'insegnamento di Controlli automatici, che tenne fino al 1964/65.

L'attività di ricerca di Evangelisti è stata straordinariamente vasta e innovativa. In campo idraulico, fra i temi principali di cui si è occupato spiccano i fenomeni di moto vario nelle condotte, dove partendo dall'impiego del calcolo operativo ha fornito una trattazione generale per il colpo d'ariete in condotte di caratteristiche variabili; i risultati ottenuti sono citati e riportati per esteso in vari trattati, tra cui quello di Tölke<sup>19</sup>. Successivamente ha dato contributi fondamentali allo studio dei fenomeni di colpo d'ariete applicando in modo sistematico il metodo delle caratteristiche; ha analizzato il moto permanente negli alvei cilindrici, perfezionando ed estendendo i risultati esposti da Bakhmeteff nel suo trattato del 1932<sup>20</sup>; ha analizzato il moto vario nelle correnti a pelo libero per alvei di sezione e pendenza variabili, anche soggetti a perturbazioni, il moto vario nelle condotte munite di cassa d'aria, mettendo in particolare evidenza l'importanza delle resistenze per il dimensionamento delle casse a protezione delle condotte prementi. Ha sviluppato metodi statistici applicandoli con successo nel campo dell'idrologia. Assai rilevante è uno studio, che si rifà al suo trattato del 1947, sulla stabilità della regolazione nelle centrali idroelettriche, dove viene considerato tutto il sistema di adduzione, galleria-pozzo piezometrico-condotta forzata e turbina-generatore, che ha avuto notevoli applicazioni tecniche, non solo in Italia. L'ideazione di un modello analogico elettrico/elettronico per lo studio delle reti di condotte ha portato alla realizzazione presso il suo Istituto di un simulatore di reti di condotte per moti permanenti di fluidi incompressibili (liquidi);

<sup>19</sup> F. Tölke, *Veröffentlichungen zur Erforschung der Druckstoßprobleme in Wasserkraftanlagen und Rohrleitungen*, Springer, Berlin 1956.

<sup>20</sup> B.A. Bakhmeteff, *Hydraulics of open channel*, McGraw-Hill, New York-London 1932.

il simulatore, ovviamente più complesso, per fluidi comprimibili (gas) è stato invece realizzato presso la SNAM.

Ha svolto anche attività di consulenza e di progettazione di grandi opere, tra le quali l'acquedotto di Forlì, l'acquedotto di Pesaro, l'impianto di rivalutazione di energia Suviana-Brasimone, ecc.; è stato consulente/progettista per l'oleodotto Genova-Ingolstadt, per l'acquedotto di Singapore, per la sistemazione del bacino idraulico della Sava.

I fondatori della Scuola idraulica bolognese (Razzaboni, Puppini, Supino, Evangelisti) hanno sempre ritenuto indispensabile, come già accennato, una conoscenza approfondita dello strumento matematico per un rigoroso inquadramento dei fenomeni fisici e per una corretta interpretazione dei dati sperimentali: per questo l'insegnamento di Complementi di matematiche, voluto da Supino ed Evangelisti già nel 1949, era inteso non come un corso di "matematica astratta", ma di "matematica applicata", «en vue des Applications», per riprendere il motto della "Bibliothèque scientifique de l'ingénieur et du physicien", che rendesse disponibili agli ingegneri i metodi più avanzati per la risoluzione di problemi concreti.

Supino ed Evangelisti, allievi entrambi di Puppini, hanno dato origine a due scuole, rispettivamente nel campo dell'Idraulica e delle Costruzioni idrauliche, che hanno sempre goduto e godono tuttora di grande prestigio a livello nazionale e internazionale.

Evangelisti è stato anche all'origine della scuola bolognese nel campo dell'automazione e delle applicazioni del calcolo. Alla istituzione del Centro calcoli e servomeccanismi seguì pochi anni più tardi la nascita dell'Istituto di Automatica, che in breve tempo assunse una notevole consistenza e rilevanza, contribuendo a formare generazioni di studiosi di altissimo livello.

Nel 1946, dopo la guerra, l'Istituto di Idraulica era diretto da Supino e aveva come assistente Giovanni Cocchi (1912-2006), l'Istituto di Costruzioni Idrauliche era diretto da Evangelisti e aveva come assistente Bruno Poggi (1919-2005). I due laboratori nella nuova sede annessi agli Istituti erano stati gravemente danneggiati dalla guerra e dalle successive occupazioni militari subendo anche la perdita di varie apparecchiature. Uno dei primi compiti fu quindi quello di provvedere alla loro ricostruzione, in modo da poter riprendere l'attività sperimentale. In particolare, il laboratorio di Idraulica venne ripristinato e modernizzato per opera di Cocchi nel periodo 1947-50<sup>21</sup>. Nei due laboratori, oltre a ricerche di carattere scientifico, sono stati eseguiti numerosi studi su modello fisico per conto di amministrazioni pubbliche o di committenti privati: tra gli altri, il modello per lo studio della foce del torrente Polcevera, il modello, con studio anche del trasporto solido, di un'ansa del Po, del tratto urbano dell'Arno (dopo la piena del 1966, per verificare se fosse possibile aumentarne la portata abbassando le soglie di Ponte vecchio), dello sfioratore dell'acquedotto delle Capore e tanti altri.

<sup>21</sup> G. Cocchi, *Il laboratorio dell'Istituto di Idraulica nell'Università di Bologna*, Bologna 1954.

### 2.12.3. Qualche *flash* sul "dopo"

Nel 1954 Giovanni Cocchi, vincitore di concorso, diventa straordinario di Idraulica a Bologna, sulla nuova cattedra voluta da Supino; dal novembre 1968, al collocamento fuori ruolo di Supino, assume la direzione dell'Istituto di Idraulica (fino al 1982) e la Presidenza della Facoltà, che terrà fino al 1975. È stato direttore anche dell'Istituto di Costruzioni aeronautiche dal 1964 al 1982, e per alcuni anni del Centro Ceramico e del Centro di Calcoli; ha tenuto per incarico il corso di Aerodinamica dal 1949/50, fino al collocamento fuori ruolo nel 1982. Accademico Benedettino dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, la produzione scientifica di Cocchi è di notevole levatura e spazia su diversi argomenti (non solo in campo idraulico), dai moti a potenziale alla teoria delle onde cnoidali, allo studio dei ventilatori; sono pionieristici i suoi lavori, teorici e sperimentali, relativi alle perdite di carico in moto non stazionario nelle condotte e gli studi sul colpo d'ariete nelle condotte a tutta perdita di carico. Una sua nota del 1946 nel campo della scienza delle costruzioni, sul calcolo dei telai, è stata inserita come capitolo a sé (*Méthode de Cross-Cocchi*) nel volume *La méthode de Cross et le calcul pratique des constructions hyperstatiques*, di Pierre Charon<sup>22</sup>. Fu Presidente della Commissione di collaudo per l'acquedotto del Reno, collaudatore della terza pista dell'aeroporto di Fiumicino, consulente della Procura della Repubblica di Firenze per l'alluvione dell'Arno del 1966.

Nel 1951 furono assegnate nuove risorse di personale docente: all'Istituto di Idraulica entrarono come assistenti incaricati Giorgio Nielsen ed Enrico Marchi: Nielsen lasciò l'Università nel 1952 per dedicarsi alla libera professione, Marchi invece intraprese – con successo – la carriera accademica: nel 1961, come già ricordato, si trasferì all'Università di Genova, dando vita ad una validissima scuola idraulica.

Nel 1955 vi fu una nuova assegnazione di risorse: all'Istituto di Idraulica entrarono come assistenti Antonello Rubatta e Giannantonio Pezzoli: nel 1968/69 Rubatta, vincitore di concorso nazionale, viene chiamato alla cattedra che era stata di Supino, collocato fuori ruolo per limiti di età; ha ottenuto notevoli risultati nello studio dei moti ondosi, del trasporto solido nei corsi d'acqua, del risalto idraulico in alvei non cilindrici. Alcuni dei risultati ottenuti da Rubatta e da altri giovani collaboratori della scuola idraulica bolognese nel campo del trasporto solido sono riportati per esteso nel trattato di János Bogárdi<sup>23</sup>. Assieme a Enrico Marchi ha pubblicato nel 1981, per i tipi della UTET, un trattato di *Meccanica dei fluidi*, considerato a buon diritto un modello di rigore scientifico. Nel 1982 assunse la direzione dell'Istituto di Idraulica, che tenne fino al 1992. Pezzoli, come già ricordato, risulterà vincitore del concorso

<sup>22</sup> Eyrolles, Paris 1953, pp. 180-198.

<sup>23</sup> J. Bogárdi, *Vízfolys Hordalékszállítás, Akadémiai Kiadó, Budapest 1971, pp. 178-182. Il volume è successivamente uscito nel 1974 presso lo stesso editore in traduzione inglese col titolo *Sediment transport in alluvial streams*.*

a cattedra bandito nel 1965 dal Politecnico di Torino, dove darà nuovo impulso alla scuola idraulica locale.

Negli anni successivi vi furono altre assegnazioni: nell'Istituto di Idraulica entrarono come assistenti Gianni Luigi Bragadin e Fausto Lazzari nel 1963 (che nel 1985 si trasferirà all'Università di Parma), Giambattista Scarpi nel 1964, Luigi Montefusco nel 1966 (che nel 1980 si trasferirà alla Facoltà di Ingegneria di Firenze), Alberto Lamberti nel 1969. Successivamente entrarono come ricercatori Giovanni Menduni nel 1983 (che si trasferirà al Politecnico di Milano nel 1987), Irene Daprà e Maurizio Mancini nel 1990 e Vittorio di Federico nel 1992.

Nel 1957 Bruno Poggi è chiamato come professore straordinario di Impianti speciali idraulici: nel 1959 assume la direzione dell'Istituto di Arte mineraria, poi Istituto di Scienze minerarie, e passa alla cattedra di Meccanica dei giacimenti di idrocarburi, conservando l'incarico di Impianti speciali idraulici. Quando Evangelisti viene collocato fuori ruolo per limiti di età, nell'anno accademico 1973/74, Poggi si trasferisce alla cattedra Costruzioni idrauliche assumendo la direzione dell'Istituto omonimo, che terrà fino al 1982. Le sue ricerche, che apportano notevoli nuovi risultati anche nel campo delle applicazioni tecniche, riguardano in particolare gli scaricatori a scala di stramazzi, il comportamento in curva delle correnti veloci, le correnti di densità, i fenomeni di colpo d'ariete nelle lunghe condotte.

L'Istituto di Costruzioni Idrauliche era frequentato da vari ingegneri con la qualifica di "assistente volontario" (quindi non strutturati) che prendevano parte sia all'attività scientifica che a quella didattica dell'Istituto, tenendo così aggiornate le loro conoscenze scientifiche, e insieme apportando la loro esperienza di liberi professionisti. Ricordo in particolare la lunga collaborazione dell'ingegnere Gianfranco Rossi, che dal 1947 al 1975 fu assistente volontario e che nel 1958 divenne libero docente di Costruzioni Idrauliche.

Nel 1954 entrano come assistenti Pietro Guerrini (1923-2009) e Filippo Zoccoli (1925-1985): Zoccoli dal 1972/73 è stato professore straordinario a Firenze per un triennio, mantenendo a Bologna l'incarico di Costruzioni marittime e fluviali; da Firenze rientrò a Bologna come ordinario di Impianti speciali Idraulici nel 1975/76; nel periodo fiorentino contribuì alla "colonizzazione" bolognese/genovese delle discipline idrauliche nella neonata Facoltà di Ingegneria. È stato direttore dell'Istituto di Costruzioni Idrauliche dal 1982 al 1985, anno della sua prematura scomparsa. Guerrini fu nominato straordinario di Idrologia e idrografia a Bologna nel 1975: nel 1989 assunse la direzione dell'Istituto di Costruzioni idrauliche, che tenne fino al 1993.

Nel 1968 entrarono Augusto Zanotti e Alberto Bizzarri, nel 1970 Sandro Artina (che nel 1993 succederà a Guerrini alla direzione dell'Istituto), Paolo Lamberti nel 1973. Successivamente entrarono Stefano Pilati nel 1977, Marco Franchini e Massimo Ferraresi nel 1981, Alberto Marinelli nel 1993. Nel 1981 viene chiamato come professore straordinario di Pianificazione delle risorse idriche Ezio Todini, proveniente dal Centro scientifico IBM di Pisa, che sarà direttore dell'Istituto dal 1985



al 1989 e nel 1996 si trasferirà al Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali. Nel 1994 viene chiamato come professore straordinario di Costruzioni idrauliche Armando Brath.

Quando, all'inizio del 1996 gli Istituti di Idraulica e quello di Costruzioni Idrauliche, assieme agli Istituti di Scienza delle Costruzioni, di Tecnica delle Costruzioni, di Topografia, di Trasporti e di Strade e Geotecnica, diedero vita al Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento e del Territorio (DISTART), l'organico era costituito per l'Idraulica dagli ordinari Bragadin, A. Lamberti, Rubatta e Scarpi (direttore) e dai ricercatori Daprà, Di Federico e Mancini; per le Costruzioni idrauliche dagli ordinari Artina (direttore), Brath e Todini, dagli associati Bizzarri e P. Lamberti, dai ricercatori Franchini e Marinelli e dall'assistente Pilati.

Se si esaminano i programmi del corso di Idraulica e di Costruzioni idrauliche nei primi anni di vita della Facoltà di Ingegneria, si nota che alcuni argomenti che allora costituivano un capitolo, a volte anche di ampiezza esigua, all'interno del corso, si sono notevolmente sviluppati sia per il progredire della tecnica, sia per merito dell'attività di ricerca (spesso stimolata e incentivata da eventi naturali eccezionali), in maniera tale da dare origine a insegnamenti autonomi. Sono emersi anche nuovi campi di ricerca, in parte dovuti alla sensibilizzazione sia a livello scientifico, sia a livello politico verso una serie di problemi riguardanti ad esempio la salvaguardia dell'ambiente, e quindi la regolazione dei corsi d'acqua (inascoltata per anni l'esortazione alla "manutenzione" dei corsi d'acqua predicata dagli idraulici, che avrebbe risparmiato molti disastri), la gestione, l'approvvigionamento e la distribuzione delle risorse idriche, il controllo dell'inquinamento, la protezione delle coste, la possibilità di sfruttamento del moto ondoso per la generazione di energia, che, oltre a fornire materiale per nuovi insegnamenti, hanno dato origine a una notevole serie di progetti di ricerca interdisciplinari finanziati a livello nazionale ed europeo/mondiale, ai quali gli studiosi della Scuola bolognese partecipano come membri attivi e/o come coordinatori.

Se una conclusione si può (o si vuole) trarre dalle sia pur scarse notizie di questa relazione, questa è, a mio avviso, che gli attuali rappresentanti della scuola idraulica bolognese, validissimi eredi, custodi e prosecutori di una tradizione eccellente, possono ben riconoscersi nell'ormai purtroppo inflazionato aforisma di Bernardo di Chartres, «*nos esse quasi nanos gigantum humeris insidentes, ut possimus plura eis et remotiora videre, non utique proprii visus acumine, aut eminentia corporis, sed quia in altum subvehimur et extollimur magnitudine gigantea*».

## 2.13. LA COSTRUZIONE DI MACCHINE NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA\*

*Pier Gabriele Molari*

### 2.13.1. Le date e i protagonisti

La *Regia scuola di applicazione per gli ingegneri* viene istituita nel 1877/78 con una unica laurea in Ingegneria civile, dal 1899/90 questa laurea viene affiancata dalla laurea in architettura [1] [2]. Nel 1908 viene stilato un preventivo economico per l'Istituenda sezione Industriale e finalmente dal 1928/29 vengono attivati i corsi di Ingegneria industriale che vede la materia Costruzione di macchine al secondo anno del triennio di applicazione<sup>1</sup>.

Il 28 ottobre 1935, a seguito di decreto di riordino degli studi, la scuola viene denominata Facoltà di Ingegneria [1].

L'insegnamento di Costruzione di Macchine per allievi meccanici viene tenuto in 85 anni dai seguenti docenti [4]:

- dal 1928/29 al 1953/54 da Aristide Prosciutto [1895-1954]: 26 anni;
- dal 1954/55 al 1976/77 da Fausto Caboni [1911-1977]: 23 anni;
- dal 1977/78 al 1990/91 da Gustavo Favretti [1927-1991]: 14 anni;
- dal 1991/92 al 2004/05 da Giorgio Bartolozzi [1930]: 14 anni;
- dal 2005/06 al 2012/13 da Pier Gabriele Molari [1943]: 8 anni<sup>2</sup>.

### 2.13.2. La materia Costruzione di Macchine

Per meglio illustrare come fosse articolato l'insegnamento della materia penso sia opportuno riportare le parole che Lucio Lazzarino pronunciò a Pisa nella sua ultima lezione tenuta il 31 ottobre 1993 ricordando la sua prima del 1949 [5]:

Dunque che cosa era nel 1949 l'insegnamento di Costruzione di macchine in Italia? Era una specie d'appendice del corso di Meccanica applicata alle macchine<sup>3</sup>. Allora

---

\* Dalla conferenza tenutasi il 31 maggio 2018 in: [http://ingegneria.sba.unibo.it/risorse/files/relazioni-delle-conferenze-della-scuola-di-ingegneria-e-architettura/presentazione-molari-31\\_05\\_2018](http://ingegneria.sba.unibo.it/risorse/files/relazioni-delle-conferenze-della-scuola-di-ingegneria-e-architettura/presentazione-molari-31_05_2018).

<sup>1</sup> Dopo frequenti rotture delle sale delle diligenze e delle vetture ferroviarie [3], pp. 294-296, ci si rese conto dell'importanza di considerare in un Corso a parte il dimensionamento degli organi di macchina sottoposti a carichi variabili nel tempo per tenere conto degli effetti locali (fatica).

<sup>2</sup> Per le altre persone del gruppo Costruzione di Macchine dal 1969 al 2008 ed il loro periodo di attività si può fare riferimento alla diapositiva n. 4 proiettata durante la Conferenza.

<sup>3</sup> Per gli insegnamenti di Meccanica Applicata si può fare utile riferimento al lavoro di Umberto Meneghetti [2].



Figura 1. Il testo di F. Masi, "Disegno degli organi delle macchine" [8].

di professori di Costruzione di macchine ce n'erano pochi; la maggioranza degli insegnanti erano professori di Meccanica applicata, i quali avevano poi l'incarico dell'insegnamento di Costruzione di macchine e quindi continuavano a sviluppare alcuni argomenti di Meccanica applicata, con più o meno raffinati applicazioni di modelli matematici, a seconda del gusto di ciascuno di essi.

A Bologna c'era una antica eccezione dato che questa parte della *Meccanica applicata* aveva un notevole spazio, veniva insegnata dal 1880 al 1888 da Antonio Silvani (1840-1915) poi dal 1889 al 1927 da Francesco Masi (1852-1944) che avevano avuto, oltre ad una formazione al Politecnico di Torino, un loro particolare interesse nella costruzione e nella progettazione delle Macchine e un collegamento diretto con la Scuola di Arti e mestieri Aldini Valeriani (Fig. 1).

Silvani poi si era perfezionato in Meccanica Pratica e si era sottoposto ad una dura esperienza pratica in Belgio a Seraing presso lo stabilimento di Cockerill [6].

Tuttavia c'è chi ricordava [7]:

Fra i nostri docenti Francesco Masi. Noi con oltre 50 anni di laurea ricordiamo il prof. Francesco Masi, detto irriverentemente Bullone, docente di Meccanica Applicata, o di macchinette in contrapposizione al più difficile esame di Macchine Termiche o Macchine per antonomasia.

Il metodo di insegnamento è essenzialmente empirico, ricordando sempre la divisione fra *meccanica fredda* e *meccanica calda*, come appena visto: ogni macchina ha sue

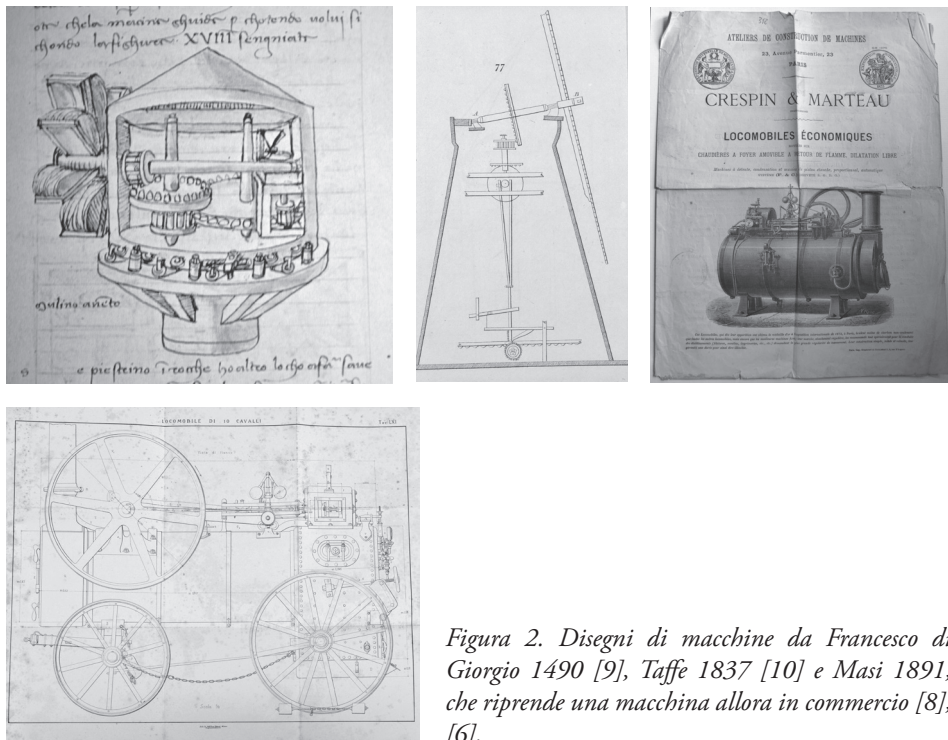


Figura 2. Disegni di macchine da Francesco di Giorgio 1490 [9], Taffe 1837 [10] e Masi 1891, che riprende una macchina allora in commercio [8], [6].

proprie caratteristiche, che si evitano di insegnare ma si percorre solo il procedimento per progettare. Esempi sono riportati in Fig. 2. Seguendo la tradizione, si disegna (schizza) la macchina, si disegnano poi i particolari, lasciando alla pratica di officina la costruzione dei vari pezzi e il loro montaggio.

Il procedimento viene nel tempo razionalizzato partendo dallo schizzo di massima, passando allo *studio*, al disegno dei particolari, alla stesura del complessivo finale *rimontando* i vari particolari e seguendo la normativa di disegno che nel frattempo si stava diffondendo. Il disegno su carta bianca prima e su carta lucida poi è il “linguaggio” conduttore delle varie fasi. Si può dire che la catena cinematica, che il Reuleaux aveva definito individuando gli *elementi cinematici* e quindi le *coppie cinematiche* (coppia prismatica, rotoidale, cilindrica, sferica..), viene vestita (Fig. 3 in alto) con componenti dei quali si conosce la forma attraverso un dimensionamento *empirico*.

Questo dimensionamento viene effettuato individuando la dimensione caratteristica del componente che diventa il *modulo* e in base ad esso si definiscono tutte le altre dimensioni (Fig. 3 in basso).

La materia Costruzione di Macchine si configura sempre più come la più prossima all'*ingegnere meccanico progettista* e ne studia le fasi operative tanto da diventare biennale con una seconda denominata “Progetti di macchine”, che tuttavia in molte sedi viene considerata appartenere al settore “Macchine”.

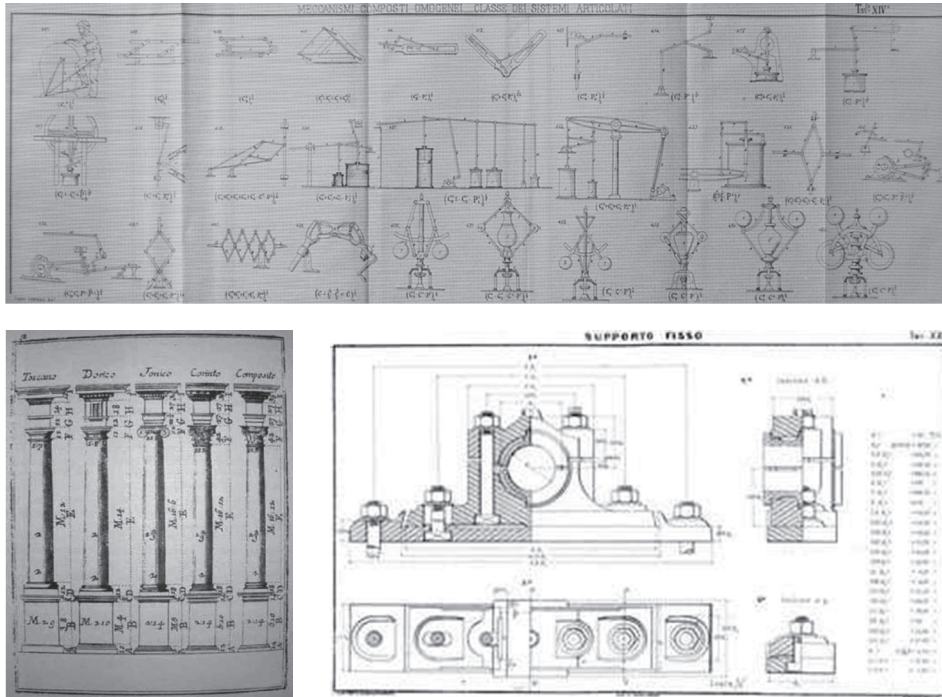


Figura 3. La catena cinematica individuata per i vari meccanismi [11], il dimensionamento per modulo ripreso da Vitruvio [12] [13] e applicato ai singoli particolari di macchina [8].

### **Il tormentato cammino dall'empirismo alla scienza**

Dall'A.A. 1928/29 Bologna Aristide Prosciutto, ordinario di Meccanica applicata alle macchine, tiene per incarico il corso. Va notato che il programma non viene riportato nell'annuario a differenza dei corsi fondamentali, tuttavia Aristide Prosciutto nel 1952 scrive il testo *Elementi di Costruzione di Macchine* edito da Patron [14], preceduto da *Appunti di Costruzione di Macchine* del 1942/43 [15] (Fig. 4). In esso, nel cap. 1, dopo aver specificato che:

La determinazione delle caratteristiche costruttive essenziali e delle dimensioni principali di una macchina si basa generalmente su cognizioni di carattere specifico, per il genere di macchina che si considera e forma oggetto di un determinato ramo particolare della tecnica [...].

La costruzione di macchine si occupa del progetto e del calcolo di tutti quegli organi (come alberi, perni, supporti, ingranaggi, bielle, ecc.) che entrano nella costituzione di macchine di vario genere e che non hanno stretto rapporto con la loro particolare destinazione. La costruzione di macchine conduce così al completamento del progetto di una macchina fino alla definizione e al disegno dei più minuti dettagli.

Il calcolo del singolo particolare, si vedano i testi di Prosciutto e Caboni (Fig. 4), avviene attraverso la determinazione dello stato tensionale e deformativo, partendo

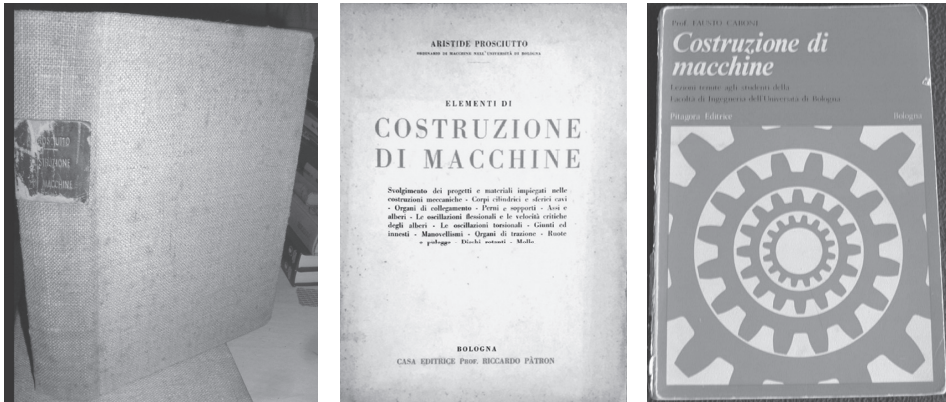


Figura 4. Gli appunti Prosciutto (1942-43) [14], il testo Prosciutto (1952) [15] e il testo Caboni (1971) [16].

dallo studio delle forze, applicando le leggi di equilibrio, congruenza, comportamento meccanico del materiale impiegato e le condizioni al contorno. Si studia parallelamente il descrittore dello stato che si vuole limitare e la tensione ammissibile.

Il calcolo viene particolareggiato con la teoria delle travi, che nel tempo diventa analisi matriciale di telai e strutture complesse, con la teoria dei corpi assialsimmetrici in condizioni statiche e dinamiche, con la teoria dei gusci e delle piastre, con la teoria dei contatti partendo dalle considerazioni di Hertz (Fig. 5).

Con l'avvento del calcolo numerico, *assistito*, si diceva, dal calcolatore elettronico, si passa dalla soluzione di equazioni differenziali, al calcolo con gli elementi finiti nel piano e nello spazio.

Il calcolo viene sempre corretto per le sollecitazioni affaticanti tenendo conto degli effetti locali verificando con le sollecitazioni di confronto, adattate secondo le esperienze del Wöhler e definite anche con altri metodi quali l'applicazione, sempre locale, della energia massima assorbibile.

Nell'insegnamento, perché la progettazione sia efficace, oltre alla valutazione delle massime sollecitazioni, occorre cercare di dare sensibilità ai modi per aumentare la resistenza, la rigidità (Fig. 6), ma soprattutto appare fondamentale tenere conto della tecnologia che si pensa di utilizzare.

In sostanza, nella *Costruzione di Macchine* si cerca di non interferire con le altre materie specifiche come per esempio, macchine, idraulica, prendendo tuttavia in carico il dimensionamento che tiene conto della tecnologia costruttiva e del materiale impiegato e della rappresentazione grafica di esso. Nel testo di Renato Giovannozzi [19] (Fig. 7) viene descritto il recinto di studio:

Parlare di costruzione di macchine, comprendendo con tale nome generico tutte le macchine, dalla calcolatrice elettrica al motore a scoppio, dalla impastatrice meccanica alla turbina idraulica, dalla mietitrice-legatrice alla rotativa per la stampa, può parere, ed è, in un certo senso anche superficialità e presunzione. Tuttavia, se ben si riguarda, tutte

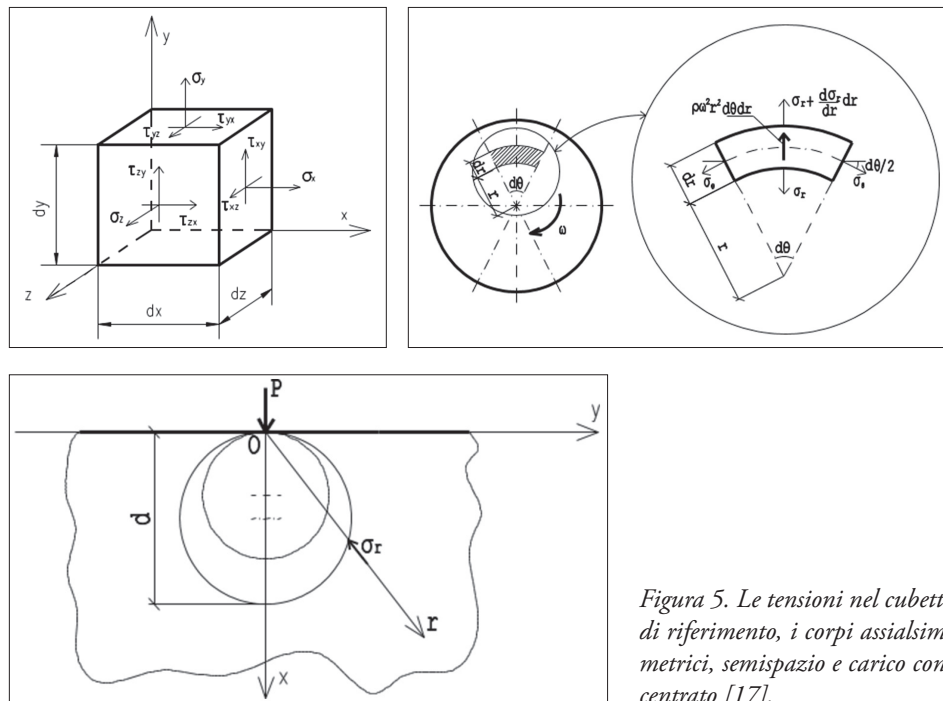


Figura 5. Le tensioni nel cubetto di riferimento, i corpi assialsimmetrici, semispazio e carico concentrato [17].

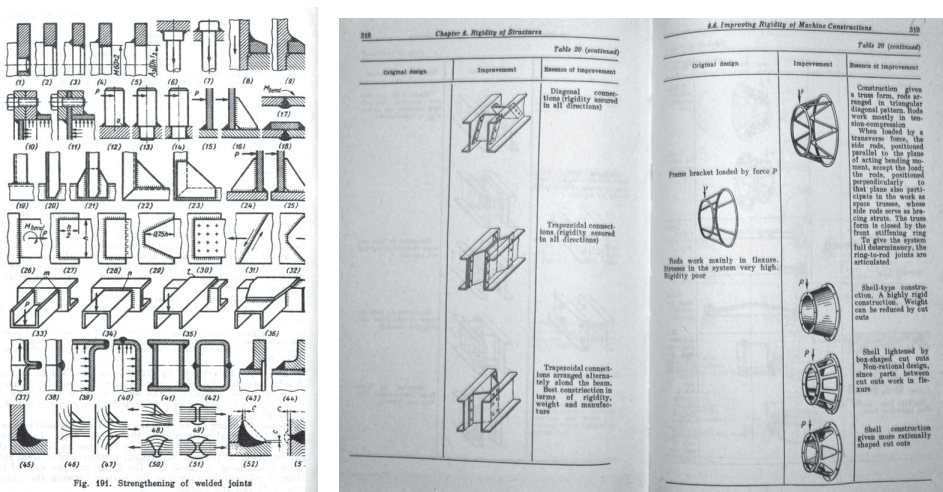


Figura 6. Dall'Orlov [18] esempi per aumentare la resistenza di una giunzione o la rigidezza di un supporto.

le svariatissime macchine esistenti hanno generalmente un certo numero di organi, di elementi comuni, come ad esempio alberi rotanti entro cuscinetti, trasmissioni del moto fra assi mediante ingranaggi, collegamenti fra alberi ed organi calettati su di essi, ecc. Si può perciò, senza entrare nell'esame particolareggiato delle varie macchine, studiare in generale il modo di funzionamento, la forma, il dimensionamento, la resistenza

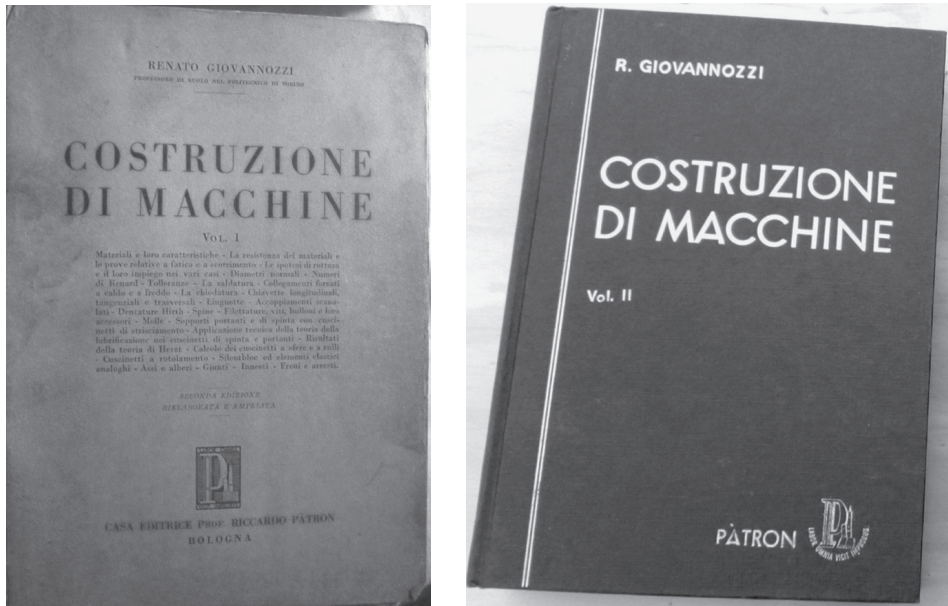


Figura 7. Le varie edizioni 1951-1980 del testo Giovannozzi [19]: un riferimento per tutte le università italiane.

dei vari elementi o gruppi di elementi che formano, per così dire, la materia prima di cui le macchine stesse sono costituite, e dalla cui composizione l'ingegnere ricava poi, secondo schemi già noti oppure del tutto nuovi, il progetto della macchina completa.

Si definisce così, sulla scia dei grandi testi di *Maschinenelemente*, il Reuleaux [20] (Fig. 8), il Bach [21] (Fig. 9), il TenBosh [22] e infine il Niemann [23] [24] (Fig. 10), un modello di riferimento per il dimensionamento basato essenzialmente sullo stato tensionale e deformativo corretto con coefficienti empirici, cercando di dare una dignità di scienza alla consuetudine della progettazione meccanica basata essenzialmente su regole empiriche o su di un dimensionamento, come già detto, basato sul concetto di modulo risalente ai Greci e fissato da Vitruvio (Fig. 11).

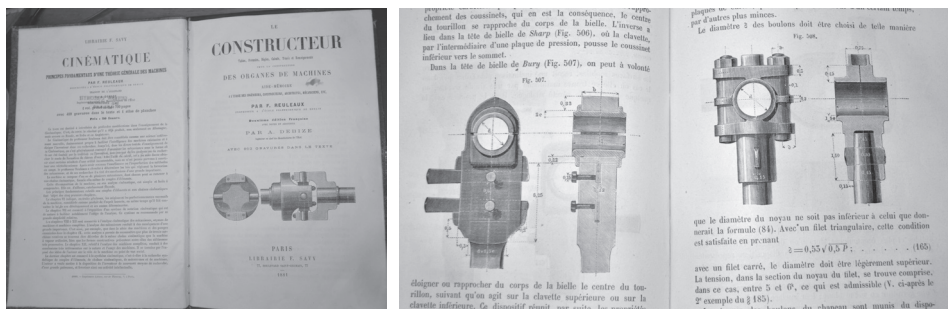


Figura 8. Alcuni testi di riferimento sul dimensionamento degli organi delle macchine: Reuleaux (1881) [20].



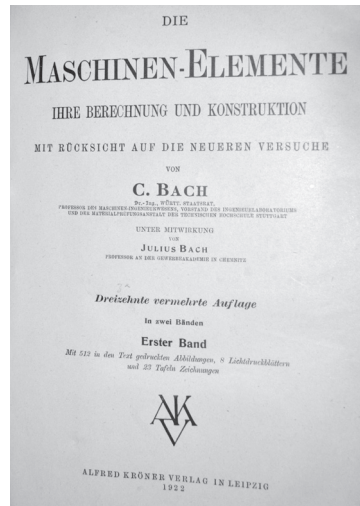
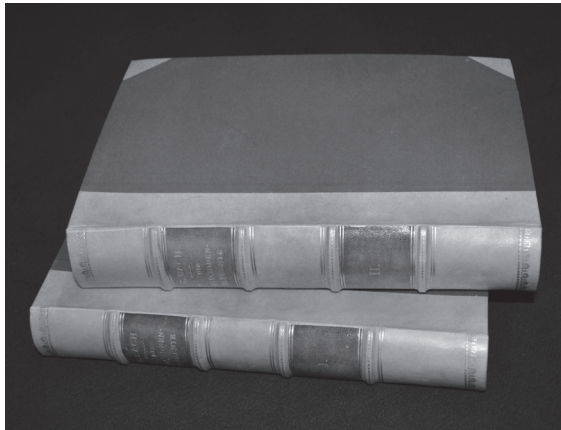


Figura 9 Alcuni testi di riferimento sul dimensionamento degli organi delle macchine: Bach (1880) [21].

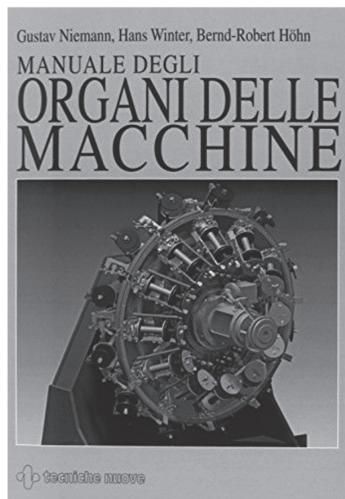


Figura 10. Un altro testo di riferimento sul dimensionamento degli organi delle macchine: Niemann [23], [24].

Sempre nel testo di Giovannozzi [19], si legge:

Un altro punto essenziale che il costruttore di macchine deve tener presente in ogni momento è lo studio del modo più opportuno con il quale dovranno essere realizzati tecnologicamente i vari elementi della macchina. E niente di male se, nei casi incerti prima di eseguire il disegno, si richiederà il parere dei tecnici dell'officina e si discuteranno con loro le varie soluzioni possibili. Ciò vale fra l'altro per i disegni delle fusioni, la perfetta riuscita e l'economia delle quali sono spesso legate a particolari che l'occhio esercitato del fonditore sa indicare a prima vista.

A chi scrive piace paragonare quanto scritto nel colloquio Salviati/Sagredo proprio all'inizio dei *Discorsi intorno a due nuove scienze* di Galileo [26]:

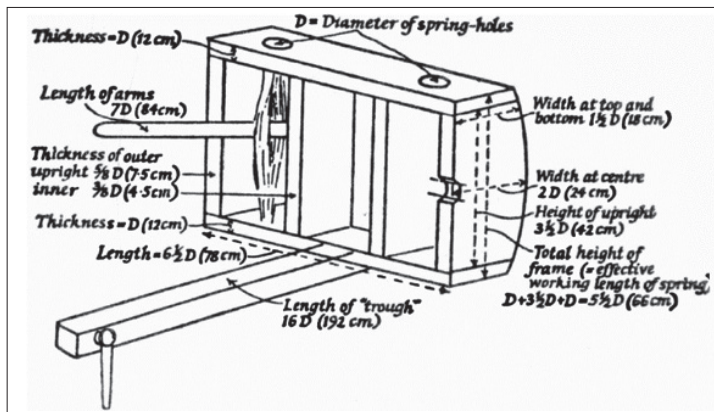


Figura 11. L'impiego del modulo nel dimensionamento di una balista secondo Erone, ripreso da Vitruvio [25].

ed io, come per natura curioso, frequente per mio diporto la visita di questo luogo e la pratica di questi che noi, per certa preminenza che tengono sopra 'l resto della maestranza, domandiamo protti<sup>4</sup>; la conferenza de i quali mi ha più volte aiutato nell'investigazione della ragione di effetti non solo meravigliosi, ma reconditi ancora e quasi inopinabili. È vero che tal volta anco mi ha messo in confusione ed in disperazione di poter penetrare come possa seguire quello che, lontano da ogni mio concetto, mi dimostra esser vero.

Questa impostazione rimane più o meno invariata fino alla comparsa del testo del Ruitz-Koenigsberger (e purtroppo non tutti se ne sono resi conto) del 1970 [27] (Fig. 12), questo testo viene diviso in due parti – delle quali la seconda (il punto 7 dell'elenco sotto-indicato) appena accennata – nella prima parte definisce il modo di progettare, riferendosi ai modi di possibile avaria della macchina:

1. Specifications and materials
  2. Design against excessive deformation: Static failure
  3. Design against failure under cyclic loading
  4. Design against brittle fracture
  5. Design against excessive creep deformation and creep rupture
  6. Surface phenomena: Friction, wear and corrosion
- 
7. Design for production

con la base unificante del calcolo dello stato tensionale e deformativo in condizioni operative, che, nel frattempo, dalle brutali semplificazioni di Saint Venant, aveva allagato il campo d'azione, prima con le funzioni di variabile complessa e con metodi sperimentali. Va notato come in questo testo si possano trovare anche elementi di pianificazione, oggi diremmo gestionale, di un progetto.

Dalla introduzione si legge:

<sup>4</sup> "Proto": capo degli operai, colui che regola e dirige il lavoro.

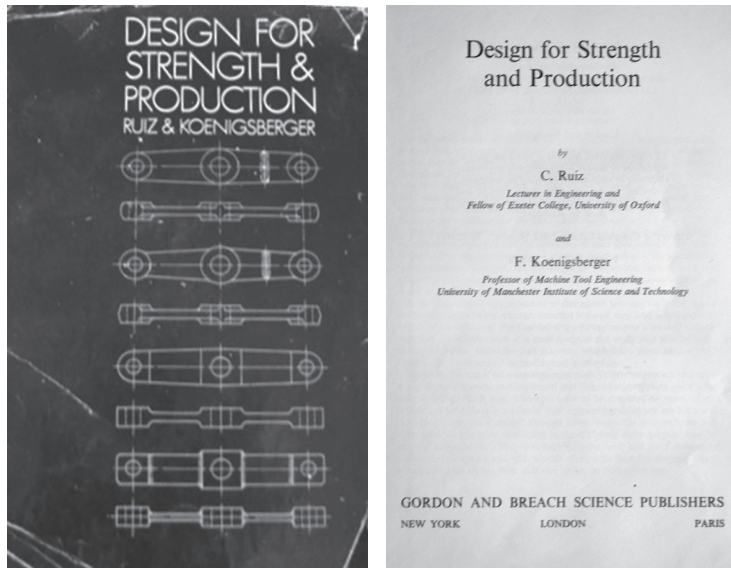


Figura 12.  
Il testo Ruitz-  
Koenigsberger  
[27].

The opinion is often expressed that the designer's work is an art rather than a science. However, the Oxford Dictionary defines art as 'practical application of any science', and the degree of skill with which the designer implements the appropriate scientific means and methods at his disposal determines the success or failure of a design.

One of the first men to study the function of the designer scientifically and systematically, Franz Reuleaux, pointed out that invention is not the only aspect involved because most successful designers develop their concepts from preceding ones, so that they climb whole ladders of ideas before reaching their goal. Moreover, the designer must not concern himself only with the functioning of mechanical devices but also cover the complete process of converting his inventive ideas into technically and economically competitive realities.

In addition to using his ingenuity and skill in creating the general concept of layouts, arrangements and combinations of mechanisms, elements and components, or in determining optimum shapes and sizes a designer must: (a) First establish a design specification..., which takes into consideration the purpose and function of the product, its performance requirements, the environment of its operation, service conditions, production rates and cost estimates. (b) Later explore those details, which may not only determine the technical performance and reliability but also the competitive value of the product. (c) Finally produce the manufacturing specification which-in the form of drawings, planning instructions, control tapes, punched cards, etc. forms the basis for making the design a practical proposition.

All these items form the foundation on which production can be based and it may be somewhat wrong to speak about "design for production" as a separate activity, because all components of the design function are major parts of the production process as a whole. For this reason "design" is more than the improvement or modification of existing products or even the mere creation of new devices. It embraces the complete intellectual process from the conception of an idea based on inspiration, knowledge and experience, to its final technical and commercial realization.

In a paper published in 1966 W. Rodenacker [...] defines design as the transformation of the parameters influencing a physical process into concrete machine components, and the designer's work as the realisation of a required physical process by means of a practical solution, "a task as complex as that of the researcher who has to deduce physical laws from observed natural phenomena". The basic principle of a designer's work is, therefore, to allow for and make use of all those modern facilities which are available to him, whether they aid the design process itself or provide the most appropriate and efficient methods and means of manufacture.

Sembra opportuno aggiungere alcune considerazioni per meglio comprendere l'influenza del computer. Come già detto, negli anni Ottanta il calcolatore numerico viene impiegato per risolvere equazioni differenziali sempre più complesse. Questi metodi vengono poi *drammaticamente semplificati* con il metodo degli elementi finiti, applicato prima alle strutture trabeiformi e in seguito a pezzi di forma sempre più complessa con la possibilità di tenere conto delle caratteristiche del materiale anche non omogenee ed isotrope.

Ebbri di questi strumenti, si arriva così a quelle che io chiamerei follie cioè di valutare stati tensionali e deformativi come quelli che si verificano ai bordi di saldature con elementi di dimensioni sempre più ridotte, e pretendere poi di verificarle sperimentalmente incollando estensimetri delle dimensioni di un millimetro ad un millimetro dalla superficie del materiale di apporto e della zona termicamente alterata.

Ma compare anche una altra possibilità che era quella di rendere unitaria la progettazione delle macchine partendo dalla forma dei pezzi (modellazione solida) come unico descrittore per costruire (Fig. 13), su questa base, il calcolo, la cinematica e la dinamica della macchina e la possibilità di poter fabbricare anche il pezzo in modo automatico.

Bruno Zevi direbbe:

L'intero apparato delle convenzioni e delle abitudini risulta estirpato. I tavoli da disegno vanno al macero, perché quel disegno non serve più; giganteschi falò di righe a T, squadre, tecnigrafi, compassi liberano gli studi professionali. Si lavora con il computer che ignora la linea dritta, il parallelismo, l'angolo retto e lo standard.

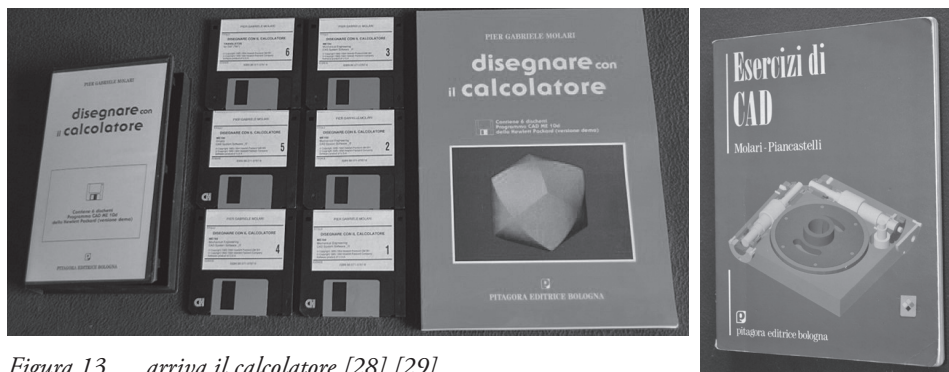


Figura 13. ...arriva il calcolatore [28] [29].

Si pensava allora alla fabbrica *unarmed*. Apparvero i primi modellatori solidi e la doverosa necessità di mettere a disposizione degli studenti questa nuova visione della industria. Nacquero i corsi di *Progettazione assistita di strutture meccaniche*, ma occorreva tanta ricerca e quindi persone che ci lavorassero... purtroppo chi scrive non riuscì a far comprendere questa necessità alla Facoltà che avrebbe potuto essere di grande utilità per le industrie locali e non solo.

### 2.13.3. Divisione C.M.-Disegno, inclusione C.M.-Scienza dei metalli

Fin dal Rinascimento, superando la visione platonica, così seguita dall'Alberti, il disegno viene considerato fondamentale per progettare le macchine. Francesco di Giorgio lo considera elemento essenziale per descrivere le macchine [9]. Il Disegno quindi dall'essere legato al disegno di forme architettoniche, viene mano a mano sempre più codificato come disegno di macchine: pietra fondamentale fu il disegno dei *cannoni* in proiezioni ortogonali come inventato dal Monge. Insegnare Disegno era stato da sempre il primo incarico didattico degli assistenti della materia. A parere di chi scrive, la sempre maggior interferenza della politica e, soprattutto, di interessi corporativi senza avere una visione strategica della formazione dell'ingegnere meccanico e della sua collocazione nel mondo del lavoro, portò a separare il *Disegno* dalla *Costruzione di macchine*. Su questa prima divisione, persone che hanno guardato solo alla moltiplicazione delle cattedre e dei posti, hanno poi esteso il termine *disegno* utilizzando l'equivoco del termine anglosassone *design* fino alla costituzione di un settore scientifico disciplinare definito negli allegati alla riforma del 2000 come ING-IND/15 "Disegno e metodi dell'Ingegneria industriale".

Va anche tenuto conto che per materie di sintesi, come quella della quale stiamo parlando, occorre un tempo fisico per l'assimilazione e la più o meno imposta divisione in semestri (noi dovevamo essere i più bravi!), la contrazione delle ore di insegnamento, la proliferazione degli insegnamenti, hanno particolarmente influito sull'apprendimento e quindi sulla necessità di tenerne conto nella forma della didattica. A parere di chi scrive, la costruzione di una unità di pensiero, che richiede tanto tempo, va concepita in gran parte in modo sequenziale e non può essere velocizzata spezzettandola in brevi periodi di apprendimento paralleli<sup>5</sup>. Il disegno insegnava a organizzarsi mentalmente. Si doveva avere chiara la sequenza: ricerca del modulo, dimensionamento delle grandi masse in linea sottile (allora si diceva: "cosa fa il progettista? Tira delle linee"), ricerca delle viste necessarie, ingrossamento delle linee in vista, tratteggi e convenzioni, sempre in modo accrescitivo, nella sequenza disegno di massima (studio), disegno del complessivo, disegno dei particolari, rimontaggio del complessivo lucidando i particolari.

Una constatazione polemica: se ai miei ultimi studenti chiedevo di disegnare un montaggio, un collegamento, disegnavano come un plotter: da sinistra a destra con la posizione delle varie linee imparata a memoria!

<sup>5</sup> Al mio paese si dice, in modo brutale e dissacrante ma, penso, efficace, che nove donne, ciascuna incinta per un solo mese, non partoriscono un figlio!

Sulla inclusione nella Costruzione delle Macchine del gruppo Scienza dei metalli, non vorrei commentare data la mentalità completamente diversa delle due materie, difficilmente orientabile alla progettazione, mentalità che si deve con molta difficoltà armonizzare con la difficile definizione dei rapporti con la Tecnologia Meccanica, mentalità che, tuttavia, può avere uno spazio nella progettazione *sincronizzata* (come vedremo) con la scelta del materiale e della tecnologia di costruzione.

#### 2.13.4. Considerazioni personali

In tutti gli insegnamenti, ma in particolare in questo insegnamento, deve essere stimolata l'idea che, disegnando, l'allievo deve immaginare di poter vedere la macchina costruita e funzionante, e quindi deve essere sovrana la gioia di apprendere e di vedere apprendere.

Mi piace qui riportare alcune frasi che focalizzano meglio quanto scritto. Giovanni Cocchi, in pensione, diceva: «mi mancano gli studenti [...] mi manca la gioia che si prova nel vedere come questi ragazzi possono apprendere in poco tempo ragionamenti che a te sono costati tanto tempo e tanti sforzi». Riprendendo anche da Francesco di Giorgio [9]: «né trovo chi consideri che le esperienze non si possono acquistare vere senza longo tempo e dispendio et impedimento dell'altre cure utili, ma solo quando cercano avere alcuna macchina o ingenuo instrumento, vedendo el disegno e parendoli poi cosa breve, la fatica sprezzano della invenzione».

Per ottenere questo risultato vi è da un lato la necessità di fare ragionare gli studenti su basi concrete, da un altro lato di non offuscare loro la mente con il *mouse* e con il *rendering*...

Così apparve sempre più necessario fare costruire agli studenti programmi contenuti, che però portassero a risultati concreti in modo da far sì che fossero loro a dominare il problema e non si sentissero appagati dai colori dei risultati, spesso fallaci per qualche dato male impostato, qualche vincolo non corretto, etc. Questa parte più astratta va affiancata da una parte più concreta, ma, data da difficoltà pratica di far costruire agli studenti una macchina da loro progettata, può essere utile far loro toccare con mano risultati di progettazioni errate o le conseguenze di impieghi anomali di una macchina, con lo studio di un pezzo di macchina andata in avaria: osservazione e descrizione del pezzo e della sua collocazione all'interno della macchina, osservazione e descrizione dell'avaria provocata – proposizione di un descrittore dell'evento seguita da una analisi per verificare quanto ipotizzato.

#### 2.13.5. Futuri indirizzi

La Costruzione di Macchine, dopo l'euforia che è derivata dall'uso esteso del calcolo dello stato tensionale e deformativo degli elementi di macchina con il metodo degli elementi finiti, deve tenere conto, riprendendo le idee di Lazzarino [30], della grande libertà che deve avere un progettista meccanico oltrepasando le conoscenze

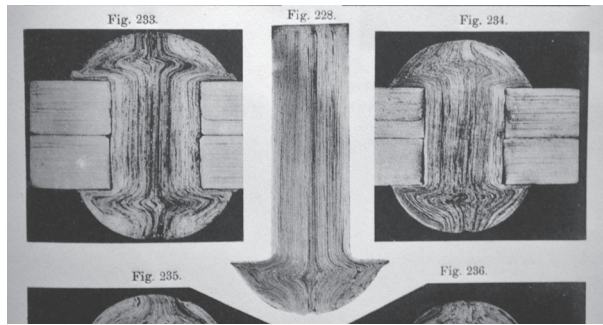


Figura 14. La fibrosità interna di chiodi ribattuti.

consolidate (che deve possedere), *dovrebbe orientare a inserire nello studio degli organi di macchina anche le modalità con il quale il pezzo viene costruito, soprattutto ora che si possono avere a disposizione grandi quantità di dati.* Si dovrebbero cioè portare in modo parallelo gli elementi che possono determinare il corretto funzionamento dell'organo stesso. Ciò dovrebbe comportare anche la definizione del processo produttivo (e quindi una sua simulazione astratta) per ottenere le massime prestazioni possibili. Tutto ciò magari usando linguaggi di programmazione orientati al campo di impiego, quelli che vengono chiamati *Domain Specific Languages* [31] con l'analisi dei problemi, la definizione delle grandezze di base e delle regole che le collegano.

### **Alcuni esempi**

Per considerare l'importanza di tenere conto già in una fase iniziale del modo di costruzione si riportano alcuni esempi.

- Un albero di macchina rotante sotto carico presenta in genere vari cambiamenti di diametro dovuti ai calettamenti, ai cuscinetti etc. ottenuti con macchina utensile. Se l'albero viene poi bonificato può rompersi a fatica con una crepa che parte da un intaglio, ma può durare a lungo se l'intaglio viene sottoposto a rullatura e quindi avviene necessario simulare in fase di progettazione questa lavorazione meccanica senza tenerne conto, come avviene ora, con grossolani coefficienti empirici.

E qui è doveroso un ricordo del passato per un utile ritorno: la fibrosità dei chiodi ribattuti a caldo o a freddo nelle giunzioni chiodate era stata già studiata dal Bach [20]...

- Molti organi di macchina vengono bonificati e questo trattamento ha numerosissime variabili quali la drasticità del mezzo di tempra, la posizione del pezzo e tante altre cose, che comportano caratteristiche meccaniche del materiale molto variabili e quindi la necessità di poterle prevedere.

- Nelle molle ad elica cilindrica sollecitate in trazione o compressione le isostatiche sono eliche a  $45^\circ$  che corrono lungo il filo. Il filo generalmente viene ottenuto per trafilatura, operazione questa che porta ad avere le massime caratteristiche di resistenza del filo lungo la direzione di trafilatura e cioè lungo la direzione dell'asse del filo. Anche le eventuali disomogeneità della struttura del materiale vengono schiac-

ciate e assumono una forma allungata. Nasce quindi evidente che, orientando la fibrosità del materiale lungo le future isostatiche del carico, si possono ottenere enormi vantaggi per quanto riguarda la resistenza della molla, in particolare nei casi nei quali la molla viene sottoposta a cicli variabili nel tempo, senza l'impiego di costosi materiali a grano cristallino particolarmente fine e quindi senza fibrosità [32] e senza la necessità di un trattamento di pallinatura.

### 2.13.6. Conclusioni

Il Costruttore di macchine deve operare da sempre una sintesi fra la progettazione delle macchine intesa come dimensionamento intuitivo e la schematizzazione delle macchine stesse negli aspetti di valutazione globale delle forze agenti, nell'analisi del movimento e dello stato di cimento interno delle singole parti e della tecnologia di fabbricazione, nella organizzazione del lavoro di progettazione, della prototipazione, della ingegnerizzazione del prodotto e nel recupero delle informazioni dell'uso del prodotto, attraverso il postvendita.

Considero maldestri i tentativi di dividere nelle lauree specialistiche di oggi la progettazione cosiddetta funzionale da quella costruttiva: niente, a mio parere, di più anacronistico ed errato. Sia sufficiente pensare a ciò che già nel 1500 Guido Ubaldo esclamava [33]:

la meccanica se astratta e separata dalle macchine non si può chiamare meccanica ed ancora: in somma questa è cosa sicurissima, che la pratica con la theorica vanno sempre insieme, né si discostano punto l'una dall'altra.

La materia deve portare gli studenti ad una motivata sensibilità nella progettazione delle macchine che metta insieme la conoscenza della macchina, le caratteristiche del materiale dei singoli pezzi con le sollecitazioni che avverranno durante la sua vita operativa e nel seguire il prodotto, da loro pensato, nella sua vita: passare dall'empirismo di queste considerazioni ad una scelta motivata e quindi scientifica "per causas" o come direbbe l'Alberti una serie di "quid tum" che fa passare una progettazione empirica ad una progettazione sempre più scientifica. Non ultima cosa, che per questa materia è essenziale: un collegamento diretto con l'industria, tramite tesi di laurea e non solo, che può garantire anche una valida collocazione lavorativa dei nostri laureati, almeno di quelli più bravi e più motivati. L'Università deve far capire agli studenti che l'industria non vuol dire innovazione e ricerca e che anzi questa può essere spesso deleteria in una industria che deve produrre per il mercato il quale, anche se non statico, non è detto che debba essere in continua fase particolarmente evolutiva o rivoluzionaria.

### Bibliografia

- [1] Diotallevi P. (2012). *Una Facoltà tra due Scuole. La Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, 1935-2012*, in: *Scienza e Tecnica nel Settecento e nell'Ottocento*, a cura di Mesini e Mirri, Bologna, CLUEB.



- [2] Meneghetti U. (2018). *L'insegnamento della Meccanica Applicata Alle Macchine nell'Università di Bologna*, vedi *infra*.
- [3] Morin A. (1854). *Lezioni di Meccanica pratica (Resistenza dei materiali)*, Milano, Salvi.
- [4] Annuari della Facoltà di Ingegneria, in: <http://ingegneria.sba.unibo.it/chi-siamo/storia-e-collezioni/fonti-per-la-storia-della-scuola>.
- [5] Lazzarino L. (1993). *Testimonianza - Relazione per lo 80° anniversario della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pisa*, Aula Magna, 23 settembre 1993
- [6] Ceccarelli M., Molari P.G. (2016). *Come insegnare la meccanica. Il metodo di Francesco Masi all'Università di Bologna e all'Istituto Aldini Valeriani*. Museo del Patrimonio Industriale di Bologna, "Scuola e Officina", n. 2, pp. 4-11.
- [7] A.N. (1977). *Francesco Masi - Notiziario Ass. Laureati della Facoltà di Ingegneria di Bologna*, n. 56, p. 5.
- [8] Masi F. (1891). *Corso di disegno degli organi di macchina per uso delle scuole industriali con applicazione ad una locomotiva di 10 cavalli*, Milano, Vallardi.
- [9] Francesco di Giorgio, *Settimo Trattato*, Senese 68v. Magliabechiano 89v., in Maltese (1967). *Trattati di architettura, ingegneria e arte militare*, Milano, Il Polifilo.
- [10] Taffe A. (1837). *Application des principes de mécanique aux machines le plus usage..*, Bruxelles, Meline, Cans et compagnie.
- [11] Masi F. (1883). *Manuale di cinematica applicata - Nuova classificazione dei meccanismi*, Bologna, Zanichelli.
- [12] Marini L. (a cura di) (1836). *Vitruvius de architectura libri decem*, Roma, Marini.
- [13] Guzzomi A.L., Maraldi M., Molari P.G. (2012). *Review: A historical review of the modulus concept ..*, "Mechanism and Machine Theory", 50, pp. 1-14.
- [14] Prosciutto A. (1942-43). *Costruzione di macchine* (litografia), Bologna, Pàtron.
- [15] Prosciutto A. (1952). *Costruzione di macchine*, Bologna, Pàtron.
- [16] Caboni F. (1971). *Costruzione di Macchine*, Bologna, Pitagora.
- [17] Molari P.G. (1971). *Esercitazioni di Costruzione di Macchine*, Bologna, Pitagora.
- [18] Orlov P. (1976-1980). *Fundamentals of Machine Design*, voll. 5, Moscow, Mir.
- [19] Giovannozzi R. (1951). *Costruzione di macchine, Vol I-II*, Bologna, Pàtron.
- [20] Reuleaux F. (1875). *Le Constructeur*, Paris, Savy.
- [21] Bach C. (1922). *Maschinen Elemente ihre berechnung und Konstruktion*, zwei bänden, Leipzig, Kröner.
- [22] Bosch M. ten (1949). *Vorlesungen ilber Maschinenelemente*, Berlin, Springer.
- [23] Niemann G. (1950). *Maschinenelemente*, Berlin, Springer.
- [24] Niemann G., Winter H., Höhn B.R. (2006). *Manuale degli organi delle macchine*, Milano, Tecniche Nuove.
- [25] Marsden E.W. (1971). *Greek and Roman Artillery, Technical treatises*, Oxford, pp. 106-184.
- [26] Galilei G. (1655). *Discorsi e dimostrazioni matematiche..*, Bologna, Dozza.
- [27] Ruitz C., Koenisberger F. (1970). *Design for strenght & production*, London, McMillan.
- [28] Molari P.G. (1995). *Disegnare con il calcolatore*, Bologna, Pitagora.
- [29] Molari P.G., Piancastelli L. (1987). *Esercizi di CAD*, Bologna, Pitagora.
- [30] Lazzarino L. (2006). *Lezioni di Costruzione di macchine*, a cura di Manfredi, De Paulis, Pisa, Plus.
- [31] Fowler M. (2010). *Domain Specific Languages*, Boston, Addison-Wesley Educational.
- [32] Molari P.G. (2014). *Metodo per la realizzazione di una molla e molla così ottenuta*, deposito Brevetto BO2014A000733, CCIAA Bologna 24/12/2014
- [33] Del Monte G.U. (1581). *Le mechaniche*, Venezia, Franceschi – in anastatica (a cura di P.G. Molari) (2013) Bologna, Forni.

## 2.14. STORIA E CRONACA DELLA MECCANICA CALDA

*Piero Pelloni*

### 2.14.1. Premessa

Quando si parla di meccanica calda e fredda ci si riferisce, tradizionalmente, da un lato agli scambi di energia connessi al moto di fluidi, dall'altro allo studio dei cinematismi, della tecnologia, delle verifiche di resistenza. Tutto ciò che è meccanica calda viene comunemente compreso o confuso nella dizione macchine, termine difficilmente riscontrabile all'estero, soprattutto nel mondo anglosassone, che tende a specificare i contenuti con maggiore dettaglio. Se è concessa una *boutade*, l'origine della meccanica calda è riconducibile al libro della Genesi. Adamo, cacciato dal giardino dell'Eden, viene informato delle fatiche che dovrà sopportare nel futuro: cioè che avrà bisogno di energia. La civiltà greca comincia a mostrare qualche esempio, più o meno timido, delle macchine attuali. La turbina di Erone è un curioso giocattolo che, tuttavia, contiene alcuni aspetti fondamentali: il movimento con flussi di fluido ad alta temperatura, vapore acqueo generato dall'impiego di un combustibile. Secoli dopo, soltanto la mancanza dei livelli di potenza garantiti dalle motrici moderne ha frenato lo sviluppo delle geniali intuizioni di Leonardo. La società industriale decollerà grazie alle macchine idrauliche e termiche.

### 2.14.2. Gli anni della memoria

La nascita della Meccanica calda bolognese risale all'ultimo quarto del diciannovesimo secolo, cioè all'origine di quella Scuola di applicazione che diventerà la Facoltà di Ingegneria. Vale la pena di sottolineare che, nelle strutture originarie, non esistono gli istituti né, tanto meno, i dipartimenti, ma i gabinetti scientifici. Nel 1881 Jacopo Benetti dirige il Gabinetto di Macchine, tenendo l'insegnamento di Macchine termiche, idrauliche ed agricole al terzo anno del triennio applicativo. Il professor Benetti muore il 31 dicembre 1910 e viene sostituito dal professor Giovanni Cicali, che svolge una attività di ricerca intensa: giova ricordare lo studio della sovralimentazione dei motori a combustione interna e quello connesso alla liquefazione dei gas permanenti. Quest'ultimo tema, abbastanza inusuale, troverà posto nell'attività didattica fino agli anni Ottanta. Giovanni Cicali dirige il Gabinetto di Macchine termiche, idrauliche ed agricole almeno fino al 1935, anno in cui il professor Aristide Prosciutto è direttore dell'Istituto di Meccanica Applicata.

Il dato è rilevante per diversi motivi. Intanto si conferma la dizione "istituto"; poi, il professor Prosciutto, ordinario di Meccanica applicata, transita sulla cattedra

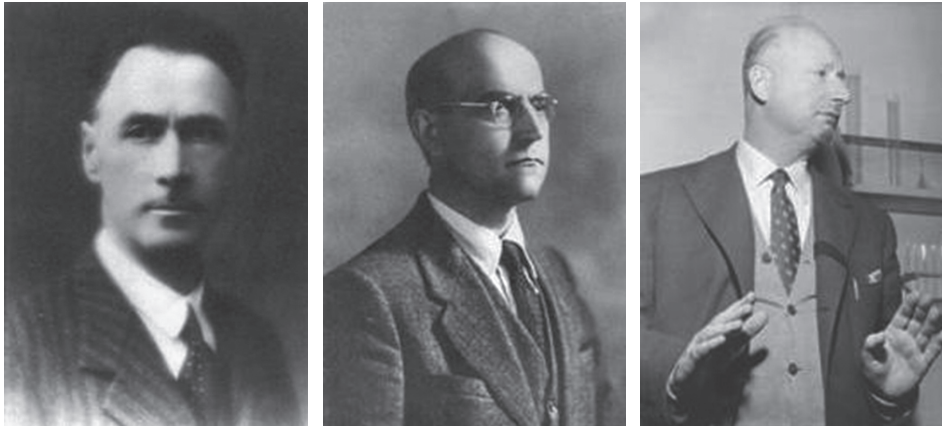


Figura 1. Giovanni Cicali, Aristide Prosciutto, Gino Morandi.

di Macchine al momento del pensionamento del professor Cicali. Poco dopo, un ex assistente di Cicali, Gino Morandi, vince la cattedra di Disegno di macchine e progetti, per poi trasferirsi sulla cattedra di Macchine alla prematura scomparsa del professor Prosciutto.

Siamo a metà degli anni Cinquanta e il seguito è storia recente. È importante notare che in quegli anni era abituale una totale intercambiabilità delle competenze. Il professor Prosciutto ha insegnato Macchine, Meccanica Applicata, Fisica Tecnica, Costruzione di Macchine, se non si dimentica qualche altro insegnamento. Il professor Morandi ha insegnato oltre a Macchine i corsi di Meccanica Applicata, Disegno e Progetti, Impianti meccanici e Impianti nucleari. Dal punto di vista gestionale, per restare soltanto a Morandi, ha diretto gli istituti di Macchine, Meccanica applicata, Impianti meccanici, oltre all'officina della Facoltà. Vale la pena di ricordare l'Istituto di Protesi degli arti intitolato a Vittorio Putti. Se è perfino banale immaginare le protesi come pertinenze della meccanica applicata, resta il fatto che per tempi non brevi nel laboratorio si conducevano prove di rottura di ossa bovine e si costruivano prototipi di arti superiori vuoi funzionali, vuoi puramente estetiche.

### 2.14.3. Gli anni Sessanta e Settanta

Negli anni Sessanta si sviluppa e si consolida un nuovo corso di laurea, quello in ingegneria nucleare. Come è umano che accada, tutte le strutture della facoltà cercano spazio ed occasioni all'interno del nuovo corso di laurea. Poiché tutte le competenze necessarie non sono immediatamente reperibili all'interno della facoltà stessa, si favorisce l'ingresso, come incaricati di insegnamento, di docenti prelevati da altre strutture di ricerca, in particolare dal CNEN (allora comitato nazionale per l'energia nucleare, oggi ENEA). Non deve stupire che una parte non trascurabile di questi nuovi docenti abbia scelto di rimanere nell'ambito accademico. L'università è una

vecchia signora dal fascino intramontabile, anche se ha passato i nove secoli. In questo quadro di riferimento il riflesso sulla meccanica calda è duplice.

Il professor Morandi lascia l'incarico di impianti meccanici per transitare su impianti nucleari ed il primo laureato del corso di laurea Enrico Sobrero diviene assistente di impianti nucleari. Chi scrive è entrato nel mondo accademico proprio su sollecitazione di Sobrero, amico carissimo, prematuramente scomparso nel mare di quella Sardegna che tanto amava.

Un altro rilevante cambiamento è alle porte. Dal maggio francese alla contestazione studentesca il passo è breve. Naturalmente non si vuole entrare in un tema così complesso se non per descriverne gli effetti sul nostro Istituto. Se è consentito un pizzico di autocelebrazione, i docenti dell'Istituto coniugavano una ottima fama didattica con una certa severità al momento della verifica. Dopo la lunga occupazione della facoltà, la severità restò immutata, ma si accettò di aumentare il numero degli appelli di esame, aumento che, soprattutto nei primi tempi, divenne francamente eccessivo. Naturalmente, il carico maggiore gravava sulle spalle di noi giovani assistenti che, tuttavia, riuscivamo a sopportare sfruttando gli aspetti quasi grotteschi di bocciature a frequenza settimanale.

In questo periodo l'attività di ricerca era connotata quasi totalmente in senso sperimentale.

La fotografia mostra un'interessante installazione di prova per macchine idrauliche, ora non più esistente, che vedeva la presenza di un invaso sulla collina prospiciente l'ingresso del laboratorio, da cui scendeva una condotta forzata che portava l'acqua in prossimità della turbina in prova, in questo caso una turbina Francis. Un motore Diesel trascinava la pompa centrifuga che alimentava l'invaso. Di più, il laboratorio svolgeva anche una sorta di servizio sociale a favore della piccola e media industria della regione. Si ricorda lo sviluppo di alcuni circuiti sperimentali, per esempio per macchine oleodinamiche, circuiti utilizzati da tante industrie, alcune cresciute a dimensioni internazionali.

Viene completata e potenziata una sala motori destinata a servire le aziende motociclistiche storiche del territorio ed a collaborare con l'ispettorato della motorizzazione per la omologazione delle moto giapponesi in Italia. Per inquadrare correttamente le condizioni di lavoro di allora giova ricordare un episodio. Durante il collaudo occorre, tra l'altro, mantenere il motore per due minuti alla massima potenza. Mentre la lettura dei valori di coppia e velocità di rotazione avveniva in ambiente separato, il comando dell'acceleratore era solo sul motore, quindi all'interno della sala. Durante

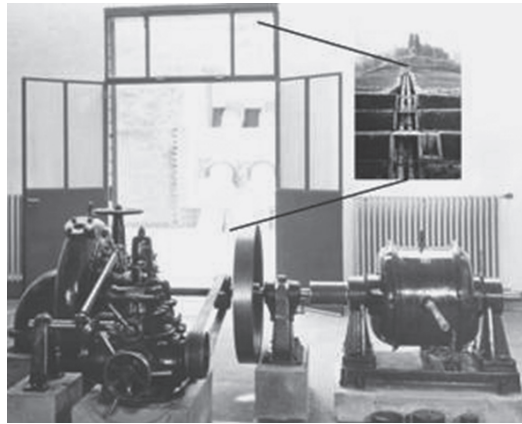
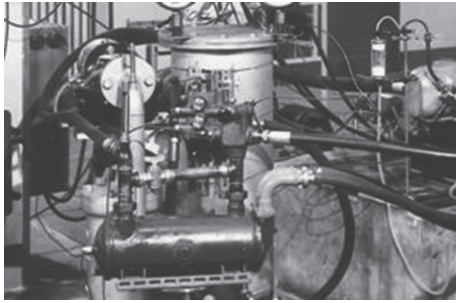
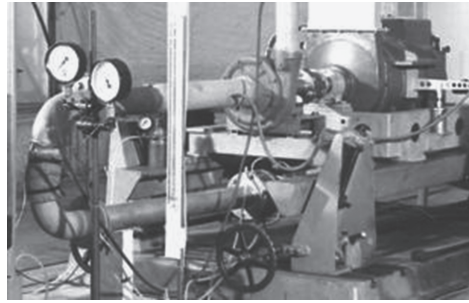


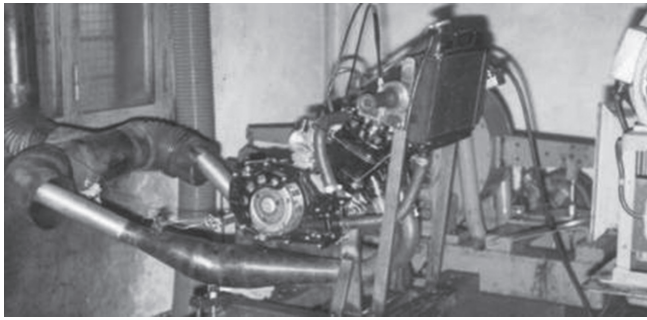
Figura 2. Prova di turbina idraulica Francis.



*Figura 3. Impianto di prova di pompe ad ingranaggi, primavera 1961.*



*Figura 4. Impianto di prova pompa centrifuga, primavera 1963.*



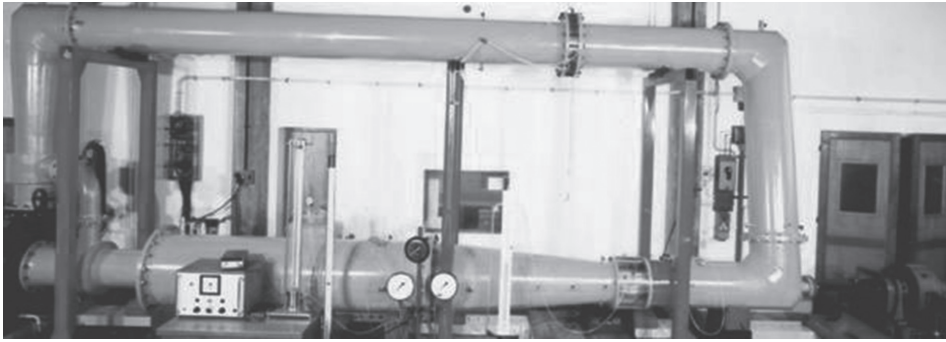
*Figura 5. Messa a punto del motore da competizione Bimota, che risulterà vincitore del campionato del mondo classe 350 cm<sup>3</sup> nel 1980.*

una prova su di una grossa motore giapponese, qualcuno, rimasto sconosciuto, uscì dal laboratorio staccando l'interruttore generale invece di spegnere le luci. Come ovvia conseguenza cessò l'alimentazione del freno a correnti parassite collegato al motore. Entrare nella sala e chiudere la manopola dell'acceleratore richiese pochi secondi e qualche robusta imprecazione, ma il fuori-giri fu impressionante. Fortunatamente il motore non subì alcun danno.

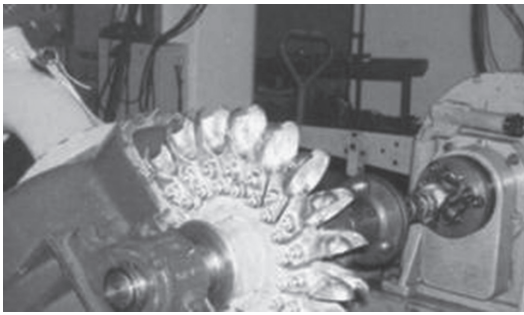
In tutta sincerità, il fatto rientra nella casistica di quelle prove conto terzi che spesso definivamo "prove contro terzi".

L'attività del laboratorio è stata resa possibile anche grazie al contributo dei tecnici che si sono susseguiti negli anni e che si nominano ne seguito, partendo dai primi fino a quelli ancora in servizio: Giorgio Zambelli, Tiziano Serafini, Elvino Ziotti, Graziano Natalini, Francesco Polga, Ubaldo Piccotti, Franco Neri, Gianni Zarri, Domenico Macchi, Francesco Tarì, Fabio Cutone, Giuseppe Fanale, Stefano Benaglia. Il loro contributo è stato fondamentale per molte delle prove e degli impianti che negli anni sono stati realizzati.

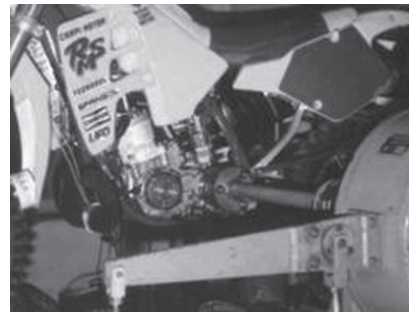
Ultimo rilevante passaggio di quegli anni è la proliferazione delle facoltà di Ingegneria in tante città. Come sempre succede, vi fu chi ironizzò sulle università di "quartiere", e chi pensò bene di cavalcare la novità. Col senno di poi quest'ultima scelta si rivelò vincente, anche se non priva di difficoltà. Per la meccanica calda bolognese il primo passo fu Ancona. Scommessa impegnativa: si partecipava alla nascita



*Figura 6. Circuito di prova per micro turbine idrauliche, anno 1985.*



*Figura 7. Collaudo di turbina Pelton, anno 1988.*



*Figura 8. Prova su moto Suzuki 250 cc, estate 1990.*

di una nuova facoltà con tutti i problemi di spazi, personale e risorse tipici di una realtà emergente. I risultati furono largamente incoraggianti.

I concorsi della metà degli anni Settanta portarono da tre a cinque i professori ordinari: a Morandi, Fabbri e Bonacini si aggiunsero Giorgio Minelli e Giorgio Negri di Montenegro, quest'ultimo proprio nella sede di Ancona. Per inciso, nasceva in quei momenti il sistema "Giorgi", inteso non come il sistema di unità di misura del 1934, ma come strategia per gli sviluppi futuri.

#### **2.14.4. Gli anni dell'espansione**

Quello di Ancona non fu che un primo passo, utile a fornire ai più giovani l'occasione di corsi di insegnamento e, più in generale, di esperienze gestionali forse impensabili nella sede madre. Concorsi successivi portarono nuovi ordinari: dapprima Sandrolini ed il sottoscritto proprio ad Ancona. Seguì il mio trasferimento a Parma, dove nasceva il triennio di applicazione e a seguire quello di Roberto Bettocchi a Ferrara e di Giuseppe Cantore a Modena. Sembrava che non ci fosse limite alle ambizioni. Purtroppo, come spesso accade, il limite era nascosto proprio nelle pieghe

del successo. Formare un professore universitario non è un lavoro breve, tanto che ci si dovette rendere conto di possibilità superiori alle risorse umane disponibili. Occorreva consolidare le sedi più vicine: Modena con Borghi e Ferrara con Spina e coprire la nuova realtà di Reggio Emilia, il che comportò la rinuncia ad Ancona con il trasferimento di Sandrolini.

Il trascorrere del tempo aveva portato il pensionamento del professor Morandi, il passaggio di Sergio Fabbri ad Impianti meccanici, la prematura scomparsa di Claudio Bonacini. Chi scrive era tornato a Bologna da Parma proprio ad un anno dalla scomparsa di Bonacini e già incombevano le sedi distaccate di Forlì, Cesena e, successivamente, Rimini. In parallelo, occorre ricordare la fine dell'Istituto di Macchine, confluito prima nel dipartimento DIEM e successivamente nel DIN. Per essere sinceri, non fu un passaggio del tutto indolore visto che per alcuni di noi lo slogan più gradito era del tipo: "piccolo è bello", ma la realtà dipartimentale era ormai talmente diffusa da rendere la scelta praticamente, obbligata anche per l'influenza di chi proveniva da realtà dipartimentali nelle diverse sedi vissute con assoluta serenità. Con una ovvia dose di pazienza da parte di tutti, il dipartimento si è notevolmente sviluppato. Anche solo pensando ai risvolti economici il confronto con gli istituti risulta improponibile. Ai fatturati milionari dei dipartimenti mi piace opporre una voce del libro dei cespiti dell'istituto nel 1947: «Dicembre, acquistato un martello, lire cinque».

Anche l'attività di ricerca ha vissuto una evoluzione che mi si consentirà di definire straordinaria. I motivi sono molteplici: intanto il gigantesco progresso dei sistemi di calcolo e della facilità di impiego degli stessi; poi l'aumento dei rapporti con la realtà industriale del territorio e la proiezione internazionale dei lavori scientifici; infine, e mi si permetterà di ascriverlo a merito della nostra generazione, la fiducia concessa ai nostri allievi nella stesura dei lavori, accelerando così la produzione scientifica.

### **2.14.5. Gli anni Duemila**

Non irrompe soltanto il terzo millennio, ma anche una nuova generazione. Sono persone che abbiamo visto nascere, accademicamente si intende, crescere ed affermarsi. Già all'inizio degli anni Ottanta, grazie ad una intuizione di Giorgio Negri di Montenegro, cominciò a svilupparsi il filone di ricerca dei gruppi combinati gas-vapore, con notevoli successi anche internazionali. Sui sistemi energetici sono impegnati Antonio Peretto, Michele Bianchi, Francesco Melino, Andrea De Pascale, Lisa Branchini. Sulla componentistica giova ricordare l'impulso che il compianto Giorgio Minelli ha dato alle ricerche sul controllo motore con risultati di assoluto rilievo. Davide Moro, Fabrizio Ponti, Nicolò Cavina, Enrico Corti, Vittorio Ravaglioli ed altri giovani proseguono con successo. Ancora, il gruppo che ho seguito fino al mio pensionamento, attivo nella progettazione termofluidodinamica dei motori a combustione interna, oggi è nelle mani di Gianmarco Bianchi, Stefania Falfari e Giulio Cazzoli. Infine, occorre ricordare che Giovanni Naldi ha

tenuto accesa la fiammella dell'oleodinamica fino al 2017, passando il testimone al professor Andrea De Pascale, fiammella che ha contagiato le sedi di Parma e Reggio Emilia, mentre ora tiene il corso di Turbomacchine. Maggiori dettagli sono desumibili dalle schede allegate.

### **Conclusion**

Quando, imprudentemente, ho accettato di stilare queste poche righe, sapevo che, alla fine, mi avrebbero raggiunto pensieri sui quali non è gradevole soffermarsi. Non è il passare del tempo, il tempo non ha età: siamo noi che passiamo. Se posso citare Ungaretti, di tanti che mi corrispondevano incontro soltanto Giorgio e Beppe e restano tanti ricordi e un pizzico di malinconia.

Nel seguito vengono raccolti delle brevi schede dei docenti che hanno dato il loro contributo ai due settori scientifico-disciplinari di Macchine a Fluido e Sistemi Energetici, più noti semplicemente come Macchine, presso l'Università di Bologna.

## **2.14.6. I docenti**

### **Giovanni Cicali**

Nato a Montecatini Terme il 25 luglio 1875, si trasferì presto a Grosseto, città dove il padre Francesco possedeva una fiorente attività commerciale. Studiò ingegneria all'Università di Pisa e poi a Torino dove si laureò in Ingegneria industriale nel 1899.

Iniziò a lavorare a Torino presso strutture votate alla ricerca, dove prese a pubblicare i suoi saggi tecnico-scientifici. Le sue ricerche interessavano soprattutto il campo della termodinamica e della meccanica dei fluidi, con la pubblicazione di importanti libri come *Contributo alla teoria della emulsione e sue applicazioni* (1910) e *Sui potenziali e diagrammi termodinamici con applicazione alle motrici termiche* (1911). Nel 1912 divenne docente di Macchine termiche e idrauliche alla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, dove fu eletto socio dell'Accademia delle Scienze.

Durante la Prima guerra mondiale si dedicò al potenziamento delle macchine belliche, soprattutto esplosivi e mine, proponendo spesso idee che ricevettero apprezzamento e quindi applicate nell'industria bellica. Dal 1920 si dedicò alla scomposizione delle miscele gassose e alla sintesi dell'ammoniaca. Nel 1923 a Firenze fondò a questo scopo la Società brevetti Cicali, favorendo la costruzione di impianti e macchinari per la liquefazione e la scomposizione delle miscele gassose. Vinse il premio Colombo dell'Istituto scientifico di Fisica di Milano dal 1924 al 1927. Morì a Bologna l'8 marzo 1952.

### **Aristide Prosciutto**

Nasce a Bologna il 7 maggio 1895 e lì si laurea in Ingegneria nel 1918. Appena laureato entra come assistente alla cattedra di Macchine nella allora Scuola di Applicazione per gli Ingegneri, in Piazza Celestini, oggi Facoltà Universitaria, ed in essa ha svolto tutta la sua carriera. Nella Scuola di Applicazione tenne i corsi di Meccanica Applicata alle Macchine e, per breve periodo, di quello di Tecnologia Meccanica. Primo vincitore nel 1932 del



concorso alla cattedra di Meccanica Applicata venne chiamato nello stesso anno a ricoprire detta cattedra presso questa Scuola, con luminosa chiarezza e profondità di vedute, fino alla sua immatura scomparsa. Nella Facoltà di Ingegneria impartì pure, in tempi successivi, gli insegnamenti di Costruzione di Macchine e di Fisica Tecnica. Nel 1950 fu chiamato, a seguito di trasferimento, a ricoprire la cattedra di Macchine in questa Facoltà di Ingegneria, succedendo in essa a Giovanni Cicali, che lasciava la cattedra per collocamento fuori ruolo. Dal 1945 al 1947 fu Preside della Facoltà, che poi volle lasciare, per dedicarsi interamente allo studio ed al suo Istituto. Era Accademico Benedettino dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, della quale era stato nominato Socio nel 1939, ed alla quale aveva sempre dato assidua partecipazione. Aristide Prosciutto fu studioso profondo, originale, lavoratore instancabile ed attento. La sua vasta produzione scientifica si è svolta soprattutto nei campi della Meccanica Applicata e delle Macchine, ma le sue profonde conoscenze ed il suo spirito enciclopedico ben più vasti campi spaziavano, che nessun campo delle discipline fisiche e tecniche era a lui estraneo: ed in ogni argomento aveva limpidezza di raziocinio e chiarezza di basi, sì da costituire esempio singolarmente brillante di scienziato e di tecnico.

### ***Gino Morandi***

Nasce a Reggio Emilia nel 1909, e si laurea a Bologna nel 1932 nell'allora Regia Scuola di Applicazione per Ingegneri ove entrò subito presso la cattedra di Macchine, per percorrervi l'intera sua carriera. Assistente ordinario di Macchine dal 1933, libero docente nel 1940; nel 1952 veniva nominato professore straordinario di Disegno di Macchine e Progetti, per passare poi nel 1955 alla cattedra di Macchine. Nella sua lunga carriera ha tenuto anche gli incarichi di Meccanica applicata alle macchine, di Impianti meccanici e poi di Impianti nucleari sempre presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna. È stato direttore dell'Istituto di Meccanica applicata alle macchine, dell'Istituto di Macchine e dell'Istituto di Impianti meccanici e macchine speciali.

Ha dedicato la sua vita all'Università seguendone attivamente lo sviluppo: è stato Presidente nazionale dell'Unione Nazionale Assistenti Universitari e poi per lunghi anni Presidente della Sezione di Bologna dell'Associazione Nazionale Professori Universitari di ruolo, prima, e poi dell'Unione Sindacale dei Professori Universitari di Ruolo; è stato Presidente Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana. In seno all'Ente Nazionale di Unificazione, è stato Presidente del Sottocomitato che studia i metodi di prova delle macchine oleodinamiche, e del Sottocomitato dei motori a combustione interna, in seno al Comitato Tecnico Italiano. In seno all'Ente Nazionale di Unificazione, è Presidente del Sottocomitato che studia i metodi di prova delle macchine oleodinamiche, e del Sottocomitato dei motori a combustione interna, in seno al Comitato Tecnico Italiano. È stato Accademico Benedettino e Presidente della Classe di Scienze Fisiche dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna. Gli è stata conferita (1976) la Medaglia d'oro per i Benemeriti della Scuola, della Cultura e dell'Arte. Nel 1986 venne nominato professore emerito dell'Università di Bologna.

### ***Claudio Bonacini***

Nato a Baiso (Reggio Emilia) l'8 agosto 1925, si laureava a pieni voti con lode in Ingegneria Industriale Meccanica nella nostra Università, nella primavera del 1953.

Abbracciata la carriera accademica ne percorreva tutti i gradini, da assistente incaricato di Macchine sino a professore ordinario.

Dall'1 novembre 1958 ha continuativamente tenuto come ulteriore insegnamento dapprima il corso di Misure meccaniche e successivamente quello di Servocomandi e regolazione.

È stato Direttore dell'Istituto di Macchine e Presidente del Consiglio del corso di laurea in Ingegneria Meccanica. Era membro Corrispondente dell'Accademia delle Scienze di Bologna. Fin dai primi anni di impegno universitario si è dedicato con particolare passione a sviluppare la ricerca sperimentale nel campo delle macchine, attivando via via nel laboratorio dell'Istituto una serie di installazioni di prova di altissimo interesse, trasferendo l'entusiasmo per il lavoro a quanti gli erano vicino.

Si interessò dapprima delle tecniche di alto vuoto, passando poi al settore dell'oleodinamica del quale è diventato ben presto uno dei maestri riconosciuti e studioso di fama internazionale. Buona parte dei laboratori di prova delle più note nostre aziende del settore sono iniziati ad imitazione di quanto il professor Bonacini aveva sviluppato nel laboratorio dell'Università e molto spesso a seguito dei suoi stimoli e suggerimenti. È stato stimato rappresentante dell'Italia in molti gruppi di lavoro dell'International Standardising Organization sui temi dell'oleodinamica e della pneumatica: alla sua competenza, alla sua signorilità si debbono molti proficui risultati ottenuti in questi incontri, nei quali l'essere italiano non costituiva fattore intrinseco di considerazione. Molto felice è risultato il suo impegno sia teorico, sia sperimentale nel campo delle valvole di sicurezza, aprendo una strada che ha poi consentito anche a tanti più giovani colleghi di lavorare con successo. Nella didattica il professor Bonacini, ineguagliabile per chiarezza e profondità nel trasmettere le sue conoscenze, aveva la capacità di trasmettere agli allievi la più alta immagine che si possa avere di un proprio professore e l'orgoglio di essere stati suoi studenti.

### ***Giorgio Minelli***

Nasce a Bologna il 14/12/1935, si laurea in Ingegneria Meccanica Industriale nel luglio 1959 e inizialmente è funzionario tecnico in una consociazione fra la belga Solvay e l'inglese Imperial Chemical Industries. Successivamente entra nell'Istituto di Macchine dell'Università di Bologna come assistente nel 1963 e, quindi, diventa professore ordinario di Macchine nel 1975. Ha svolto attività di docenza in Misure Meccaniche e Termiche, Complementi di Macchine, Macchine e Propulsione aerospaziale, conseguendo numerosi attestati per gli elevatissimi risultati nell'eccellenza della didattica da parte del Rettore.

Durante la sua carriera universitaria ha ricoperto molteplici ruoli di prestigio: Direttore della Scuola di Dottorato in Ingegneria Industriale, membro della Commissione Autorizzazioni dell'Ateneo di Bologna, Socio Corrispondente dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, Direttore dell'Istituto di Macchine dell'Università di Bologna dal 1983 fino al suo scioglimento nel 1994, Presidente Onorario della Sezione Emilia Romagna dell'ATA: Associazione Tecnica dell'Automobile, membro del Comitato di Consulenza del C.N.R. per l'Ingegneria e l'Architettura dal 1994 fino al suo scioglimento, membro di svariate Commissioni del Ministero del Tesoro, del Bilancio e della Programmazione Economica per l'accertamento di iniziative industriali, membro di varie

Commissioni del Ministero dell'Ambiente per la Valutazione dell'Impatto Ambientale di nuove centrali termoelettriche, valutatore di progetti di innovazione tecnologica del Ministero dello Sviluppo Economico.

Notevole è stata anche la sua attività come consulente tecnico di ufficio e di parte.

Il professor Minelli ha sviluppato e coordinato un gruppo di ricerca sui temi della sperimentazione, controllo, modellizzazione e diagnosi dei motori a combustione interna. Ha pubblicato oltre 80 lavori prevalentemente nel settore dei motori a combustione interna, presentati, già a partire dalla prima metà degli anni Novanta, nell'ambito dei più prestigiosi congressi internazionali del settore automotive: SAE, IFAC ed ASME. Importanti risultano anche i suoi contributi scientifici nei settori dell'oleodinamica e dei cicli frigoriferi. È autore di cinque libri di varie tematiche del campo tecnico e ha collaborato con diverse testate giornalistiche nazionali pubblicando articoli divulgativi in ambito scientifico.

Nel 2010 veniva insignito del titolo di professore emerito dell'Alma Mater Studiorum.

Con grande intuito, ha anticipato i tempi nel comprendere l'importanza di una stretta collaborazione tra mondo accademico e industriale, facendosi promotore di numerose collaborazioni con le più note realtà industriali del settore automotive: Ferrari, Lamborghini, Ducati, Magneti Marelli. Tra i risultati delle sue ricerche, la nascita dello spin-off Alma Automotive, uno dei più avanzati esempi di trasferimento tecnologico dell'ateneo bolognese.

### ***Giorgio Negri di Montenegro***

Si laurea a Bologna in Ingegneria Meccanica nel 1954 con una tesi sviluppata nell'allora Istituto di Macchine, dove si trattene dapprima come assistente straordinario nel 1955, per poi diventare assistente ordinario nel 1963. Vince quindi il concorso a professore ordinario e nel 1975 gli viene assegnata la cattedra di Macchine dell'Università di Ancona a coronamento del suo vivo impegno per lo sviluppo di quella Facoltà di Ingegneria, allora ai suoi primi passi.

Nel novembre 1978 viene chiamato dalla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna come professore ordinario di Macchine, dove ha tenuto una pluralità di insegnamenti tutti ricompresi nell'ambito di quella disciplina – Macchine – alla quale ha dedicato il suo più alto impegno.

Nel campo della ricerca scientifica ha realizzato presso l'Università di Ancona un importante impianto sperimentale sui compressori frigoriferi di nuova generazione, dando vita ad una filiera di ricerche che destarono l'interesse della comunità internazionale. Richiamato presso l'ateneo bolognese dette l'avvio a quegli studi sui sistemi innovativi per le conversioni di energie (con particolare riferimento ai cicli turbogas e combinati), pubblicando oltre 70 pubblicazioni presentate nei più prestigiosi congressi specialistici internazionali o stampate sulle più esclusive riviste che gli hanno fruttato grandi soddisfazioni: ha infatti vinto ben tre volte il "Best Paper Award" (nel 1993, 1999 e nel 2000) che l'ASME (American Society of Mechanical Engineering) riserva alla miglior pubblicazione del settore nell'anno. Ma più prestigioso è stato il "John P. Davis Award" vinto nel 1995 che l'ASME riserva al miglior lavoro selezionato in un più ampio campo di temi legati comunque alla cogenerazione ed alle turbine a gas. Nel

2002 ha poi ricevuto, e sempre dalle ASME, il “Recognition of outstanding contributions to the IGTI: Industrial & Cogeneration Committee”.

Non ultimo, ha saputo creare un affiatato gruppo di ricercatori che ha guidato nei loro lavori e che stanno riscuotendo importanti successi anche nel rapporto diretto con le realtà industriali.

È stato coordinatore di molte ricerche in ambito nazionale e internazionale e ha avuto un ruolo di primo piano nell’ambito della Giunta nazionale dei Professori di Macchine.

È Accademico Benedettino dell’Accademia delle Scienze dell’Istituto di Bologna e nel 2003 è stato nominato professore emerito dell’Università di Bologna.

### ***Piero Pelloni***

Nato a San Pietro in Casale (Bo) nel 1944, dopo essere stato assistente alla cattedra di Macchine, fu chiamato (1980) dalla Facoltà di Ingegneria dell’Università di Bologna come professore associato. Nel 1986 vinse la cattedra di Macchine presso l’Università di Ancona dove vi rimase fino al 1988. Successivamente venne chiamato come professore ordinario di Macchine dall’Università di Parma. Nel 1995 fu richiamato dalla Facoltà di Ingegneria dell’Università di Bologna dove è rimasto come professore ordinario di Macchine fino al termine della carriera accademica (2014).

L’attività di ricerca, dopo essere stata rivolta ai diversi ambiti tipici del settore delle Macchine a Fluido, si è concentrata sui settori delle pompe volumetriche e dei motori a combustione interna alternativi. A quest’ultima area si è poi dedicato in misura sempre maggiore contribuendo alle prime applicazioni di modelli termodinamici zero-dimensionali di simulazione di motori a ciclo diesel. Le ricerche iniziate a Parma sono proseguite con il suo trasferimento a Bologna, dove ha prodotto ulteriori contributi scientifici nello studio numerico dei motori endotermici alternativi e dei loro componenti, coordinando un ampio gruppo di ricerca e lavorando sempre in stretto contatto con il mondo industriale (Ducati, Magneti Marelli, FCA (ex-VM-Motori)).

L’attività didattica è stata orientata all’insegnamento delle materie tipiche delle Macchine a Fluido, sia di base sia specialistiche, nelle quali ha trasferito i risultati scientifici ottenuti nel corso delle ricerche e della collaborazione con il mondo industriale. È stato inoltre responsabile scientifico di unità operativa di progetti a finanziamento pubblico (finalizzati ed integrati del CNR, PRIN e FIRB del MIUR). Presso l’Ateneo di Bologna ha ricoperto il ruolo di Coordinatore del Corso di Studio in Ingegneria Meccanica della Facoltà di Ingegneria dal 1998 al 2000, quando fu eletto Direttore del Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni Meccaniche Nucleari Aeronautiche e di Metallurgia (D.I.E.M.), carica che ricoprì fino al 2006. Nel 2007 ha co-fondato NAIS srl, spin-off accreditato dell’Università di Bologna.

### ***Davide Moro***

Nasce a Pesaro nel 1962, entra all’Istituto di Macchine come ricercatore universitario nel settore scientifico disciplinare ING/IND-08 nel marzo 1990, quindi professore associato nell’ottobre 1998 e professore ordinario nell’ottobre 2001.

Dopo una prima fase di ricerca nel campo dei sistemi combinati Gas-Vapore con i professori Negri, Bettocchi e Cantore si indirizza nella ricerca verso il settore dei motori a combustione interna con il professor Minelli. Lavora a tecniche non intrusive di stima

della pressione nei cilindri mediante analisi delle vibrazioni della testata motore per scopi diagnostici e quindi si occupa, anche in collaborazione di aziende motoristiche, della diagnosi del misfire, presentando articoli sul tema al World Congress della SAE a Detroit, diversi dei quali selezionati per SAE Transactions.

Interessanti sono state le ricerche sulla determinazione della velocità di rotazione del gruppo turbocompressore di motori sovralimentati dall'analisi dell'emissione sonora percepita da un microfono nel vano motore. Si è occupato dei sistemi meccanici di accumulo di energia mediante volani ad alta velocità per applicazioni automobilistiche.

È stato coordinatore del corso di studio in Ingegneria Meccanica presso il Campus di Forlì, responsabile dell'unità operativa di sede del dipartimento di Ingegneria Industriale presso il Campus di Forlì dal 2012 al 2018, è membro del Consiglio direttivo dell'Associazione Italiana delle Macchine e dei Sistemi Energetici AIMSEA dal gennaio 2018 e dal dicembre 2018 è stato nominato Presidente della Scuola di Ingegneria e membro della Giunta della Conferenza per l'Ingegneria.

Nel 2002 con alcuni colleghi ha avviato lo spin-off Alma Automotive.

### **Antonio Peretto**

Nasce a Rovigo nel 1965 e si laurea in Ingegneria Nucleare con lode a Bologna nel 1990. È diventato ricercatore di Macchine a Fluido nel 1992, professore associato nel 1998 e professore straordinario nel 2001. Attualmente è professore ordinario di Sistemi e Energetici e Macchine a Fluido. Ha ricoperto i seguenti ruoli istituzionali all'interno dell'Ateneo Bolognese:

Direttore del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIN) dell'Università di Bologna, dal 2 maggio 2015;

Membro del Senato Accademico dell'Università di Bologna da maggio 2015 ad aprile 2018;

Coordinatore del Corso di Studio in Ingegneria Meccanica dal 2009 al 2015;

Vicepresidente della Scuola di Ingegneria e Architettura a partire dal 1 novembre 2012 fino al 31 ottobre 2015;

Coordinatore del Dottorato di Ricerca in "Ingegneria delle Macchine e dei Sistemi Energetici" nel periodo 2000-2005.

Attualmente coordina assieme al collega Michele Bianchi il gruppo di Ricerca di "Sistemi Energetici" del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Bologna.

Dal luglio 2000 è chiamato dalla Commissione Europea come "Expert Evaluator Member" di progetti europei che avanzano richiesta di finanziamento per la ricerca e lo sviluppo di sistemi di produzione dell'energia termica ed elettrica ad elevato rendimento ed utilizzando fonti alternative (biomassa e biogas), e di abbattimento delle emissioni inquinanti derivanti da tali sistemi. Svolge anche attività di valutazione di progetti di ricerca per conto sia di enti pubblici sia privati.

### **Michele Bianchi**

Nasce a Siena nel 1968 e, dopo essere stato prima ricercatore e poi professore associato di Macchine e Sistemi Energetici a Bologna, nel 2010 ha vinto la cattedra della stessa materia venendo chiamato nel 2011 dall'Università di Bologna.

L'attività di ricerca, svolta sia con approccio numerico che sperimentale, si è inizialmente rivolta ai sistemi oleodinamici, per poi concentrarsi sui sistemi energetici avanzati, i cicli complessi e le tecnologie di ripotenziamento delle turbine a gas, la cogenerazione, i sistemi di micro-generazione, i combustibili rinnovabili e alternativi per la produzione di energia e le tecnologie di recupero del calore.

Autore di circa 170 articoli scientifici pubblicati in *journal* internazionali o presentati a congressi, con oltre 1.500 citazioni, nel 2015 ha vinto il "John P. Davis Award" della American Society of Mechanical Engineering (ASME).

La didattica, oltre alle Macchine a fluido, riguarda nello specifico i sistemi energetici avanzati, con particolare attenzione ai sistemi di piccola e micro generazione, anche in assetto cogenerativo.

## 2.15. LA DISCIPLINA TRASPORTI NELLA SCUOLA-FACOLTÀ DI INGEGNERIA DI BOLOGNA

*Federico Rupi, Giannino Praitoni*

### 2.15.1. Introduzione

Alcune discipline ingegneristiche classiche, tutt'ora presenti negli Atenei Italiani, hanno fondamenti teorici e relativi settori applicativi, via via consolidati, risalenti a molti anni fa: per fissare termini temporali riguardanti la Scuola Bolognese, si può fare riferimento al periodo successivo alla nota rivoluzione industriale, periodo che possiamo collocare dal 1880 agli anni susseguenti la guerra 1915-1918, considerato che tale evento ha determinato, come ben noto, uno stravolgimento del panorama civile di molte nazioni europee... Tra queste discipline possiamo citare, utilizzando l'attuale denominazione, Scienza delle Costruzioni, Tecnica delle Costruzioni, Costruzione di Strade e Ferrovie ed Aeroporti; sullo stesso piano possiamo mettere Meccanica Applicata, Costruzione di Macchine (operatrici, termiche, idrauliche), Elettrotecnica ed altre ancora. Sono discipline che nell'ambito del loro dominio culturale e soprattutto applicativo, hanno infatti consentito per molti anni la realizzazione su larga scala di costruzioni civili ed industriali, apparati produttivi di vari beni strumentali e di consumo, di strade, ferrovie e corrispondenti veicoli, con i quali trasportare materie prime e prodotti finiti, e via via anche sempre più ampi strati della popolazione.

Altre discipline si sono invece formate e sviluppate in tempi relativamente recenti, in ambiti culturali nuovi che non appartengono solo al dominio dell'ingegneria, quali la Ricerca Operativa, l'Elettronica, l'Informatica, la Bioingegneria, ecc.: in particolare l'Elettronica e l'Informatica hanno avuto importanti ricadute sulle discipline classiche prima citate, fornendo potenti strumenti di analisi e di calcolo con cui è stato possibile esplorare approcci avanzati ed innovativi ai vari problemi, riducendo drasticamente i tempi di progettazione e di realizzazione.

Fra questi recenti ed innovativi filoni culturali, appare appropriato collocare anche la disciplina Trasporti, che nella moderna concezione riguarda l'approccio scientifico all'analisi e governo di un fenomeno di grande attualità e rilevanza, appunto il trasporto delle persone e delle merci, di cui tutti siamo al tempo stesso spettatori e protagonisti, fenomeno che è stato nel passato definito come segue:

Trasferimento di persone e cose fra i vari punti di un qualsiasi ambito territoriale, per diversi motivi, in varie fasce temporali, mediante le infrastrutture disponibili (strade, ferrovie, aeroporti) ed i corrispondenti mezzi disponibili (moto, auto, bus, tram, metrò, aereo).

A tale concezione ed ai relativi metodi di analisi, si è pervenuti dopo un lungo e non facile percorso culturale. Infatti a partire dai primi anni del Novecento e in pratica fino al secondo dopoguerra, il trasporto ha costituito essenzialmente un problema tecnico, sia pure di grande rilevanza, ricollegabile alle materie classiche sopra indicate, ovvero alla costruzione (o ricostruzione nel citato dopoguerra) di strade e ferrovie con relative modalità di utilizzo, nonché alla riorganizzazione di servizi pubblici.

A partire dagli anni Sessanta-Settanta l'enorme sviluppo della motorizzazione privata è venuto a costituire un grande problema non solo tecnico ma anche e soprattutto economico e sociale, coinvolgendo vaste categorie e numerose attività: le straordinarie dimensioni di tale fenomeno, aggiornate al 2015, sono chiaramente evidenziate dai dati di tabella che indicano anche una sensibile carenza infrastrutturale.

<i>Anno</i>	<i>Veicoli migliaia</i>	<i>N° Indice</i>	<i>% Auto</i>	<i>Strade 10<sup>3</sup> km</i>	<i>N° Indice</i>	<i>Autostrade 10<sup>3</sup> km</i>	<i>N° Indice</i>
1960	2141	100	76,8	103	100		
1970	12711	594	80,3	137	133	3,9	100
1980	23667	1105	74,7	155	150	5,9	151
1990	36584	1709	74,9	162	157	6,2	159
2000	40744	1903	80,1	168	163	6,5	167
2010	48619	2271	75,8	179	174	6,6	169
2015	49123	2294	75,9	180	175	6,7	172

Di fronte a tale complesso e macroscopico fenomeno, esploso nel decennio 1960-1970, ma con eccezionale ritmo di crescita fino al 1990, con il conseguente grande sviluppo della mobilità di persone e merci su strada, sia a carattere urbano che extraurbano, è emersa la necessità di conoscere e governare tale fenomeno con un approccio teorico-sperimentale di superamento del mero problema costruttivo delle infrastrutture, approccio individuabile nei seguenti due principali filoni di ricerca che hanno visto il loro massimo sviluppo negli anni Settanta-Ottanta:

a) *studio delle prestazioni del veicolo nelle sue interazioni con l'infrastruttura*, in parte già presente nelle materie attinenti la realizzazione dell'infrastruttura, argomento che anche oggi costituisce parte non secondaria nel quadro generale della disciplina Trasporti, come verrà evidenziato nel seguito;

b) *monitoraggio e controllo del traffico stradale*, chiaramente suggerito dallo sviluppo del fenomeno prima citato, argomento tutt'ora presente e ulteriormente sviluppato, anche con l'ausilio di avanzati strumenti di monitoraggio e di calcolo.

In seguito, a fronte della perdurante espansione della mobilità di persone e merci anche a vasta scala territoriale (come ad es. gli esodi nei week-end e durante i periodi festivi), effetto dell'evoluzione del quadro economico generale, e in conseguenza all'espansione urbanistica non sempre razionale e controllata (si pensi ad esempio alla proliferazione dei grandi centri commerciali), si è rivelata l'esigenza di un nuovo



approccio caratterizzato da strumenti analitici di avanzata concezione con cui interpretare tale fenomeno e soprattutto prevederne l'evolversi nel tempo e nello spazio.

In definitiva la nascita ed i successivi sviluppi della disciplina Trasporti nella Scuola di Ingegneria di Bologna possono essere correttamente inquadrati considerando tre fasi storico-scientifiche di seguito elencate e successivamente descritte in dettaglio, tenendo comunque presente che i confini temporali fra le suddette fasi sono definibili con una certa elasticità, in quanto i contenuti di alcune materie si ritrovano, almeno in parte, in due periodi successivi.

*Le origini*, in cui è difficilmente individuabile un vero e proprio ambito culturale, predominando quello delle discipline classiche del settore civile prima elencate; in tale periodo si riscontrano interessanti contributi alla costruzione delle infrastrutture di trasporto, ma solo cenni all'esercizio dei servizi, in genere limitati al settore ferroviario.

*La formazione di una disciplina autonoma*, derivata dall'evoluzione dei contenuti delle precedenti discipline, ma anche in larga misura dalle ricerche teoriche e sperimentali sviluppate fin dagli anni Trenta negli USA e in Gran Bretagna; in tale contesto la disciplina risulta essenzialmente caratterizzata dai filoni culturali relativi alle prestazioni del veicolo ed al controllo del traffico stradale.

*L'approccio analitico-sistemico* allo studio del fenomeno *trasporto* come definito in precedenza, reso possibile dall'introduzione di strumenti derivanti dall'Elettronica e dall'Informatica, con l'ulteriore fondamentale contributo della Teoria dei Sistemi e l'accentuato ricorso all'Analisi Statistica, comunque largamente utilizzata anche in precedenza, nonché l'impiego di sistemi di calcolo sempre più efficienti e veloci.

### 2.15.2. Le origini

Premesso che nel 1877 a Bologna fu istituita la Scuola di Applicazione per Ingegneri, nel corrispondente anno accademico 1877/78 fu tenuto, dal professor Giulio Stabilini, il corso di *Strade Ordinarie e Materiale Fisso per le Ferrovie*, i cui contenuti erano del tutto dedicati al tracciamento ed alle tecniche di realizzazione dell'infrastruttura e dei vari elementi fissi accessori, senza alcun riferimento all'esercizio, salvo un cenno alla chiusura dei passaggi a livello.

Dal 1878/79 il corso assume la denominazione di Costruzioni Stradali e Ferroviarie (in qualche anno semplicemente Strade e Ferrovie) tenuto ancora dal professor Stabilini, poi per due anni dal professor Giuseppe Albenga; infine, a partire dal 1914, dal professor Francesco Balatroni, anno in cui compaiono per la prima volta alcuni elementi attinenti il trasporto (Cenni sull'organizzazione dei servizi automobilistici e ferroviari).

Nell'anno successivo, in relazione allo sviluppo del trasporto ferroviario (anche per motivi legati al conflitto in atto) viene introdotto il corso di Esercizio e Materiale Ferroviario (professor Felice Corini) con approfondimento delle problematiche dei consumi e l'introduzione del concetto di *rendimento del trasporto*.

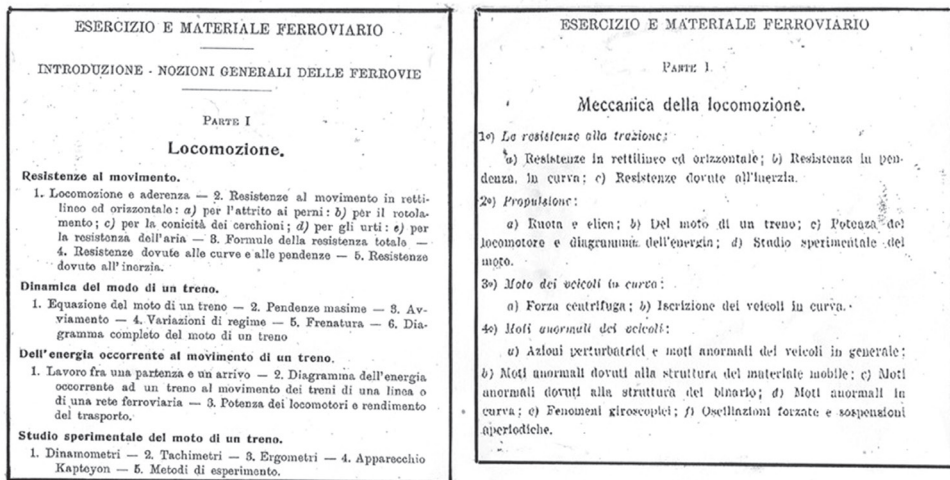


Figura 1. Programmi di “Locomozione” e “Meccanica della Locomozione”, A.A. 1922/23.

I due corsi si sviluppano praticamente in parallelo, tanto che nell’A.A.1923/24, nel primo corso compaiono ulteriori elementi attinenti il trasporto quali *traffico, motori e veicoli, trazione su strada ordinaria, richiami di trazione ferroviaria*, mentre nel secondo (A.A. 1922/23) compare per la prima volta il termine *Locomozione* e successivamente *Meccanica della Locomozione* come parte del settore *Trazione e Materiale Mobile*, del corso prima indicato: la Fig. 1 riporta la parte iniziale del programma delle due materie.

Nell’A.A. 1926/27 la Meccanica della Locomozione entra a far parte, come argomento fondamentale, del suddetto corso, sia pure con contenuti ancora limitati al settore ferroviario; fino all’A.A. 1934/35, ultimo anno della Scuola di Applicazione per Ingegneri, rimane sostanzialmente invariata la struttura didattica sopra descritta.

L’A.A. 1934/35 può essere considerato come termine del primo periodo: nel successivo A.A. 1935/36 viene istituita la Facoltà di Ingegneria che trova sede in viale Risorgimento e per la prima volta nel piano didattico compare il corso di *Tecnica ed Economia dei Trasporti*, che quindi può essere considerato il primo passo per la formazione della disciplina *Trasporti*.

### 2.15.3. La formazione di una disciplina autonoma

Come accennato in precedenza, il corso di *Tecnica ed Economia dei Trasporti*, istituito contestualmente alla Facoltà di Ingegneria nell’A.A. 1935/36, rappresenta effettivamente il primo fondamentale contributo allo sviluppo della disciplina *Trasporti*. Tenuto dal professor Guido Corbellini e basato essenzialmente sulla *Meccanica della Locomozione*, ovvero lo *studio delle prestazioni del veicolo nelle sue interazioni con l’infrastruttura pertinente*, come evidenziato nella parte introduttiva, estende le pro-

blematiche dell'esercizio ferroviario anche al caso stradale, introducendo sia l'*organizzazione dei trasporti pubblici su strada*, sia i problemi dell'*economia aziendale*.

Trattasi quindi di un ambito disciplinare in cui sostanzialmente la parte strutturale, tipica delle discipline classiche dell'Ingegneria Civile, passa in secondo piano, mentre assume rilevanza preponderante la parte cinematica-dinamica dell'interazione veicolo-struttura e l'esercizio, in altri termini la funzione *trasporto*.

Negli anni successivi il programma del corso, tenuto dal professor Corbellini fino al 1944, mantiene sostanzialmente le stesse caratteristiche, con un più accentuato orientamento verso il settore stradale, che già in quel periodo cominciava ad assumere aspetti concorrenziali rispetto a quello ferroviario; in merito si mettono in evidenza i seguenti argomenti: *cenni sui sistemi di circolazione ferroviaria; circolazione stradale e unità di movimento e di traffico; distribuzione e regolarità del traffico; valore e costo del trasporto*.

Dal 1944 al 1949 il corso viene tenuto dapprima dal professor Filippo Spani e successivamente dal professor Francesco Balatroni sostanzialmente con lo stesso programma.

Considerata poi la sempre maggior esigenza di approfondire le tematiche del trasporto ferroviario, dal 1946 viene istituito il corso di Trazione Elettrica, tenuto prima dal professor Spani, successivamente dal professor Paolino Camposano.

L'istituzione di tale nuovo corso comporta la riduzione delle problematiche riferite all'argomento della Trazione Elettrica nel corso di Tecnica ed Economia dei Trasporti, con conseguente più ampio spazio alle tematiche del trasporto stradale, soprattutto per quanto riguarda l'interazione veicolo-infrastruttura, e l'organizzazione del trasporto pubblico su strada.

Nel 1950 il corso di Tecnica ed Economia dei Trasporti viene assunto dal professor Ernesto Stagni con rilevante ampliamento della componente stradale e l'introduzione dei metodi per la programmazione dei trasporti pubblici come appare anche dal testo dello stesso professor Stagni<sup>1</sup>.

Da ricordare che nel 1956, in seguito alla costituzione dell'Istituto di Trasporti, viene istituita la cattedra di Tecnica ed Economia dei Trasporti; da ricordare inoltre che negli anni successivi, fino all'entrata in vigore dell'attuale Ordinamento, detta materia compariva anche nei corsi di laurea di Meccanica e di Elettrotecnica.

Successivamente il corso di Trazione Elettrica cambia denominazione e diventa Trazione Termica ed Elettrica (tenuto prima dal professor Camposano, poi dal professor Enrico Masi) con successiva ulteriore suddivisione negli anni Novanta fra Sistemi di Trazione e Progettazione di Sistemi di Trasporto, tenuti inizialmente dal professor Mario Matassa, poi dall'ingegner Alfonso Micucci (ricercatore confermato): i contenuti di questi due nuovi insegnamenti sono nettamente orientati a tutti i sistemi di produzione e utilizzazione della potenza motrice delle varie tipologie veicolari, non esclusi quelli aerei, ambito culturale di interesse non solo per l'Ingegneria Civile, ma anche e soprattutto per quello della Meccanica e dell'Elettrotecnica.

---

<sup>1</sup> E. Stagni, *Meccanica della Locomozione*, Bologna 1980.

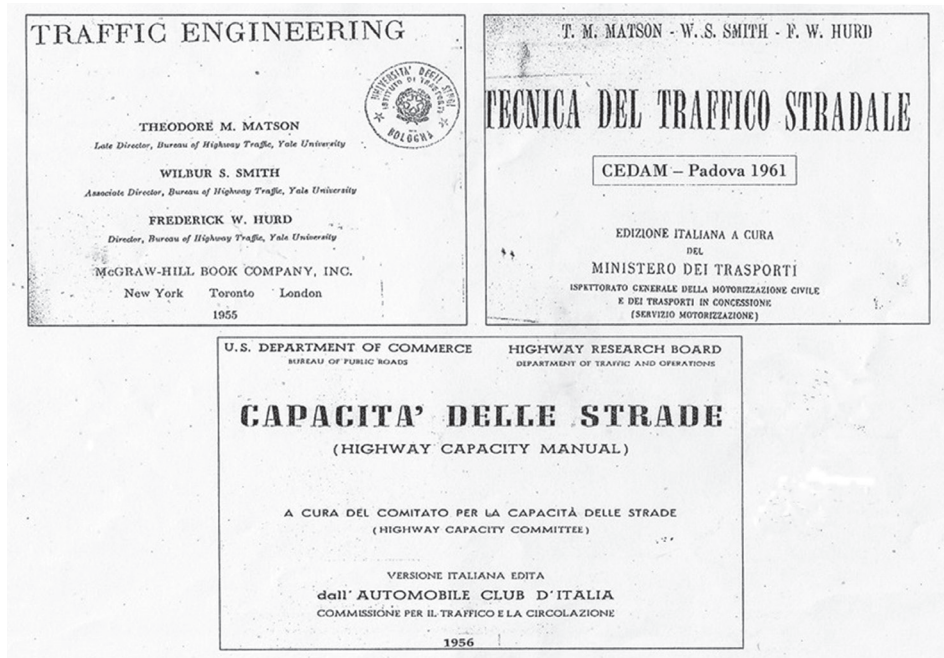


Figura 2. Frontespizi delle pubblicazioni USA tradotte in Italia.

La riduzione degli argomenti prima citati, legati alla Meccanica ed all'Elettrotecnica nel corso di Tecnica ed Economia dei Trasporti, ha consentito l'introduzione di un primo approccio generalizzato problema "trasporto". Infatti, contestualmente al consolidamento del filone culturale rappresentato da Tecnica ed Economia dei Trasporti, è emersa l'esigenza di dare ancor maggior spazio al tema dell'*esercizio del trasporto*, in particolare per quanto i servizi pubblici su strada. Risale infatti al 1960 l'istituzione di un corso *ad hoc*, denominato Tecnica della Circolazione e del Segnalamento, affidato all'ingegner Filippo Bordoni, Capo Compartimento delle FS, inizialmente orientato prevalentemente alla sicurezza della circolazione ferroviaria, ma contenente anche elementi di circolazione su strada.

A partire dal 1964, con la denominazione di Tecnica della Circolazione il corso viene affidato al professor Alessandro Orlandi, che via via introduce contenuti molto più ampi ed innovativi riguardanti il settore stradale, argomenti contenuti e sviluppati in uno dei suoi libri<sup>2</sup>:

a) da un lato, il già richiamato *monitoraggio e controllo del traffico stradale*, basato su principi e tecniche ampiamente collaudati in USA (che per primi hanno dovuto affrontare il problema della motorizzazione di massa) desunti da due note pubblicazioni (vedi Fig. 2):

- T. Matson, W. Smith, F. Hurd, *Traffic Engineering*, New York, McGraw-Hill;

<sup>2</sup> A. Orlandi, *Tecnica della Circolazione*, Bologna 1974.

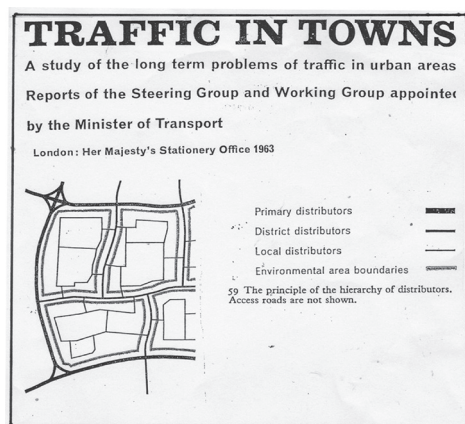


Figura 3. "Traffic in towns".

Tale ulteriore scelta è stata anche sollecitata dall'avvento sullo scenario scientifico internazionale, nei primi anni Sessanta, di due pubblicazioni dai contenuti innovativi, che di fatto hanno costituito una pietra miliare per lo sviluppo della disciplina:

- B. Martin, F. Memmot, J. Bone, *Principles and techniques of predicting future demand for urban area transportation*, MIT, 1961;
- C. Buchanan, *Traffic in towns*, 1963 (vedi Fig. 3).

La prima contiene una sintesi degli strumenti analitici e delle procedure utilizzati nella stesura del Piano dei Trasporti di grandi conurbazioni statunitensi, tra cui Pittsburgh e Boston, con l'impiego di *software* e *hardware* da ritenersi, a quei tempi, innovativi.

Nella seconda, nota come Rapporto Buchanan, compare invece il concetto delle *stanze di traffico*, tutt'ora adottato a livello scientifico ed applicativo, che ha costituito una avanzata e razionale interpretazione del rapporto fra insediamenti e rete viaria.

I principi e le applicazioni derivanti da tali due pubblicazioni e da numerose altre di noti autori statunitensi ed europei sugli stessi temi, inducono un sostanziale mutamento nei criteri di approccio ai vari problemi di trasporto che si presentano via via più complessi ed articolati.

Con tali innovazioni, a partire dagli anni Settanta, i contenuti del corso di Tecnica della Circolazione, pur senza trascurare il settore del *controllo e della regolazione del traffico*, assumono connotazione progettuale o meglio di *pianificazione*, caratterizzata sostanzialmente dalle tecniche e dalle procedure di stima delle esigenze di trasferimento delle persone (la cosiddetta *domanda di trasporto*), anche in termini previsionali, e dalla indicazione di massima delle infrastrutture e dei servizi atti a soddisfare tali esigenze. Tali valutazioni vengono in quell'epoca condotte con il supporto di strumenti di calcolo, in effetti ancora allo stato embrionale<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> La scelta di tali argomenti nel corso di Tecnica della Circolazione fu determinata dalla circostanza che il corso di Pianificazione dei Trasporti, già previsto dal Piano di Studi di Ingegneria Civile-Trasporti, non era ancora stato attivato.

- *Highway Capacity Manual (HCM)*, Transportation Research Board, National Research Council, Federal Highways Administration (8 edizioni dal 1955, ultima del 2016).

b) dall'altro lato, un approccio generalizzato al problema della mobilità delle persone nelle grandi conurbazioni, caratterizzato da un massiccio utilizzo del mezzo privato finalizzato non al mero controllo del traffico, ma alla ricerca delle motivazioni che inducono l'utente generico ad effettuare le scelte di *trasferimento*.

Dalla fine degli anni Settanta (e fino agli anni Novanta) le tematiche di pianificazione sopra descritte vengono recepite nel corso di *Tecnica ed Economia dei Trasporti* assunto dal professor Alessandro Orlandi, il quale, pur mantenendo e sviluppando il classico argomento della Meccanica della Locomozione, anche per i trasporti navali ed aerei, introduce il tema della *pianificazione dei trasporti*, proponendo un approccio globale al problema dei trasporti nelle sue varie componenti, peraltro rimasto solo sul puro piano teorico, in quanto non corredato e supportato da adeguati strumenti analitici<sup>4</sup>.

Contestualmente nel corso di *Teoria e Tecnica della Circolazione* (in precedenza *Tecnica della Circolazione*) assunto dal professor Giannino Praitoni, ben più ampio spazio assumono sia le tematiche relative al controllo e regolazione del traffico stradale, ferroviario ed anche aereo<sup>5</sup> sia la stima delle variabili e dei parametri esprimenti le condizioni di deflusso stradale sugli archi e nei nodi, secondo le procedure esposte nell'edizione 2000 di *Highway Capacity Manual* (citato in Fig. 2).

Da ricordare inoltre che negli anni Novanta particolare attenzione fu dedicata alle strutture di smistamento e stazionamento stradali e ferroviarie (interporti, parcheggi multipiano, scali ferroviari e marittimi, ecc.), con il corso di *Terminali ed Impianti di Trasporto*, tenuto dal professor Giancarlo Foresti.

Successivamente, riscontrata l'opportunità se non la necessità, di approfondire tematiche anche avanzate di pianificazione dei trasporti, già largamente diffuse non solo negli Stati Uniti, ma anche in molti paesi europei, viene attivato, a metà degli anni Novanta, il corso di *Pianificazione dei Trasporti* svolto dapprima dal professor Roberto Camus (incardinato a Trieste) poi dall'ingegner Giorgio Setti (ricercatore confermato) successivamente dal professor Praitoni ed infine dal professor Federico Rupi.

Occorre precisare che tale corso era già stato attivato in alcune Facoltà italiane tra cui quella di Pisa, tenuto dal professor Paolo Ferrari e quella di Napoli, tenuto dal professor Ennio Cascetta, entrambi autori di testi che tutt'ora costituiscono punti di riferimento fondamentali per lo studio della materia<sup>6</sup>.

In sostanza, in questa ultima fase, alla fine degli anni Novanta vengono superate (ma non certo abbandonate!) sia l'ottica dell'*interazione veicolo-infrastruttura* sia quella del *monitoraggio e controllo del traffico* a favore di un più ampio *scenario trasporti-territorio*, in cui l'analisi della domanda di trasporto assuma un ruolo centrale nella Pianificazione dei Sistemi di Trasporto.

Quest'ultima fase pertanto può essere considerata come conclusiva della formazione e del consolidamento della disciplina *Trasporti* e, allo stesso tempo, introduttiva dell'*approccio analitico-sistemico* come di seguito descritto.

<sup>4</sup> A. Orlandi, *Principi di Ingegneria dei Trasporti*, Bologna 1979.

<sup>5</sup> Dal 1991 al 1998 il professor Praitoni è stato incaricato di *Teoria e Tecnica della Circolazione Aerea* per il corso di laurea in *Ingegneria Aerospaziale* di Forlì, successivamente tenuto, fino al 2002, dall'ingegner Angelo Serrau, già controllore di volo ENAV.

<sup>6</sup> P. Ferrari, *Pianificazione dei Trasporti*, Bologna 2001; E. Cascetta, *Metodi quantitativi per la pianificazione dei sistemi di trasporto*, Padova 1990.

#### 2.15.4. L'approccio analitico-sistemico

Con lo *scenario trasporti-territorio* si intende un complesso ed articolato sistema caratterizzato da tutte le componenti fisiche e sociali di un dato ambito territoriale (tra cui le strutture residenziali, produttive, amministrative, culturali), nonché la relativa popolazione, con le sue specifiche caratteristiche, e l'insieme delle infrastrutture di trasporto e relativi servizi, mediante cui la popolazione può soddisfare le proprie esigenze di trasferimento. Il problema che si pone può essere espresso nei seguenti termini:

- a) quali sono le esigenze di mobilità della popolazione per le varie motivazioni?
- b) quale è il sistema di trasporto atto a soddisfare tale domanda, con i vincoli, niente affatto secondari, di natura economica ed ambientale?

Il nuovo approccio prevede un ricorso sempre maggiore ai principi contenuti nella Teoria dei Sistemi, le cui applicazioni pratiche, anche a problemi di grande complessità per numero di variabili e relative relazioni, sono state rese possibili dall'introduzione e diffusione di sistemi di calcolo automatico sempre più efficienti e veloci. A tal proposito, si riportano stralci dall'introduzione del citato testo di Cascetta:

Come noto l'ingegneria dei sistemi ha come oggetto la progettazione funzionale di un "sistema" (un edificio, un sistema di calcolo, un impianto industriale) definendo le caratteristiche degli elementi che lo compongono e delle relazioni fra essi, mentre la eventuale progettazione delle componenti fisiche viene rimandata ad altri settori dell'ingegneria. In questo contesto problemi apparentemente diversi come l'analisi di fattibilità di grandi infrastrutture di trasporto, il controllo semaforico di una rete urbana, l'organizzazione dell'orario di un sistema ferroviario o di un trasporto pubblico urbano, possono essere considerati come altrettanti progetti di sistema di trasporto.

Il termine progetto va inteso nella comune accezione ingegneristica come disegno di interventi organici e coordinati che mirino al raggiungimento di prefissati obiettivi attraverso un metodo razionale che prevede l'analisi del problema, la formulazione di possibili soluzioni alternative, la costruzione di un *modello matematico* che simuli il funzionamento di tali alternative ed il loro confronto sulla base degli effetti prodotti [...]. L'ingegneria dei sistemi di trasporto [...] integra [...] metodologie e strumenti di analisi provenienti da diverse aree culturali quali l'economia, la ricerca operativa, l'informatica e le diverse branche della matematica applicata, conservando tuttavia una propria identità culturale [...] che deriva [...] soprattutto dalla individuazione di un nucleo teorico autonomo, basato sulla formulazione di un *modello topologico-comportamentale* in grado di simulare il funzionamento di un *sistema domanda/offerta di trasporto* [...] che consente una rappresentazione astratta e sistemica del comportamento degli utenti, del collegamento fra punti dello spazio offerto da un sistema di trasporto .

Tale complesso ed avanzato approccio allo studio del sistema territorio-trasporti può essere sintetizzato dallo schema di Fig. 4, ove si evidenzia la moderna concezione ed interpretazione del trasporto:

- 1) il sistema di trasporto è costituito da due *sottosistemi*, quello della *domanda di trasporto* e quello dell'*offerta* di trasporto che interagiscono reciprocamente fra loro;

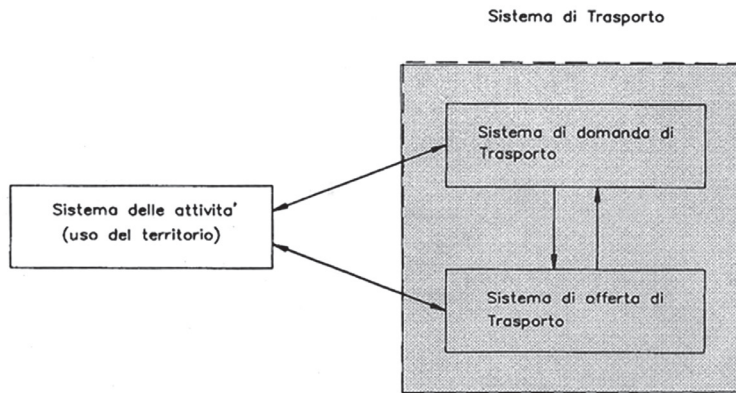


Figura 4. Moderna concezione del trasporto.

2) il sistema territoriale pertinente interagisce con il sistema di trasporto, sia per quanto riguarda la domanda (per esempio una diversa distribuzione della popolazione) sia per quanto riguarda l'offerta ed il suo funzionamento, per effetto di scelte urbanistiche ed ingegneristiche.

Posto in tali termini il problema non può essere ridotto ad una semplice "fotografia" dello stato di fatto, ma deve essere affrontato in termini previsionali di medio-lungo termine, con il corrispondente vincolo di validità economica, considerato che un progetto di un sistema di trasporto può prevedere la realizzazione di grandi infrastrutture in relazione ai previsti mutamenti del sistema delle attività, con conseguente mutamento dello stato di mobilità. Ciò è fattibile con il ricorso ad un approccio sistemico-analitico validamente illustrato da un successivo fondamentale testo di Cascetta<sup>7</sup> e che può essere sintetizzato dallo schema di Fig. 5.

Nel testo, Cascetta pone l'accento sull'importanza dell'utilizzo dei modelli matematici applicati ai sistemi di trasporto<sup>8</sup>, strumento fondamentale per *simulare* i flussi di domanda, le prestazioni dell'offerta, le loro interazioni ed i principali effetti sul mondo esterno per un sistema di trasporto reale o ipotetico. Tali strumenti permettono di effettuare la valutazione e la progettazione degli interventi sull'offerta di trasporto con un approccio più rigorosamente scientifico.

Nasce in tal modo l'Ingegneria dei Sistemi di Trasporto che «si propone di definire in modo coerente le caratteristiche funzionali e le prestazioni di un insieme di elementi (infrastrutture, mezzi, servizi, prezzi, sistemi di controllo) che nel loro complesso concorrono a fornire opportunità di trasporto per soddisfare la domanda di spostamento di persone e cose».

Uno degli aspetti innovativi di tale approccio è anche quello di inserire lo studio della domanda di trasporto all'interno del sistema di trasporto, superando così la

<sup>7</sup> E. Cascetta, *Teoria e Metodi dell'Ingegneria dei Trasporti*, Torino 1998.

<sup>8</sup> A titolo esemplificativo si possono citare i noti *modelli di utilità casuale Logit, Nested Logit, Probit*, impiegati anche in altre discipline, che furono introdotti per simulare il comportamento di scelta degli utenti di un sistema di trasporto in presenza di componenti aleatorie.



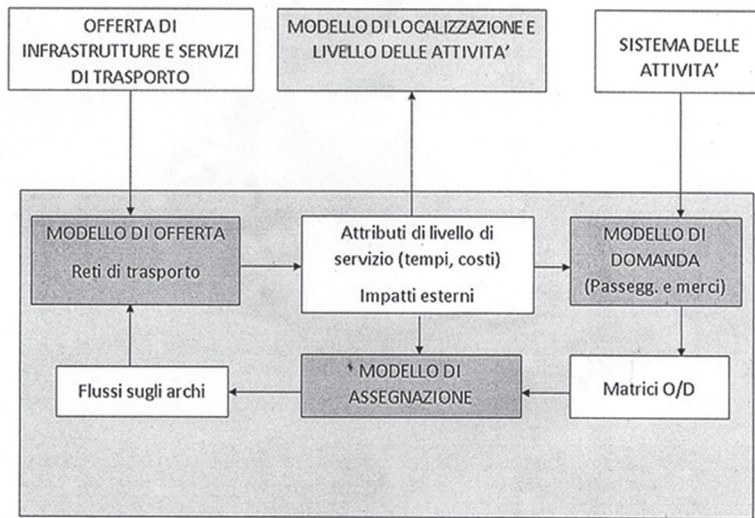


Figura 5.  
Approccio  
sistemico-analitico  
al trasporto  
(Casetta).

precedente impostazione che identificava il sistema di trasporto con la sola offerta di trasporto (rete infrastrutturale, veicoli e relativi servizi offerti).

Il ricorso alla simulazione consente inoltre la valutazione quantitativa dei principali effetti degli interventi progettuali finalizzati alla riduzione delle criticità, con una crescente attenzione agli aspetti legati alla sicurezza e alla sostenibilità economica ed ambientale nelle sue diverse forme. La simulazione permette infatti di gestire la complessità interna dei sistemi di trasporto, in quanto costituiti da numerose componenti fortemente interagenti, riconducibili in parte ad aspetti tecnici, tradizionalmente affrontati dall'Ingegneria, ed in parte riconducibili ad aspetti comportamentali, tradizionalmente studiati dalle discipline sociali ed economiche. La complessità del sistema deriva inoltre dalle interazioni con altri sistemi, tra cui quello dell'economia, dell'assetto del territorio e dell'ambiente fisico e sociale.

Questa nuova impostazione della materia è stata recepita nel corso di Tecnica ed Economia dei Trasporti tenuto dal professor Marino Lupi (precedentemente incaricato a Pisa) a partire dall'anno 1999/2000, che ha sviluppato la parte relativa alla stima indiretta della domanda (con una corposa parte di analisi statistica) e alla analisi delle reti di trasporto, peraltro senza trascurare la parte classica di Meccanica della Locomozione.

La nuova impostazione del corso di Tecnica ed Economia dei Trasporti ha comportato la ridefinizione del programma dell'insegnamento di Pianificazione dei Trasporti, già tenuto dal professor Federico Rupi dal 1998: in particolare il nuovo corso è stato sviluppato in stretto riferimento all'impostazione fornita dal citato testo del professor Ferrari, che introduce nuovi aspetti, tra cui quelli relativi alla componente ambientale dei sistemi di trasporto ed alle nuove analisi di valutazione dei progetti alternativi.

La struttura dei due corsi, Tecnica ed Economia dei Trasporti e Pianificazione dei Trasporti, viene mantenuta fino al 2008, anno in cui, per trasferimento a Pisa

del professor Lupi, il corso di Tecnica ed Economia dei Trasporti viene assunto dal professor Federico Rupì (tuttora titolare del corso) che, da un lato riduce la parte di analisi statistica, ma potenzia la parte modellistica<sup>9</sup> e dall'altro introduce alcuni elementi riferiti alla *infomobilità* (ITS) e alla mobilità sostenibile. In particolare viene sviluppata una nuova e più rigorosa trattazione degli aspetti legati alla mobilità ciclistica, settore in forte espansione negli ultimi anni.

In quegli stessi anni il corso di Teoria e Tecnica della Circolazione viene assunto dall'ingegner Luca Mantecchini (ricercatore confermato) che mantenendo ed ampliando la parte del deflusso stradale, introduce anche una corposa parte relativa al *Trasporto Aereo*.

Occorre infine citare il recente corso in inglese di *Sustainable Transportation Engineering* tenuto dall'ingegner Joerg Schweizer (ricercatore confermato) per il corso di laurea di *Civil Engineering*, svolto in parallelo con numerose altre università straniere, tra cui la Columbia University, i cui contenuti riguardano essenzialmente i modelli di microsimulazione, i sistemi GIS applicati ai Trasporti, nonché i sistemi di trasporto *Personal Rapid Transport* (PRT), impiegabili per collegamenti rapidi non di massa a scala urbana e suburbana.

---

<sup>9</sup> In quegli anni nasce il Laboratorio Didattico di Trasporti con 8 postazioni dotate dei più aggiornati software commerciali di simulazione dei Sistemi di Trasporto. In parallelo viene attivato il corso di Laboratorio di Trasporti tenuto per diversi anni dall'ingegner Guido Rossi, dottore di ricerca in Ingegneria dei Trasporti.

## 2.16. LA DIDATTICA DELL'ELETTROMAGNETISMO APPLICATO

*Gabriele Falciasecca, Carlo Giacomo Soreda\**

### 2.16.1. I primi passi

L'istituzione del corso di laurea in Elettronica fu uno dei punti qualificanti di un Decreto Ministeriale che nel 1960 riordinò in profondità non pochi aspetti degli studi di Ingegneria; il provvedimento passò alla storia con il soprannome “Decreto Capocaccia”, in onore dell'allora Preside nell'Università di Genova, il quale ne fu il principale estensore. Molte, fra le tredici Facoltà d'Ingegneria allora esistenti in Italia, si affrettarono ad attivare quanto prima il nuovo corso, e Bologna fu fra queste. Non si trattava assolutamente di una fuga in avanti, era una mossa meditata e tempestiva; la giustificavano pienamente, da un lato, le differenze, tecnologiche e metodologiche, che via via, nell'arco di decenni, erano andate crescendo fra le “correnti forti” e le “correnti deboli”, per usare le denominazioni allora in voga, rispettivamente, per le discipline elettriche incentrate sull'energia e quelle incentrate sull'informazione. Da un altro lato, non meno importante, la legittimazione piena del nuovo corso di studi veniva dal mercato del lavoro: le telecomunicazioni, dalla televisione alla telefonia, andavano sviluppandosi con una velocità fino ad allora sconosciuta, e l'industria manifatturiera italiana, pur non essendo di dimensioni colossali, era all'avanguardia al punto che la bilancia import-export, nel settore degli apparati di trasmissione, era in attivo, per non parlare del segmento consumer, nel quale alcuni raffinati marchi italiani primeggiavano nel mondo.

Questa partenza, non procrastinabile, trovava però sulla sua strada un serio ostacolo: la limitatezza delle risorse umane a disposizione. Una percentuale elevata dei nuovi posti di assistente che il Ministero assegnava via via alle Facoltà venne destinata, negli anni Sessanta, ai corsi di laurea in Elettronica; ben diverso era il discorso al livello delle cattedre. Era quindi giocoforza che in gran parte i corsi venissero coperti per incarico, rinnovabile su base annuale; in particolare ciò accadde, in tutta Italia, per l'insegnamento, obbligatorio per tutti gli studenti al IV anno di corso, di “Campi elettromagnetici e circuiti”. Questa era la denominazione allora vigente – oggi non più in uso, ormai da decenni, in conseguenza della “rivoluzione digitale”, che ha separato in profondità le metodologie di progettazione dei circuiti dalla trattazione, intrinsecamente, inevitabilmente analogica, dei fenomeni di radiazione e propagazione di onde elettromagnetiche; ma allora essa era pienamente giustificata, per ragioni che verranno chiarite più avanti. In talune sedi, giovani studiosi di estrazione elettrotecnica avevano allargato i propri interessi di ricerca alla teoria delle reti elettriche, o all'elettromagnetismo in regime rapidamente variabile, o addirittura a entrambe que-

---

\* Gabriele Falciasecca è autore dei paragrafi 2, 3 e 5; Carlo Giacomo Soreda è autore dei paragrafi 1, 2 e 4.

ste aree: erano candidati eccellenti per l'insegnamento di Campi e circuiti. Non era questo il caso di Bologna; toccò pertanto a un giovane cultore delle telecomunicazioni, Leonardo Calandrino, il gravoso compito di tenere a battesimo un insegnamento solo parzialmente sovrapposto ai suoi interessi scientifici. Ma i doveri didattici erano allora sacri per tutti – il '68 era ben di là da venire! – e poi Leonardo non era e non è mai stato uomo da mezze misure: come unanimemente riconosciuto dai “competenti in materia”, fu una partenza eccellente.

Le prime due cattedre assegnate dalla Facoltà al nuovo corso di laurea vennero coperte per concorso, i cui vincitori, Ercole De Castro (per Elettronica applicata) e Gian Paolo Dore (per Misure elettriche) presero servizio come professori straordinari, rispettivamente nel 1962 e nel 1966. La terza cattedra venne destinata alla disciplina “Campi elettromagnetici e circuiti” e coperta per trasferimento nel 1968, con la chiamata di Gian Carlo Corazza, allora ordinario (dal 1/2/1967) presso l'Università di Trieste, il quale già nell'anno accademico 1967/68 aveva tenuto a Bologna lo stesso corso, per incarico. Fra i molti motivi per cui il professor Corazza era l'uomo giusto al posto giusto, v'era il fatto che egli era un pioniere, non solo a livello italiano, nello sviluppare e applicare metodologie tipiche dei circuiti all'analisi e alla progettazione di apparati a microonde, ossia di strutture basate su campi elettromagnetici; a testimoniare sono rimaste le sue pubblicazioni scientifiche<sup>1</sup> e un utilissimo testo didattico, che precorreva i tempi<sup>2</sup>.

All'epoca vigeva in Italia una norma per cui, quando un professore di ruolo si spostava da una sede a un'altra, alla Facoltà che lo aveva chiamato il Ministero P.I. attribuiva, ipso facto, un nuovo posto di assistente ordinario, sul quale il professore di ruolo poteva chiamare un collaboratore che fosse già in servizio presso altra sede, di norma quella dalla quale il professore stesso proveniva. Fu quanto accadde allo scrivente (Carlo Giacomo Smeda), il quale giunse a Bologna da Trieste al seguito di Gian Carlo Corazza, a costo zero per la Facoltà. La squadra, piccola ma collaudata già per tre anni, si mise all'opera e fin dal primo anno intavolò un dialogo molto stimolante con una pattuglia di eccellenti laureandi, alcuni dei quali divennero presto parti integranti del gruppo degli elettromagnetisti bolognesi, sia sul versante della ricerca, sia, poco dopo, su quello della didattica.

Il secondo insegnamento con contenuti afferenti a quello che sarebbe divenuto in seguito il “Settore Scientifico-Disciplinare IngInf.02”, venne denominato “Tecnica delle microonde”; era uno dei pochi (i piani di studio erano allora piuttosto rigidi, per disposizione ministeriale) insegnamenti a scelta dello studente, al V anno del corso di laurea in Ingegneria Elettronica. Esso venne attivato nell'A.A. 1969/70 e affidato allo scrivente per incarico; gli allievi che lo inserirono nel proprio piano di studio furono circa 25, su un totale che certamente non raggiungeva il centinaio. Fu un'occasione per qualche piccola sperimentazione didattica, ad esempio una tesina che lo studente esprimeva, a titolo di seminario, ai propri compagni di corso e

<sup>1</sup> G.C. Corazza, *La matrice di diffusione*, «Alta Frequenza», n. 6, giugno 1963, pp. 393-414.

<sup>2</sup> G.C. Corazza, A. Manimipietri, C. Montebello, *Circuiti a microonde*, Patron, Bologna 1965.

la cui valutazione concorrevano a determinare il voto d'esame. La scarsa disponibilità di materiale didattico in lingua italiana indusse chi scrive a stendere delle dispense, le quali, una volta collaudate dagli studenti, confluirono in un testo a stampa<sup>3</sup>. Nel contempo, Gian Carlo Corazza e lo scrivente, avendo riscontrato che il *background* matematico dei loro allievi non copriva a sufficienza alcune aree propedeutiche all'elettromagnetismo, avevano steso un opuscolo didattico<sup>4</sup> che, dopo una laboriosa gestazione, venne anch'esso dato alle stampe alcuni anni dopo.

Questo paragrafo introduttivo è stato interamente dedicato alla didattica, in armonia con l'impostazione generale del volume in cui questo scritto è destinato a confluire; ma sarebbe del tutto ingannevole chiuderlo senza nemmeno accennare al tema sul quale sarà imperniato il paragrafo seguente e che giocherà un ruolo molto importante anche nei paragrafi successivi: l'attività di ricerca. Non v'è alcun dubbio, infatti, che il gruppo bolognese dei cultori dell'elettromagnetismo agì, fin dall'inizio, facendo proprio, con intima convinzione, il criterio ispiratore di Ercole De Castro, fondatore dell'Istituto di Elettronica e dell'omonimo corso di laurea: in una moderna Facoltà d'Ingegneria, non v'è posto nella didattica per chi non vi si sia addestrato partecipando in prima persona a un'impegnativa attività di ricerca.

## 2.16.2. Il Centro Onde Millimetriche

Come detto in chiusura del precedente paragrafo, nella seconda metà degli anni Sessanta tutti gli appartenenti al neonato Istituto di Elettronica, dal suo fondatore e Direttore, Ercole De Castro, fino agli assistenti di prima nomina, erano intimamente convinti che una didattica universitaria degna di tal nome, in un'area disciplinare in rapidissimo divenire, dovesse trarre la sua linfa vitale da un'attività di ricerca impegnativa e coinvolgente. Gian Carlo Corazza era un aperto sostenitore della ricerca applicata; né poteva essere diversamente, essendo egli cresciuto alla scuola di Vittorio Gori, professore ordinario di Elettrotecnica a Bologna dal 1940 al 1951 e poi Direttore, a Roma, dell'Istituto Superiore Poste e Telecomunicazioni, fino alla sua prematura scomparsa nel 1957. Nel contesto della ricerca applicata, Corazza individuò un tema sul quale indirizzò i propri allievi e per il quale ideò un programma di respiro nazionale: la trasmissione a grande distanza di onde millimetriche, all'interno di guide a sezione circolare dotate di caratteristiche particolari grazie alle quali l'attenuazione del segnale era particolarmente bassa. Il mezzo trasmissivo che ne derivava aveva una capacità straordinaria per quell'epoca: si trattava di milioni di canali telefonici equivalenti, con la possibilità anche di allocare le cosiddette video telefonate di cui si cominciava a parlare già allora. Inoltre il passo di ripetizione era molto ampio grazie alla ridottissima attenuazione, dell'ordine di 2 dB per km. Su scala internazionale, si trattava di una ricerca a inseguimento: in vari Paesi, infatti, l'argomento era già stato esplorato in parte, con risultati molto incoraggianti, special-

<sup>3</sup> C.G. Sameda, *Onde elettromagnetiche guidate*, Pitagora Ed., Bologna 1973.

<sup>4</sup> G.C. Corazza, C.G. Sameda, *Elementi di calcolo vettoriale e tensoriale*, Pitagora Ed., Bologna 1982.

mente in USA (grazie a una *joint venture* tra i Bell Telephone Labs e centri di ricerca delle forze armate) e nel Regno Unito (sotto la *leadership* del British Post Office)<sup>5</sup>; ma in Italia nessuno si era ancora cimentato con questa tematica. Dall'Università di Bologna e dalla Fondazione Marconi partì un invito a collaborare, che fu subito accolto dalla Fondazione Ugo Bordoni di Roma e da alcune fra le principali aziende manifatturiere italiane, sia nel comparto industriale degli apparati ricetrasmittenti, sia in quello dei cavi, sia in quello dell'impiantistica, senza dimenticare l'importante contributo dell'Università di Trieste, nelle persone di Edoardo Carli e Tullio Corzani – entrambi prematuramente scomparsi – i quali erano stati, per anni, collaboratori di Corazza in quella sede, nonché di Giovanni Battista Stracca, cattedratico di Radiotecnica con alle spalle una lunga e brillante esperienza nell'industria.

Una rete di convenzioni e contratti diede stabilità all'iniziativa; nacque così<sup>6</sup>, nel 1967, il Centro Onde Millimetriche, i cui laboratori, anche per via della penuria di spazi presso la sede della Facoltà d'Ingegneria in Viale Risorgimento, si installarono a Villa Griffone, proprio in quei locali – l'ex granaio – dai quali nel 1895 Guglielmo Marconi aveva lanciato il primo segnale radio. Pochi anni dopo, l'Università di Bologna mise a disposizione, in località Ozzano Emilia, lo spazio per la costruzione di un campo prove che non si confaceva con la villa di Pontecchio Marconi e i suoi immediati dintorni. L'impostazione dell'attività fu completamente originale: si disegnò infatti un programma che si proponeva di sviluppare il sistema completo, dalla guida d'onda agli apparati, passando attraverso i sistemi di posa e di monitoraggio. Molti ricercatori furono collocati a Villa Griffone assieme agli universitari e molti altri lavorarono nelle ditte collegate, che allora erano praticamente tutte le grandi aziende italiane delle telecomunicazioni. Si trattava di un progetto finalizzato ante litteram, condotto in modo molto preciso. Il costituito Centro Onde Millimetriche venne posto sotto la guida di Francesco Valdoni, prima ricercatore FUB, poi assistente universitario e infine professore ordinario di Comunicazioni Elettriche, cosa che aiuta a comprendere la completezza delle competenze che furono coordinate sull'obiettivo. Questa attitudine ad analizzare tutti gli aspetti del sistema venne assorbita dai ricercatori di allora e fece sì che il gruppo di elettromagnetismo non si applicasse soltanto ai puri problemi elettromagnetici in senso stretto, ma fosse in grado di analizzare e interpretare tutti gli aspetti cruciali di un sistema. Ciò fu di grande vantaggio anche in seguito, una volta finita la ricerca sulla guida d'onda.

L'impatto didattico di quelle ricerche è testimoniato in primo luogo da decine di tesi di laurea, discusse in un arco di tempo che va dal 1968 al 1975. Non pochi tra i laureandi che ne furono autori raggiunsero poi dei livelli molto alti di responsabilità, sia tecnica sia manageriale, nelle principali aziende italiane di comunicazioni elettriche – una conferma, se mai ve ne fosse bisogno, dell'efficacia formativa di quei percorsi

<sup>5</sup> G.C. Corazza, T. Corzani, *Studio preliminare sulle guide d'onda per telecomunicazioni a grande distanza*, Stab. Tipografico Fondaz. U. Bordoni, Roma 1968.

<sup>6</sup> G.C. Corazza, R. Koch, G.B. Stracca, F. Valdoni, *Programma italiano per le ricerche sui sistemi di telecomunicazioni in guida d'onda circolare*, «Note, Recensioni e Notizie», Vol. 21, pp. 243-266, 1972.

didattici che prevedono il coinvolgimento diretto del discente in un'attività di ricerca. Per quanto riguarda l'ambito scientifico, alla reputazione internazionale del gruppo giovarono in modo particolare lo sviluppo di metodi innovativi e raffinati di misura e caratterizzazione, tanto sugli apparati terminali quanto sul mezzo trasmissivo, e la consulenza a beneficio della Società Cavi Pirelli, la quale aveva ideato e sperimentato una guida d'onda assolutamente originale, concepita per semplificare drasticamente i problemi e i costi di trasporto e di posa in opera che gravavano sulle guide fino ad allora sperimentate. L'attenzione alle misure si trasferì poi in maniera del tutto naturale e spontanea alla ricerca sulle fibre ottiche, di cui si parlerà in un paragrafo successivo.

Da rilevare che come appoggio all'attività principale si sviluppò anche la tematica dei circuiti a microonde miniaturizzati, alla quale si dedicò un altro allievo di Corazza, Vittorio Rizzoli, assieme ad alcuni ricercatori della Fondazione Bordoni. Questa attività continuò anche dopo la conclusione del progetto principale e portò il gruppo a sviluppare alcuni dei più completi programmi di calcolo automatico per la progettazione di microcircuiti attivi e passivi, a livello internazionale. Tra i riconoscimenti della qualità di questa attività vi furono le ricadute economiche per l'Ateneo dovute allo sfruttamento dei programmi da parte di aziende di software specializzate nel settore e molteplici inviti come lecturer in varie parti del mondo. Vittorio Rizzoli divenne a sua volta professore ordinario e trasferì nella didattica la sua esperienza assieme al collega Alessandro Lipparini.

### **2.16.3. Le ricerche sui radioaiuti al controllo del traffico aereo**

Quando l'attività sulle onde millimetriche raggiunse la sua conclusione il gruppo di Villa Griffone doveva trovare un nuovo tema di ricerca all'altezza del precedente. Uno dei collaboratori di Gian Carlo Corazza, il già citato Francesco Valdoni, si era impegnato in ambito CNR nella impostazione del Progetto Finalizzato sui "Radioaiuti al controllo del traffico aereo". All'avvio del progetto, in modo naturale, questo divenne un nuovo tema di ricerca che impegnò il gruppo di elettromagnetismo per vari anni, con risultati interessanti anche a livello brevettuale. L'impostazione dei progetti finalizzati, con attività mirate su obiettivi ben definiti, si adattava bene al modo di lavorare del gruppo perché assomigliava a ciò che già si era fatto nella precedente ricerca sulla guida d'onda circolare. Era quello il momento in cui il traffico aereo commerciale stava per iniziare il suo sviluppo vertiginoso e appariva chiaro agli enti internazionali preposti e a quelli del nostro Paese, che si doveva predisporre un salto di qualità delle tecnologie elettroniche di controllo per consentire che questo rilevante sviluppo fosse sopportato dalle infrastrutture esistenti con un aumento e non una diminuzione della sicurezza dei voli. Questo fu uno dei primissimi progetti finalizzati CNR a partire e fornì anche un esempio ai successivi.

Valdoni, che nel frattempo si era trasferito alla nuova Università di Roma, Tor Vergata, divenne il direttore nazionale del progetto, in virtù sia della sua esperienza specifica, sia di quella fatta a Pontecchio Marconi durante l'attività sul progetto guida

d'onda, e in tal modo contribuì ulteriormente alla diffusione dei risultati ottenuti dalla scuola bolognese in particolare sul sistema DME<sup>7</sup> (Distance Measuring Equipment) di precisione, usato nell'atterraggio. Dopo la partenza di Valdoni la guida del gruppo di ricerca del Centro Onde Millimetriche fu assunta da Gabriele Falciasecca.

I risvolti sulla didattica furono notevoli ed ancora adesso sono alla base di corsi della laurea magistrale a Cesena.

In parallelo, Corazza aveva stabilito una interessante connessione con la ditta Elettronica di Roma che si occupava di comunicazioni militari. Nella seconda metà degli anni Settanta si stava sviluppando negli USA il sistema di navigazione satellitare militare NAVSTAR/GPS<sup>8</sup> e, grazie ai collegamenti con le industrie americane che si occupavano della cosa, Elettronica affidò al gruppo bolognese il compito di sviluppare il primo ricevitore italiano, sistemando a Villa Griffone anche dei ricercatori propri per completare il team. Il risultato tecnico fu raggiunto, anche se le dimensioni del ricevitore di allora, che occupava una intera scrivania, farebbero sorridere oggi, stante che lo si ritrova all'interno di un orologio da polso. Ma ancor più importanti furono le ricadute sulla didattica. Il GPS infatti era il primo sistema di rilevanza ad utilizzare le tecniche di Spread Spectrum<sup>9</sup> e di codifica avanzata e quindi si sviluppò a Bologna una competenza su questi temi molto prima che da altre parti. Nello specifico, quando il GPS venne aperto all'uso commerciale le competenze bolognesi erano già consolidate e pronte all'uso. Ciò consentì poi sul piano della ricerca di sviluppare attività sui sistemi CDMA che, sulla scia dello Spread Spectrum, avevano cominciato ad affacciarsi nel mondo commerciale, e fu base interessante per la attività sui sistemi radiomobili, di cui si parlerà più avanti, che nella terza generazione, UMTS, avrebbero usato questa tecnica di accesso. Ciò naturalmente rese a lungo i corsi di Bologna sui sistemi radiomobili i più avanzati nel panorama italiano.

#### 2.16.4. Ottica e telecomunicazioni ottiche

##### *Lo scenario nazionale e internazionale*

Ai tempi in cui chi scrive era studente all'Università di Padova, il curriculum formativo di tutti gli allievi ingegneri concedeva all'ottica solo una fettina, del tutto

<sup>7</sup> Il DME (Distance Measuring Equipment) di precisione (P/DME) è una parte del sistema ILS (Instrument Landing System) che consente agli aerei di atterrare in condizioni di ridotta o nulla visibilità. L'attività bolognese si inserì nella determinazione delle caratteristiche di un nuovo sistema detto MLS (Microwave Landing System) che avrebbe dovuto soppiantare l'ILS.

<sup>8</sup> NAVSTAR/GPS in espanso Navigation Stars/Global Positioning System fu un sistema sviluppato dagli Stati Uniti d'America per le forze armate proprie e dei propri alleati NATO per consentire la guida di aerei e missili con grande precisione e resistenza alle interferenze del nemico. Alla fine della guerra fredda gli USA aprirono il sistema all'uso commerciale con le conseguenze positive che sono ora sotto gli occhi di tutti.

<sup>9</sup> La tecnica di Spread Spectrum o spettro allargato fu introdotta dapprima per la sicurezza delle comunicazioni militari, ma poi si trasformò, in ambiente commerciale, nella tecnica CDMA (Code Division Multiple Access) che venne usata in comunicazioni satellitari e nella terza generazione, 3G, dei sistemi radiomobili, l'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System).



minoritaria per non dire striminzita, del corso di Fisica II, il grosso del quale era dedicato all'elettromagnetismo. Sostanzialmente identica era la situazione in tutte le altre Facoltà di Ingegneria italiane (come già detto, a quell'epoca, 13 in tutto), in particolare a Bologna. Il confinamento in spazi angusti sul piano della didattica era la conseguenza, ineccepibile, di due premesse che, pur essendo tacite, erano certamente condivise dalla totalità o quasi dei docenti di quell'epoca: sul fronte della ricerca, l'ottica era vista come un capitolo della Fisica giunto a una serena e dignitosa vecchiaia, cui rimaneva ben poco da aggiungere o approfondire. Sul fronte delle ricadute applicative, esse interessavano, e non solo in Italia, un piccolo insieme di aziende, istituzioni, persone altamente specializzate, che tramandavano il proprio *know-how* per vie interne, senza transitare attraverso l'Università e senza interazioni con l'ambiente in cui operavano gli ingegneri elettrotecnici ed elettronici.

L'invenzione del laser risale proprio all'epoca di cui stiamo parlando. Le reazioni che essa suscitò furono immediate ed intense a livello *mass media*: non si trattava forse, si chiedeva la gente comune, di quel "raggio della morte" che si vociferava fosse stato vaticinato da Guglielmo Marconi, nell'ultimo scorcio della sua vita? Blande e disincantate furono invece le prime risposte negli ambienti della scienza e dell'alta tecnologia, nei quali si diffuse rapidamente una battuta caustica: il laser era una *brillante* soluzione... in cerca di un problema! Ma presto questo atteggiamento mutò ed ebbe inizio una nutrita serie di applicazioni in ambiti molto vari, da quello medico a quello metrologico, dall'*entertainment* all'esplorazione spaziale.

Le telecomunicazioni non potevano rimanere completamente fuori da questo giro turbinoso, ma vi entrarono in punta di piedi, con cautela e con una buona dose di scetticismo, le cui ragioni sono facilmente comprensibili se si osserva la Fig. 1, ove viene riportato l'andamento nel tempo delle frequenze portanti impiegate nella trasmissione di segnali: man mano che nuovi servizi venivano concepiti e implementati, dal telegrafo del 1850 ai radar ad alte prestazioni degli anni Cinquanta del XX secolo, le frequenze aumentarono esponenzialmente (la scala delle ordinate è logaritmica). Un andamento così regolare non poteva non avere una spiegazione logica semplice: ogni nuovo sistema richiedeva una larghezza di banda *assoluta* maggiore dei precedenti; ma, come ben noto, le difficoltà tecnologiche crescono in proporzione alla larghezza di banda *relativa*. Da ciò la spinta a salire via via con le frequenze portanti. Il punto rappresentativo del laser cade invece molto al di sopra della retta che interpola i punti precedenti: la sorgente di luce coerente irrompe sulla scena in larghissimo anticipo. Lo scetticismo, in un mondo in cui il progresso era stato sempre graduale e ordinato, era inevitabile. Se cautela e scetticismo erano le parole d'ordine, era pur vero che il mondo delle TLC – tanto i gestori quanto le aziende manifatturiere – attraversavano una fase di rapida espansione e prosperità; non mancavano quindi risorse finanziarie ed umane per avviare una prudente esplorazione delle potenzialità dei fasci laser come vettori di segnali telefonici. In tutti i Paesi progrediti si iniziò con esperimenti di trasmissione libera, in atmosfera; in Italia, a metà degli anni Sessanta, si mossero in tale direzione due gruppi, uno a Torino presso lo CSELT, l'altro a Roma presso la Fondazione Ugo Bordoni. I risultati furono, in ambo i casi, congrui con le

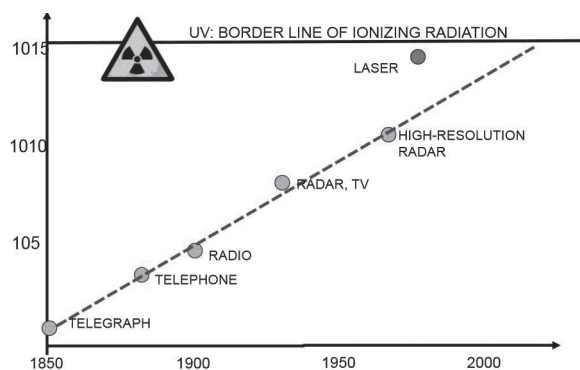


Figura 1. Andamento nel tempo delle frequenze portanti impiegate.

aspettative: la trasmissione era fattibile su distanze di alcuni chilometri, in ambito urbano o suburbano, con potenze dell'ordine del milliwatt, cioè estremamente contenute in confronto a quelle impiegate nei ponti radio a microonde di quell'epoca. Ma fu immediatamente chiaro – né poteva essere diversamente – che le condizioni meteorologiche avverse, quali nebbie o precipitazioni intense, rappresentavano un ostacolo insormontabile.

La ricerca si orientò allora verso la propagazione ottica guidata, a somiglianza di quanto si andava studiando e sperimentando da oltre un decennio sulle onde millimetriche; i costi di una sperimentazione in tal senso erano di vari ordini di grandezza maggiori di quelli, molto limitati, degli esperimenti in propagazione libera. Nel nostro Paese, somme cospicue e risorse umane adeguate erano, all'epoca, impegnate nel programma sulle onde millimetriche di cui si è detto in un paragrafo precedente; dare subito corso a un altro programma, centrato sulle guide ottiche, era improponibile. Ma, a lungo andare, il ritardo iniziale divenne un beneficio per l'Italia, poiché i Paesi che investirono molto nella sperimentazione su guide costituite da sequenze periodiche di lenti, giunsero a risultati assolutamente non trasferibili dai laboratori al campo, per motivi di costo, ingombro, complicazioni nell'installazione e nella manutenzione, nonostante avessero conseguito esiti eccellenti sotto il profilo scientifico. Le comunicazioni ottiche apparivano quindi, sul finire degli anni Sessanta, completamente in stallo e destinate a rimanervi molto a lungo. Ma c'era un'eccezione, nella quiete di un laboratorio sperduto nella campagna inglese, un laboratorio della multinazionale International Telegraph and Telephone.

### ***Un breakthrough inaspettato: le fibre ottiche a bassa attenuazione***

Non è facile stabilire a quando risalgano i primi impieghi di sottili fili di vetro come guide di luce; si trattava di prodotti artigianali, non corroborati da studi teorici e senza alcuna pretesa di entrare nel dominio dell'alta tecnologia. Le notizie su un utilizzo molto particolare di fibre di vetro in laboratori scientifici si fanno più nitide e concrete agli albori della fisica nucleare, quando vengono costruiti i primi scintillatori, i quali vengono collegati a tubi fotomoltiplicatori mediante fili

di vetro “fatti in casa”. Le distanze in gioco erano, tutt'al più, di qualche metro; su distanze maggiori, l'attenuazione della luce guidata era proibitivamente elevata. Fu quindi una sorpresa per tutti la pubblicazione, nel luglio 1966, di un articolo<sup>10</sup> che rivelava, senza possibilità di equivoco, che la sopra citata ITT stava prendendo in serissima considerazione l'ipotesi di impiegare fibre di vetro in sistemi di trasmissione a grande distanza. Oltre a presentare un approccio matematico esaustivo ed elegante che ancor oggi costituisce un riferimento imprescindibile, l'articolo affrontava esplicitamente l'analisi delle cause dell'elevata attenuazione delle fibre allora esistenti e perveniva a una conclusione perentoria: nessuna di dette cause era intrinseca ed ineliminabile, tutte erano imputabili a imperfezioni tecnologiche. L'affermazione si dimostrò assolutamente corretta.

Kao e Hockham, sempre nel medesimo articolo, concludevano che, per divenire competitive, le fibre ottiche avrebbero dovuto avere un'attenuazione per unità di lunghezza non superiore a 20 dB/km. Le fibre di allora perdevano, nei casi migliori, 1 dB per metro: occorreva dunque migliorarle di un fattore cinquanta! Quanto tempo sarebbe servito per raggiungere questo traguardo? Molto, pensavano i più, e ancora una volta l'impiego del laser nelle telecomunicazioni appariva in stallo: non era proprio il momento giusto per fargli spazio nella didattica di una Facoltà di Ingegneria. Ma la situazione si rovesciò in tempi molto brevi. Nell'ottobre 1970, a Londra, quando la tavola rotonda conclusiva di un convegno internazionale sulle comunicazioni a grande distanza pareva avviarsi verso una fine banale e scontata, un signore seduto in platea, sconosciuto a quasi tutti i presenti, chiese la parola e, dopo aver elegantemente stuzzicato l'attenzione del pubblico, annunciò che Corning Glass Works – la più grande azienda vetraria del mondo, ma fino ad allora del tutto estranea al mondo delle telecomunicazioni – aveva prodotto una fibra ottica le cui perdite erano al di sotto della suddetta soglia di 20 dB/km. La Corning aveva rivoluzionato di sana pianta la tecnica di produzione del vetro, attingendo a piene mani dalle tecnologie dei semiconduttori, nei quali, come ben noto, il primo requisito in assoluto è la purezza chimica; un requisito sempre trascurato – e non per caso – nelle tecnologie vetrarie tradizionali.

A quella tavola rotonda erano presenti ben 5 delegati dell'Università di Bologna. Il professor Gian Carlo Corazza faceva parte del panel (nel quale, per inciso, era l'unico italiano); nel pubblico sedevano il collega Francesco Valdoni, prematuramente scomparso nel 2002, i neolaureati Gabriele Falciasacca e Paolo Bernardi (poi passato allo CSELT di Torino) e l'autore di questo capitolo. La reazione alla notizia-bomba non tardò.

### ***Bologna affila le armi***

Le cinque persone testé elencate erano tutte inserite nella ricerca sulle onde millimetriche, di cui a un paragrafo precedente; non si vedeva ragione alcuna per inter-

---

<sup>10</sup> K.C. Kao, G.A. Hockham, *Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies*, Proc. IEE, Vol. 113, pp. 1151-1158, 1966.

romperla, sia pure di fronte a novità eclatanti. Ma il tema dell'ottica era troppo attraente, dopo la conferenza di Londra, perché il gruppo rinunciasse a una incursione esplorativa nel nuovo territorio; il distacco di una delle persone sopra elencate non avrebbe indebolito troppo il resto del gruppo. Corazza non si limitò a ideare il piano d'azione: si adoperò da subito acciocché la sua realizzazione fosse rapida ed efficace, puntando a stabilire una collaborazione con un gruppo di ricerca estero già attivo nel settore e la cui reputazione fosse la più alta possibile. Corazza conosceva personalmente Stewart Miller, Executive Director del laboratorio di comunicazioni ottiche dei Bell Telephone Laboratories: bastò uno scambio di lettere e, con il supporto di una borsa NATO-CNR, Smeda venne accolto come Resident Visitor in quei mitici laboratori, nel 1972.

L'anello di congiunzione fra la ricerca e la didattica furono, ancora una volta, le tesi di laurea: già a partire dagli ultimi mesi del 1972, il neonato gruppo di ricerca poté contare su laureandi molto capaci e profondamente impegnati, tra cui Maurizio Zoboli, poi professore di Campi elettromagnetici nelle Università di Parma e quindi di Modena e Reggio, prematuramente scomparso nel 2012, Paolo Bassi, ordinario a Bologna, Giovanni Cancellieri, ordinario ad Ancona, e altri che divennero brillanti ricercatori presso industrie nazionali e all'estero.

Non disponendo all'inizio di un laboratorio ben attrezzato, le prime tesi furono focalizzate su argomenti teorici, con largo impiego di metodi numerici, che allora erano alquanto innovativi; molto si dovette, sotto questo profilo, alla collaborazione di Vittorio Rizzoli. Ma poi, una circostanza fortunata consentì di stringere i tempi di avvio di un'attività sperimentale: il centenario della nascita di Guglielmo Marconi, nel 1974. In quell'occasione la Fondazione Marconi, potendo godere di finanziamenti straordinari destinati al restauro di Villa Griffone, decise di adibire a laboratorio di ottica il locale che per sua natura meglio si prestava a quell'uso: lo scantinato. Fu, su base nazionale, il primo laboratorio di comunicazioni ottiche per studenti di Ingegneria. L'industria mostrò di apprezzare siffatti tirocini, assumendo in tempi molto rapidi i neolaureati che di lì erano transitati.

I passi successivi furono, com'era nell'ordine naturale delle cose, l'inserimento nei corsi tradizionali del settore (in special modo, Campi elettromagnetici e Microonde) di parti incentrate sulla fibra. Va sottolineato il fatto che, a differenza di quanto accadeva presso altre scuole, a Bologna i contenuti ottici venivano armonizzati e omogeneizzati con quelli dei capitoli più tradizionali. I frutti furono libri di testo che ottennero recensioni positive per completezza della trattazione ed equilibrio fra gli ingredienti.

Quando alcuni dei "pionieri" bolognesi si trasferirono, per ragioni varie, presso altre sedi universitarie (Padova, oltre alle già citate Parma, Ancona e Modena e Reggio), l'impostazione dei loro insegnamenti rimase saldamente ancorata al modello bolognese, e lo stesso accadde poi in altre sedi (Brescia, Udine, Ferrara) nelle quali erano nati nuovi gruppi che a loro volta si rifacevano alle sedi ora nominate. In definitiva, quindi, la matrice bolognese è tuttora facilmente riconoscibile nella didattica sulla propagazione ottica e sulle sue applicazioni in una larga parte delle Scuole di Ingegneria italiane.

### 2.16.5. I sistemi radiomobili

All'inizio del 1980 Corazza intercettò, tra le varie opportunità di ricerca esistenti, quella delle comunicazioni con i mezzi mobili, ovvero i sistemi radiomobili e lo propose al suo gruppo di ricerca. Il tema divenne presto il cavallo di battaglia di un suo allievo, Gabriele Falciasacca, vincitore proprio quell'anno di un concorso a professore ordinario. Nel 1981 venne tenuto a Pontecchio Marconi il primo Convegno sui Sistemi Radiomobili<sup>11</sup> con la partecipazione di tutte le componenti tecniche, scientifiche, industriali e governative che si occupavano allora della tematica. È difficile oggi rendersi conto di come si trovava allora il settore. I telefoni nelle auto erano poche migliaia in Italia e il sistema in uso allora mancava di funzioni fondamentali e non era suscettibile di sviluppo. Erano diffusi i sistemi privati per assistenza e problemi aziendali. In particolare l'ENEL era il maggior utilizzatore delle comunicazioni mobili. Ma l'avvento dei sistemi cellulari analogici prima e del GSM poi era alle porte. Certo nessuno allora poteva immaginare che cosa sarebbe diventato il mondo dei "telefonini" venti anni dopo. Lo sviluppo anticipato nei paesi del Nord Europa veniva giustificato con le particolari condizioni di quei territori, a scarsa densità di popolazione. Il concetto di comunicazione personale non era stato neppure sfiorato e con esso l'idea del nuovo modo di comunicare che ne sarebbe conseguito. Occuparsi di quella tematica all'inizio degli anni Ottanta significava dunque assumere il ruolo di pionieri che si avviavano in grande solitudine in un territorio inesplorato. Per comprendere lo stato scientifico di allora basti ricordare che a quei tempi l'argomento delle comunicazioni mobili era totalmente appannaggio della Vehicular Society della IEEE e i lavori di ricerca venivano pubblicati nei relativi Transactions e presentati nelle conferenze di settore assieme agli studi sui treni a levitazione magnetica. Ma come stava per succedere in altri campi delle telecomunicazioni, come in parallelo stava accadendo per Internet, lo sviluppo esponenziale dei circuiti microelettronici rese quasi improvvisamente realizzabili cose che fino ad un momento prima apparivano solo speculazioni teoriche.

Fu così che dall'inizio degli anni Ottanta ci fu uno sviluppo prima timido poi progressivamente sempre più veloce della diffusione degli apparati mobili e i diversi sistemi o generazioni si susseguirono incessantemente con conseguente aumento esponenziale dell'utenza, dai più inatteso<sup>12</sup>. Gli apparati mobili prima installati nelle autovetture, divennero estraibili e trasportabili per mezzo di una valigetta. Infine comparvero i primi terminali con dimensioni paragonabili a quelle attuali e si cominciò ad intravedere un nuovo modo di comunicare diverso dal telefono di casa, centrato sulle persone. Nella metà degli anni Ottanta si intensificò l'attività di progettazione del primo sistema digitale paneuropeo, il GSM. Questo sistema era destinato ad essere il protagonista dello sviluppo vertiginoso del "telefonino" e a diventare uno standard "de facto" a livello

<sup>11</sup> *Atti del I Convegno Sistemi Radiomobili, Pontecchio Marconi*, Ed. Fondazione Bordini, 1981.

<sup>12</sup> G. Falciasacca, D. Ongaro, *Reti, servizi cellulari e wireless*, in *Storia delle Telecomunicazioni*, a cura di V. Cantoni, G. Falciasacca, G. Pelosi, Firenze University Press, Firenze 2011.

mondiale. Il gruppo bolognese si distinse per la capacità di realizzare programmi di calcolo delle coperture a partire da dati geografici e per la simulazione delle reti e delle loro prestazioni, anche in collaborazione con il personale della Fondazione Bordoni dislocato a Pontecchio Marconi. Il contributo al Group Special Mobile<sup>13</sup> responsabile della definizione del nuovo standard, fu considerevole, all'interno di un contributo italiano di prestigio, in particolare riguardo al fondamentale tema dell'uso ottimale delle risorse radio. Allora la Villa Griffone era considerato il luogo di riferimento europeo in Italia per la ricerca nel campo dei sistemi radiomobili e ciò si estese dallo sviluppo del GSM, 2G, a quello dell'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), la terza generazione o 3G. Il convegno di Pontecchio, dopo molte edizioni di successo, si trasformò in un convegno europeo.

Lo sviluppo del GSM fu assai rapido, anche per soddisfare le specifiche del bando di gara, e il dispiegamento delle stazioni radiobase da parte dell'Omnitel, il primo gestore di comunicazioni privato, fu di conseguenza mal accettato dalla popolazione che si vide all'improvviso spuntare impianti e antenne vicino alle terrazze di casa. Si manifestò così in modo eclatante il problema dell'impatto ambientale delle onde elettromagnetiche, già presente anche prima, ma non così sentito dalla popolazione quando i soli impianti erano quelli radiotelevisivi per lo più piazzati sulle colline o le montagne. Il gruppo di Pontecchio si era già preparato da tempo ad affrontare le conseguenze negative del vertiginoso sviluppo del cellulare e diede così il via a molteplici iniziative che toccarono il campo della ricerca e della corretta diffusione della cultura elettromagnetica, anche attraverso un consorzio, Elettra 2000, con la Fondazione Marconi e, successivamente anche con la Fondazione Bordoni.

La didattica poté giovare di tutto ciò. In particolare il corso di "Propagazione" tenuto da Falciasacca fu il primo in Italia ad occuparsi in modo esaustivo delle competenze necessarie per sviluppare una corretta professionalità nel settore fornendo così ingegneri già preparati per il lavoro sul campo e la progettazione degli apparati, anche grazie ad un corso di perfezionamento che fu attivato in Ateneo. Anche le tematiche sulla protezione da campi elettromagnetici entrarono precocemente nei corsi. Fu quello un momento in cui operatori ed industrie avevano bisogno di personale altamente qualificato in grande quantità e gli allievi bolognesi occuparono posti anche di alto prestigio. Corsi aziendali specifici accelerarono anche l'avvio dei nuovi operatori, in particolare di Omnitel e di Wind. L'impatto di riflesso sull'economia del Paese fu quindi rilevante.

Nel seguito l'esperienza accumulata coi sistemi digitali consentì di partecipare alla successiva digitalizzazione della televisione in Italia con le relative ricadute sulla didattica e di seguire tutte le successive generazioni dei sistemi radiomobili fino all'attuale 5G.

---

<sup>13</sup> L'acronimo GSM definiva all'inizio il Group Special Mobile ovvero l'organismo che la CEPT aveva allora formato allo scopo di ottenere un risultato valido per tutti i paesi europei. Poi al momento dello sviluppo commerciale il nome era ormai così noto ed usato che l'acronimo venne reinventato in Global System for Mobile communication e con questa accezione si diffuse in tutto il mondo divenendo davvero "Global".

## 2.17. IL CONTRIBUTO DEL LABORATORIO DI COMUNICAZIONI WIRELESS ALLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA: IL RUOLO DELLA SPERIMENTAZIONE NELLE TELECOMUNICAZIONI

*Oreste Andrisano*

### **Sommario**

Questo contributo vuole sintetizzare il ruolo della sperimentazione nella Facoltà di Ingegneria di Bologna a partire dalla installazione di una prima rete di telecomunicazioni in fibra ottica agli inizi degli anni Novanta, per arrivare ai recenti *testbed* progettati per nuove reti wireless eterogenee proiettate verso e oltre i sistemi radio-mobili di quinta generazione, al servizio dei settori chiave di sviluppo del Paese, quali Industria 4.0, *Smart mobility*, Salute, Domotica, digitalizzazione della Pubblica Amministrazione, *Smart Lighting*, etc.

Il documento tocca i passi compiuti a livello sperimentale dal WiLab (Laboratorio di Comunicazioni Wireless) nella nostra Facoltà, nel campo delle Telecomunicazioni, sottolineando l'importanza della sperimentazione per l'evoluzione della didattica e della ricerca, nonché per la formazione di *startup* nel trasferimento tecnologico dell'attività svolta all'interno dei progetti di ricerca.

Andando indietro nel tempo giova ricordare quanto è stato realizzato soprattutto sulla base delle competenze integrate di Università, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Telecomunicazioni (CNIT), materializzate in ciò che oggi è chiamato Laboratorio di Comunicazioni Wireless, formalmente costituito sia in ambito CNIT sia CNR a metà degli anni Duemila, ma sostanzialmente fondato agli inizi degli anni Novanta con la direzione da parte del sottoscritto del Centro di studio per l'Interazione Operatore Calcolatore, CIOC-CNR, poi trasformato in Centro di Studio per l'Informatica e i Sistemi di Telecomunicazioni, CSITE CNR.

Ho voluto sottolineare questo aspetto, in quanto proprio l'integrazione dei vari enti di ricerca ha consentito negli ultimi decenni di acquisire fondi significativi per la ricerca, e conseguentemente locali adeguati, personale ricercatore, computer e strumentazione per l'attività sperimentale. È stato così possibile da un lato far evolvere la rete della Facoltà per quanto riguarda le sue componenti in tecnologia eterogenea (ottica, wireless, satellite) e dall'altro pervenire a dimostratori nei seguenti settori di volta in volta emergenti: telemisura, multimedialità, realtà immersiva, rete di laboratori, sistemi *short range* per il traffico intelligente, sistemi *smart lighting*, sistemi FPGA per applicazioni terrestri e satellitari, Internet delle cose, etc., in una cornice di sicura validità a livello internazionale, ad esempio nelle iniziative europee COST, nelle reti di eccellenza europee (NewCom), e nell'ambito di contatti con prestigiosi Istituti di ricerca internazionali (MIT)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Si rimanda per i dettagli al sito [www.wilab.org](http://www.wilab.org) [1].

### 2.17.1. La Facoltà di Ingegneria e i dimostratori del WiLab

Quando entrai nell'Istituto di Elettronica, verso la fine del 1975, l'atmosfera che si respirava era improntata all'attività sperimentale oltre che alla speculazione puramente teorica per via dei contatti che il professor Ercole De Castro aveva sempre instaurato con le aziende manifatturiere di sistemi di telecomunicazioni. Ricordo con piacere che De Castro mi invitò a visitare la Telettra fin da quando ero studente, credo del IV anno, e la narrazione che mi veniva fatta sugli sviluppi industriali delle Telecomunicazioni influenzò sempre il mio approccio allo studio prima e alla ricerca poi. Pur essendo affascinato dagli sviluppi analitici, appresi dai miei Maestri, Ercole De Castro e Leonardo Calandrino, ho sempre cercato di coltivare, quando possibile, anche le attività sperimentali: nel tempo riuscii ad organizzare, con l'aiuto insostituibile dei laureandi, il banco di misura sui sistemi di trasmissione digitali che allora (anni Ottanta) disponeva di alcuni strumenti di pregio per la misura del tasso di errore e per l'analisi spettrale.

Questo sistema di misura, nel laboratorio Telecomunicazioni, rappresentò la base sperimentale in una serie di progetti anche in collaborazione con le aziende del settore e produsse un significativo numero di esperienze all'interno del mio corso di "Radiotecnica", rinominato successivamente "Sistemi di Telecomunicazioni".

Il banco di misura vedeva già negli anni Ottanta alcuni strumenti dotati di interfaccia GPIB (General Purpose Interface Bus) per l'interconnessione in rete e quindi fu possibile pilotare la misura a distanza attraverso personal computer (1986-1987). Era quello il primo passo verso una successiva evoluzione che portò negli anni successivi alla telemisura e alla rete di laboratori.

Il Laboratorio Telecomunicazioni era allora collocato a pian terreno della palazzina Scuderie e successivamente, con la ristrutturazione edilizia (siamo agli inizi degli anni Novanta), migrò al primo piano nei locali adiacenti a quelli riservati al centro CNR (CIOC, ridefinito dopo breve tempo CSITE), di cui mi fu affidata la direzione nel 1992. La sistemazione logistica che si venne a creare era ottima, in quanto i docenti e i ricercatori vivevano a stretto contatto con studenti e strumentazione, impostazione sempre stimolata da Ercole De Castro che ho sempre cercato di mantenere anche nelle fasi di ampliamento del Centro: infatti, grazie alla disponibilità di fondi non irrilevanti acquisiti in progetti attuati con finanziamenti esterni all'Università, riuscii ad estendere il Laboratorio in locali in affitto nelle sedi di viale Aldini e di via Albergati, oltre che all'interno della Fondazione Alma Mater (in villa Pallavicini), prima di ottenere nel 2014 l'attuale sistemazione all'interno dei locali dell'ex Istituto di Elettronica.

I paragrafi seguenti mostreranno dunque i passi principali di questa evoluzione, con enfasi sull'attività sperimentale, e tratteranno dei contenuti di ricerca di vari progetti che hanno condotto ai seguenti dimostratori (si veda per i dettagli e per le figure a colori il sito web [www.wilab.org](http://www.wilab.org)):

1. Rete di Facoltà in tecnologia eterogenea FDDI-ATM-WIFI-SATELLITE.



2. Piattaforma per la caratterizzazione di reti wireless eterogenee e interveicolo (simulatore di reti radiomobili in scenari realistici SHINE).
3. Piattaforma di infomobilità (simulatore integrato traffico su strada e reti wireless per infomobilità – Progetto Pegasus).
4. Comunicazioni immersive (reti di sensori e sistemi di localizzazione per la guida immersiva – progetto VICOM).
5. Rete di laboratori per telemisura ed e-learning (Progetti Labnet e Teledoc2) - Premio EIfEL (European Institute for E-Learning) e SEEL (Supporting Excellence in E-Learning) – per il miglior progetto nel campo dell'e-learning, 2004.
6. Smart City (rete riconfigurabile di pali intelligenti per la smart city presso Fondazione Alma Mater, 2011 – Progetto Pegasus).
7. Sistema di controllo delle reti di sensori, per *smart lighting* e infomobilità (operativo presso Fondazione Alma Mater, 2012).
8. DVB-T: Sistema video digitale con cancellatore d'eco in tecnica FPGA (PROGETTO METASYSTEM 2006 - 2009, operante su banco di telemisura presso UNIBO).
9. Sistema UWB-RFID testato in un'applicazione di ordinamento dei bagagli su nastro trasportatore operante con una precisione di 20 cm a 3 m/s di velocità (progetto SELECT).

Questi dimostratori, opportunamente trasferiti nelle reti COST e nelle reti di eccellenza europee (Network of Excellence – NoE), hanno fornito negli anni passati un'idea delle potenzialità delle telecomunicazioni attraverso le seguenti applicazioni, che oggi sono realtà: Sistemi di telecomunicazioni per il trasporto intelligente (ITS), Sistemi di telemisura, Reti wireless multimediali, Sistemi di trasmissioni digitali ad alta velocità, Sistemi radiomobili per applicazioni video, Rete di laboratori, Sistemi di localizzazione indoor per applicazioni civili e industriali, Teledidattica, *Smart lighting* e infomobilità.

Voglio rimarcare che l'attività sperimentale, sostenuta da una robusta ricerca di base, riesce a dare corpo al ciclo virtuoso ricerca – sperimentazione – applicazioni – nuova ricerca, con la conseguente proiezione, in alcuni casi, verso il trasferimento tecnologico e la fondazione di *startup*.

È ciò che si è avverato, ad esempio, nel progetto di ricerca Infomobilità, con la dimostrazione effettuata nei locali della Fondazione Alma Mater negli anni 2010-2012, basata su una rete *mesh* di lampioni intelligenti, totalmente controllata, per la generazione di servizi *smart*, *in primis smart lighting* e servizi di infomobilità per il cittadino.

Oltre all'importanza della sperimentazione come momento di validazione degli approcci teorici, e delle misure in campo per la ricerca di nuovi spunti di indagine, va ricordata l'importanza che ha rivestito la sperimentazione nella nostra Facoltà anche per quanto concerne la didattica nell'area Telecomunicazioni, testimoniata dall'attivazione di Corsi di Laboratorio offerti agli studenti di laurea triennale e magistrale sin dall'inizio degli anni Duemila, che hanno tratto il loro fondamento nella robusta attività sperimentale sviluppata nei progetti di ricerca del WiLab.

### 2.17.2. Le comunicazioni wireless: spinta per l'economia del Paese

È ben nota la correlazione, riscontrabile da un esame comparativo delle condizioni economiche di vari paesi nel mondo, tra il PIL e lo sviluppo dei sistemi di comunicazioni e di trasporto, in una cornice di crescente integrazione verso il trasporto multimodale (una sempre maggiore integrazione dei vari mezzi di trasporto) favorito soprattutto dallo sviluppo delle comunicazioni mobili [2].

In particolare, dal Mobility Report sullo sviluppo delle reti mobili, presentato da Ericsson durante i lavori della Commissione Broadband [3] per lo sviluppo sostenibile, si evince che «un aumento del 10% nella diffusione delle TLC produce un balzo del Pil fino al 2,8%. Nel 2016 è stato generato nel mondo un controvalore tra 500 e 2.000 mld».

Il Mobility Report Ericsson fornisce un'analisi del traffico dati con calcoli e misurazioni approfondite ricavate dalle reti commerciali di tutto il mondo. Il Report fa leva su queste misurazioni, su analisi del settore, su modelli previsionali e altri studi rilevanti, per delineare i trend attuali del traffico e del mercato all'interno della Networked Society.

Venendo al nostro Paese, è importante ricordare molto sinteticamente che l'accesso di massa ad Internet si è sviluppato proprio attraverso la diffusione delle comunicazioni mobili; queste hanno stimolato un crescente sviluppo di applicazioni in rete secondo un trend ormai consolidato in molte parti del mondo.

Per sottolineare il ruolo delle comunicazioni wireless, vengono riportati i seguenti dati [3]:

- Il traffico dati mobile globale è pari a 27 exabyte/mese nel 2018, con tasso di crescita annuo del 79% (15 exabyte/mese nel 2017). Il traffico dati mobile globale aumenterà di cinque volte tra il 2018 e il 2024, con un tasso di crescita annuo composto (CAGR) del 31%, raggiungendo 136,0 exabyte/mese entro il 2024.
- Il traffico medio per smartphone nel 2018 è pari a 5.6 gigabyte/mese, con una previsione di 21 gigabyte/mese nel 2024.
- Il numero di sottoscrizioni cellulari nel mondo nel 2018 è pari a 8 miliardi, di cui 5.9 miliardi a larga banda.
- Il numero di connessioni IoT nel 2018 è pari a 8.6 miliardi e in previsione raggiungerà 22.3 miliardi nel 2024, con un CAGR del 17%.
- Nel 2018 gli smartphone rappresentano il 40% dei dispositivi collegati, il 44.7% sono dispositivi IoT, l'8.2% è costituito da PC/laptop/tablet, il 7.1% da telefoni fissi.

Sostanzialmente si conferma il trend secondo il quale l'accesso a Internet vedrà sempre più protagonista la rete mobile e di qui l'importanza di diffondere ad ogni livello la cultura delle comunicazioni mobili.

Infatti, la rete mobile (per persone, macchine, oggetti e processi di automazione), con il suo carattere pervasivo:

- ha favorito lo sviluppo delle reti eterogenee per applicazioni diversificate (*smart applications*). Oggi diventa più che mai realistica l'ipotesi di affiancare alla rete in

fibra verso l'utente/cabinet una rete che abbia l'ultimo collegamento wireless anche nella prospettiva della larga banda;

- ha raggiunto elevati livelli di flessibilità e capacità in quanto può beneficiare dei risultati di decenni di ricerche orientate all'incremento dell'efficienza spettrale dei collegamenti radio (modulazioni ad elevato numero di livelli, sistemi di codifica, sistemi multi-antenna...) e quindi può garantire velocità sempre maggiori offerte da ciascuna stazione radiobase. Il panorama del futuro è quello di un *cloud* di radiobasi disseminate capillarmente nelle zone di altro traffico, all'interno di edifici (Distributed Antenna System - DAS) o anche outdoor, sempre attraverso la sinergia fra fibra ottica e sistemi wireless;

- presenta come elemento caratterizzante un'estrema flessibilità di impiego e di adattamento alle dinamiche di traffico che si possono verificare attraverso l'uso efficiente delle risorse radio disponibili;

- stimolerà l'impiego di risorse spettrali crescenti (sino alla gamma dei THz) per lo sviluppo delle reti ad alta velocità;

- ha fatto sì che anche paesi come gli USA, tradizionalmente legati ad uno sviluppo massiccio di sistemi via cavo, vedano recentemente l'abbandono da parte di molti utenti delle connessioni fisse a favore dell'uso dello smartphone;

- produrrà, con l'introduzione dei sistemi 5G, grandi benefici a vari settori quali *automotive*, salute, trasporti, energia, industria 4.0, agricoltura. Stime recenti (Huawei) prevedono in oltre 100 miliardi di euro l'anno i benefici per l'Europa derivanti dall'introduzione del 5G, con importanti impatti sull'occupazione;

- genererà *revenues* su scala mondiale di oltre 200 miliardi di dollari nel 2025 (stima Huawei).

Le telecomunicazioni mobili costituiscono, in conclusione, il sistema nervoso su cui innestare lo sviluppo tecnologico del Paese, che può progredire e vedere crescere il PIL attraverso un ammodernamento di settori quali trasporti, energia, salute, agricoltura, industria 4.0, etc. È quindi auspicabile un maggior impegno del Governo nel finanziamento della ricerca nelle aree strategiche dei sistemi di telecomunicazioni a larga banda, per l'incremento della conoscenza, quindi della tecnologia e dei servizi disponibili, e per un indubbio impulso allo sviluppo e all'economia del Paese.

### **2.17.3. Le Telecomunicazioni presso la Facoltà di Ingegneria. Alcuni passi significativi nella sperimentazione**

#### ***Evoluzione della rete di Telecomunicazioni nella Facoltà di Ingegneria - inizio anni Novanta***

La rete di Facoltà ha rappresentato e rappresenta una risorsa preziosa per la ricerca: si è arricchita mediante i progetti, come sarà chiaro dal seguito, e ha rappresentato un supporto utilissimo ai fini delle sperimentazioni pianificate durante gli ultimi decenni.

All'inizio degli anni Novanta la rete di Facoltà fu completamente ristrutturata attraverso l'installazione di una rete ottica FDDI (Fiber Distributed Data Interface) a 100 Mb/sec. Tale rete, denominata Promet, fu acquisita nel 1991 dal Centro CNR CIOC, poi divenuto CSITE (Centro Studi per l'Informatica ed i Sistemi di Telecomunicazioni), tramite un finanziamento erogato dal "Piano Finalizzato Trasporti 2" nell'ambito del progetto Procom (Prometheus-Eureka) [4] e fu messa a disposizione – da chi scrive – della Facoltà di Ingegneria, che allora vede-

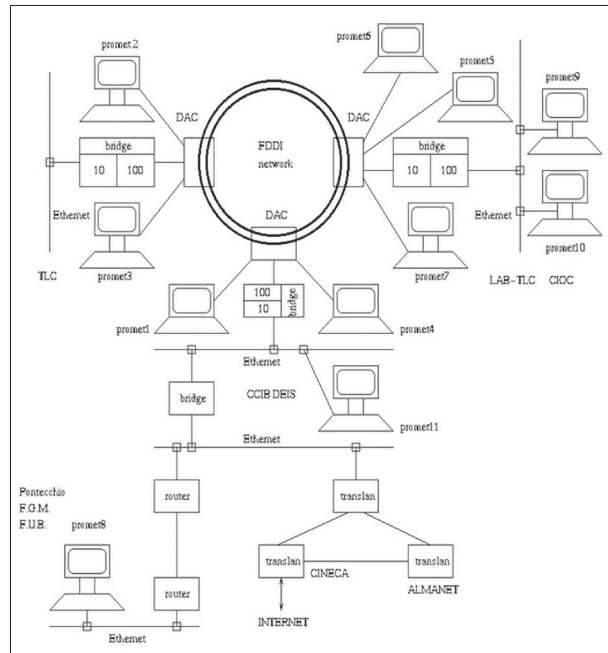


Figura 1. Architettura delle rete Promet.

va attivo un unico bus Ethernet. Con questo finanziamento fu anche possibile installare una rete Ethernet nei locali della Fondazione Marconi, e provvedere alla sua connessione alla sede di viale Risorgimento [5]. La rete FDDI presentava inizialmente un'architettura ad anello (Fig. 1) a cui erano collegate tre isole: la palazzina Ex- Scuderie (che ospitava il Centro CNR CIOC, e alcuni laboratori del DEIS come il Laboratorio Telecomunicazioni, il Laboratorio di Automatica e Robotica – LAR – ed il laboratorio di Bioingegneria), i locali dell'ex Istituto di Elettronica (DEIS, edificio storico) ed il resto della Facoltà, incluso il Centro di Calcolo. Per aumentare l'affidabilità, la rete FDDI prevedeva un secondo anello ottico, in grado di subentrare in caso di malfunzionamento dell'anello principale. La rete Promet ha rappresentato quindi un passo fondamentale nell'evoluzione della Facoltà, consentendo l'accesso remoto alle molteplici risorse di calcolo che andavano diffondendosi e facilitando lo scambio dei dati

La nuova rete era costituita da otto *workstations*, di ottima qualità per quell'epoca (DEC 5000/240), di cui una collocata a Pontecchio Marconi, e le altre sette direttamente collegate alla rete FDDI e date in uso a diversi gruppi di ricerca, fra i quali il gruppo Telecomunicazioni e quello di Campi Elettromagnetici.

La gestione della rete nel suo complesso era affidata al personale del CIOC (in seguito, CSITE).

La Figura 1 illustra schematicamente la struttura della rete Promet. Sulla rete, che servì a riorganizzare tutto il traffico dati della facoltà e a generare nuovi servizi [5], quali ad esempio la posta elettronica DEIS, vennero anche effettuate interessanti misure di prestazioni e sperimentate le nuove tecniche che si stavano affermando,

quali la nuova modalità di trasporto ATM. Queste sperimentazioni furono molto utili ad esempio per la caratterizzazione del traffico dati e in generale nel processo di evoluzione della rete, in riferimento alla connessione in rete pubblica.

La rete di TLC, unitamente ai servizi ad essa associati, ebbe uno sviluppo regolare nel corso degli anni, tramite un'espansione programmata ed un continuo miglioramento tecnologico. In particolare, a partire dal settembre 1996, grazie ad un accordo con Telecom Italia, i collegamenti punto-punto che costituivano le interconnessioni tra le varie Facoltà furono sostituiti da un sistema ad alta velocità denominato SMDS (Switched Multi-megabit Data Service) e tutte le procedure di *routing* per il collegamento tra le varie sedi furono così affidate a Telecom Italia. Per Ingegneria fu previsto un collegamento a 34 Megabit/s di cui 25 utilizzabili, mentre alla sede di Pontecchio, inizialmente collegata con un circuito diretto numerico di bassa velocità, fu riservato un collegamento a 2 Megabit/s.

### ***Sperimentazione su WLAN 802.11***

Agli inizi degli anni Novanta, in una cornice scientifica che allora guardava alle onde millimetriche (60 GHz) oggetto di studio nell'ambito dei progetti europei, quali Prometheus e Drive per lo studio dell'ITS (Intelligent Transportation System), si stava pianificando nel Centro CNR CSITE di acquisire apparecchiature e strumentazione di misura per la progettazione, l'installazione e la verifica delle funzionalità di una rete a onde millimetriche (60 GHz), da interfacciare adeguatamente e integrare con le reti ottiche, con l'indubbio vantaggio dovuto alla tecnologia wireless, che superava la necessità di cablare l'ambiente da servire con alta capacità.

Nella seconda metà degli anni Novanta, all'interno di un progetto di ricerca sulle Wireless LAN, come preambolo alla eventuale sperimentazione su rete a 60 GHz, nel WiLab fu impostato uno studio basato su rete WLAN (Wireless Local Area Network) a 2.4 GHz conforme con il protocollo IEEE 802.11: la sperimentazione aveva l'obiettivo di arrivare alla copertura della Facoltà. I risultati di questa sperimentazione, in termini di copertura di alcune aree strategiche della Facoltà e di capacità della rete, hanno aperto la strada alla capillare diffusione di questa tecnologia nei locali di Ingegneria dei giorni nostri [6].

### ***Interconnessione via satellite con le sedi CNIT***

La rete di Facoltà ebbe un successivo sviluppo agli inizi degli anni 2000 grazie alla partecipazione dell'Unità CNIT di Bologna ai progetti finanziati dall'Agenzia Spaziale Italiana, al progetto relativo ai Laboratori in rete e a quello sulla teledidattica (progetto Teledoc2) [7, 8]. La sede fu inizialmente dotata di una stazione satellitare in banda Ka (20-30 GHz) per il collegamento in rete mediante il satellite ITALSAT F2, con stazioni analoghe presso altre sedi universitarie sul territorio nazionale (Genova, Firenze, Pisa, Parma e Napoli).

Successivamente, nell'ambito della rete multimediale legata al progetto Teledoc2, fu installata una nuova stazione satellitare in banda Ka per collegamenti verso il satellite Eutelsat HotBird 6 in modalità Skyplex.

La disponibilità di una rete satellitare, al servizio di diversi gruppi di ricerca CNIT in Italia, è stata non soltanto uno strumento prezioso per la ricerca avanzata nelle telecomunicazioni via satellite, ma anche il cuore di una rete che ha fornito numerosi servizi, quali la videoconferenza, il video on demand e diversi corsi del progetto Teledottorato2 (finanziato da MIUR).

La rete via satellite ha inoltre permesso di sperimentare l'integrazione di reti satellitari, WLAN e cablate permettendo di usufruire contemporaneamente di un ampio spettro di tecnologie per garantire nel contempo affidabilità, velocità e, non meno importante, mobilità. Fu installata in Facoltà un'antenna parabolica operante in banda Ka, collegata agli apparati nel Laboratorio Telecomunicazioni e furono effettuate alcune misure, a titolo di esempio, relative agli spettri dei segnali modulati a media frequenza. Mediante la strumentazione del laboratorio fu anche possibile misurare la qualità della trasmissione nella tratta downlink, con conseguente confronto con l'andamento teorico.

A valle del progetto Teledoc2 la rete WiLab era dunque molto evoluta e prevedeva anche la connessione dei vari siti decentrati in cui si era articolato il laboratorio con l'acquisizione delle sedi in viale Aldini e in via Albergati. Si stava così attuando un allargamento della rete di Facoltà e fu questa l'occasione per sperimentare in campo nuove tecnologie, per allora, come un ponte ottico wireless per il collegamento del Laboratorio di via Albergati verso la Torre della Facoltà e di un collegamento radio punto-punto con tecniche WiFi/Hiperlan per il collegamento della sede di viale Aldini con la palazzina CSITE (con traiettoria parzialmente intercettata dal fogliame dei viali di circonvallazione).

In conclusione, il WiLab ha visto man mano estendere le proprie dorsali di rete, qui di seguito riportate:

- rete CNIT terrestre (collegamento ATM 34Mbit/s e due nodi a 512 Kbps con supporto del Multicast e IPv6) e satellitare (2 Mbps; sistema di trasmissione in banda Ka; tecnologia Skyplex; Space Operator Partner Eutelsat; satellite HotBird6);
- 2 reti ADSL 20Mb/s gestite in load balancing opportunamente collegate a:
- rete GARR attraverso Università degli Studi di Bologna con link diretto verso router GARR 100MB/s;
- rete europea GEANT attraverso Rete di Eccellenza NEWCOM sulle comunicazioni wireless;
- rete della Regione Emilia-Romagna a larga banda.

### ***L'attività sperimentale nelle ricerche sui sistemi radiomobili – analisi, simulazione e misura***

Nella seconda metà degli anni Novanta, le collaborazioni industriali con Siemens Telecomunicazioni (ricordo con piacere gli amici Guido Vulpetti e Giacomo Premoli) nonché gli stretti contatti con i dirigenti TIM (ricordo con altrettanto piacere Vito Gamberale, Renzo Failli e Pietro Porzio Giusto) rappresentarono per il WiLab uno stimolo per la messa a punto di simulatori di rete radiomobile.

Inizìò così un'intensissima attività mirata alla costruzione di una complessa macchina di simulazione, denominata SACRA, orientata inizialmente al sistema GSM, che allora stava diffondendosi in tutte le parti del mondo. Nella fattispecie, l'azienda Siemens Mobile aveva l'esigenza di monitorare la qualità del sistema e di comprendere il comportamento della rete e l'effetto di vari parametri di sistema sulle prestazioni espresse in termini di: tasso di blocco, congestione sul canale di traffico, tasso di terminazione forzata a causa di *radio failure*, tasso di *handover* falliti e di *handover* riusciti, etc., al fine di mettere a punto strategie di variazione dinamica della rete in funzione delle condizioni operative.

La messa a punto del simulatore SACRA avvenne mettendo a confronto le uscite della macchina di simulazione con i risultati sperimentali ottenuti sul campo, e questa era una ricchezza dovuta al contatto industriale: disporre appunto delle misure del campo. Il traguardo era ambizioso e doveva servire anche in ambiente industriale per comprendere la natura dei risultati sperimentali e la dipendenza dai numerosi parametri che potevano influenzare il funzionamento della rete.

Alla costruzione della macchina lavorarono diversi ricercatori in collaborazione con gli ingegneri dell'industria e fu seguito un approccio a me molto caro, definito "approccio integrato", che aveva l'ambizione di considerare, congiuntamente, tutti i livelli della comunicazione, dalle fondamenta (propagazione e trasmissione) sino al livello dell'applicazione.

Si trattava dunque di mettere insieme vari *layer* della comunicazione a partire da un layout di stazioni base dispiegate su un territorio urbano preso dalla realtà e tenendo conto della caratterizzazione della propagazione in ambiente realistico, del funzionamento della trasmissione sul link radio in presenza di fading, *shadowing* e interferenze, della gestione delle risorse radio, dei modelli di traffico, del controllo degli *handover*, etc. All'epoca non fu affatto semplice, ma lo sforzo compiuto in stretta sinergia con l'ambiente industriale consentì di mettere a punto la macchina e di ottenere una sorprendente corrispondenza tra i dati simulati e quelli ottenuti dalle verifiche sperimentali. Infatti, con grande soddisfazione dei ricercatori impegnati nel progetto, si riscontrarono notevolissimi accordi tra le previsioni di servizio in ambiente realistico e le misure di prestazione misurate in campo: i risultati furono anche presentati in ambito europeo (Azione COST).

Parallelamente, sempre in collaborazione con Siemens Mobile, prese avvio il progetto TUTSY, il cui obiettivo era lo sviluppo di simulatori software dei sistemi di accesso UMTS (3G) con interfaccia radio FDD (WCDMA) e TDD (nella versione UTRA e TD-SCDMA), per l'analisi delle differenti modalità implementative dei servizi voce e dati.

Questo confronto tra ambiente scientifico e mondo industriale sviluppò nel gruppo di ricerca la capacità di individuare le giuste approssimazioni per raggiungere il miglior compromesso tra velocità di simulazione e precisione dei risultati, e fu molto istruttivo concepire alcune parti della macchina ricorrendo ad un approccio semi-analitico, in cui si riusciva a sfruttare la teoria dei collegamenti radio su canale affetto da interferenze e da evanescenza aleatoria per alleggerire il processo di simulazione.

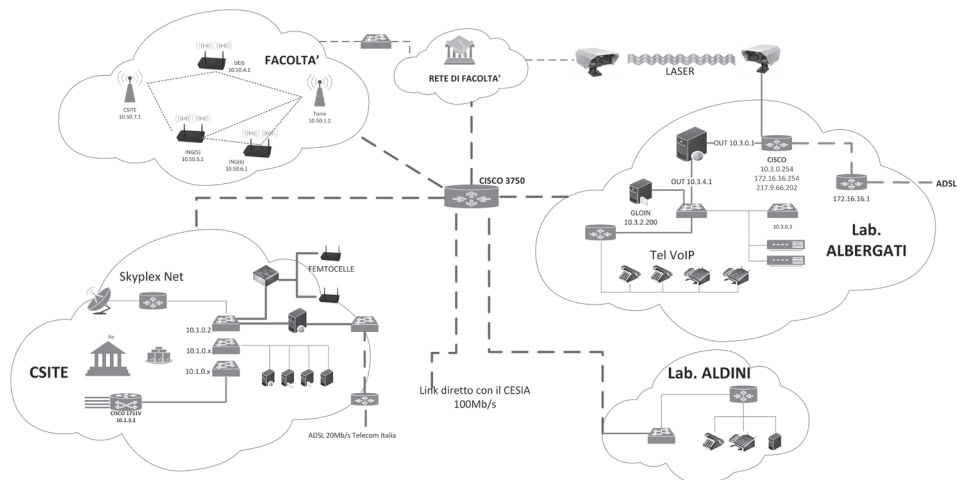


Figura 2. Architettura della rete del WiLab con l'estensione alla tecnologia delle femtocelle.

Da queste attività partirono vari filoni di ricerca, sia con riferimento ai metodi di trasmissione con tecniche di *frequency hopping*, sia altre iniziative verso simulatori più complessi che prefiguravano una sinergia tra reti radiomobili e reti radio locali. Nacque così il simulatore evoluto per reti integrate denominato SHINE, in grado di riprodurre le dinamiche di cooperazione di reti radio diverse, quali UMTS, WiMAX, WiFi, MC-CDMA, IEEE802.11p.

La sensibilità acquisita con il mondo radiomobile in scenari realistici e l'affinamento della capacità di trattare reti sempre più complesse ha successivamente consentito di effettuare in Facoltà, in accordo con TIM, alcuni test molto significativi sulle installazioni delle cosiddette femtocelle 3G all'interno degli edifici. Per offrire servizi a larga banda all'utente è infatti necessario ridurre quanto più possibile la distanza fra il terminale radio (il cellulare) e l'antenna della rete radiomobile. Spingendo questa esigenza alle estreme conseguenze furono concepite le femtocelle, ovvero celle con un'area di copertura di ridottissime dimensioni (un'unità abitativa o un ufficio), riservate a pochissimi utenti. La femtocella è perciò realizzata con un apparato wireless installato all'interno di edifici e gestito a distanza dall'operatore della rete radiomobile.

La stretta collaborazione fra WiLab e TIM portò alla realizzazione, nel 2010, di un *testbed* basato su questa tecnologia, che fu allestito nei locali della Facoltà di Ingegneria al fine di verificare non solo l'effettiva copertura elettromagnetica, ma anche le prestazioni percepite dall'utente. In Figura 2 è mostrata l'architettura della rete del WiLab con l'inserimento degli apparati per le femtocelle.

Riassumendo, lo sviluppo della rete di Facoltà nella direzione di una architettura eterogenea, da un lato, e lo sviluppo delle ricerche sui sistemi wireless, dall'altro, consentirono di concepire, nei vari progetti di ricerca in cui fu impegnato il Laboratorio, una serie di dimostratori che verranno sintetizzati di seguito.



***La rete fissa e la rete mobile al servizio dei progetti di ricerca: la multimedialità, la telemisura e le prime sperimentazioni di accesso remoto CUP 2000****Le comunicazioni multimediali e le sperimentazioni in Facoltà*

Alla fine degli anni Novanta iniziarono nel Laboratorio varie attività e progetti di ricerca sulla Multimedialità [9], sviluppati anche a livello sperimentale, sia in ambito CNR, sia in ambito CNIT. A tale proposito ricordo il contributo del WiLab anche per la creazione del Laboratorio di Comunicazioni Multimediali CNIT presso l'Unità di Ricerca di Napoli.

Riporto di seguito, per brevità, quanto ebbi modo di scrivere in occasione della Exhibition Bologna 2000:

Gli anni recenti sono stati caratterizzati da un vertiginoso sviluppo delle Telecomunicazioni che, attraverso l'evoluzione dei sistemi e la loro integrazione, mettono a disposizione dell'utente servizi sempre più sofisticati, secondo una tendenza che pone l'enfasi sull'aspetto del "put technology to work". Va sottolineata, a questo riguardo, la convergenza che si sta delineando tra il mondo delle comunicazioni mobili e internet, secondo la quale l'utente mobile, supportato da una tecnologia sempre più efficiente e veloce, potrà usufruire di servizi multimediali avanzati, indipendentemente dalla propria posizione su aree sempre più estese. I sistemi multimediali interattivi pongono l'utente, fisso o mobile, in condizioni di gestire a distanza il proprio rapporto con un fornitore di servizi o prodotti, consentono di svolgere il lavoro da casa o in viaggio, permettono allo studente di beneficiare a distanza dell'azione didattica di un docente nel modo più completo o di accedere ad un banco di misura per la verifica delle prestazioni di sistemi e circuiti da programmare opportunamente. Tutto ciò con un livello crescente di rapidità e di efficienza.

La moderna concezione della speculazione scientifica, che vede la Ricerca di base orientata al servizio della collettività, ha costituito il filo conduttore dell'attività condotta nel corso dell'intero triennio 1999-2002 del progetto "Multimedialità", secondo un percorso che prende le mosse dai servizi, individua le tecnologie adeguate e mira alle realizzazioni, dando peraltro impulso alla Ricerca di base per la messa a punto di modelli e metodologie di studio che costituiscono la linfa vitale del progresso tecnologico.

Tale percorso ha trovato naturale finalizzazione nella realizzazione e caratterizzazione sperimentale di prototipi di sistemi innovativi e nell'allestimento di dimostratori relativi alle tecnologie ed ai servizi sperimentati, fra i quali è il caso di menzionare la comunicazione video su terminali GPRS, la telemisura wireless, la prenotazione di servizi socio-sanitari mediante terminali mobili – che rappresentò di fatto l'inizio dell'attività in rete di CUP 2000 – la teledidattica su rete fotonica, le comunicazioni satellitari di futura generazione, l'accesso alle informazioni riguardanti i beni culturali e alla rappresentazione fotorealistica di reperti archeologici.

Il Progetto Multimedialità svolse un ruolo di primaria importanza anche a livello internazionale, attraverso pubblicazioni significative sulle riviste scientifiche più qua-

lificate, ed ebbe un impatto importante anche in ambito europeo: molti dei risultati e delle esperienze maturate infatti, furono travasate in azioni COST che, come noto, rappresentano i più rilevanti contesti Europei per il confronto delle metodologie e dei risultati ottenuti nei vari settori di interesse.

I docenti e i ricercatori operanti all'interno del progetto diedero inoltre impulso alla proposta europea di due nuove reti scientifiche nei settori dei sistemi radiomobili e via satellite, collocandosi anche in ruoli di primissimo piano nel coordinamento della rete stessa.

#### *La telemisura: esempio di accesso remoto multimediale*

Un'interessante dimostrazione multimediale riguardò le telemisure, che rappresentarono un'interessante applicazione in quanto permisero il controllo a distanza di pregiati strumenti e l'acquisizione dei risultati ovunque l'utente si trovasse. Fu quindi possibile utilizzare come ambiente di test il Laboratorio Telecomunicazioni: l'intero sistema, mostrato in Figura 3, era composto da una serie di strumenti di misura connessi al Bus GPIB (General Purpose Interface Bus), a sua volta interfacciato con la rete del laboratorio mediante un apparato convertitore GPIB-ENET della National Instruments. Questa integrazione tra Bus e rete LAN offriva la possibilità a tutti i PC connessi in rete di poter interagire, mediante driver opportuni, con gli strumenti del banco.

Fra le prove realizzate vi furono misure del tasso di errore, di spettri e di costellazioni su circuiti per telecomunicazioni realizzati in laboratorio e/o da aziende esterne. A tale proposito, lo schema illustrato ha permesso la realizzazione di una esperienza didattica di telemisura effettuata in aula 8.1 (la copertura dell'aula fu adeguatamente studiata), che permise agli studenti del corso di Sistemi di Telecomunicazione di

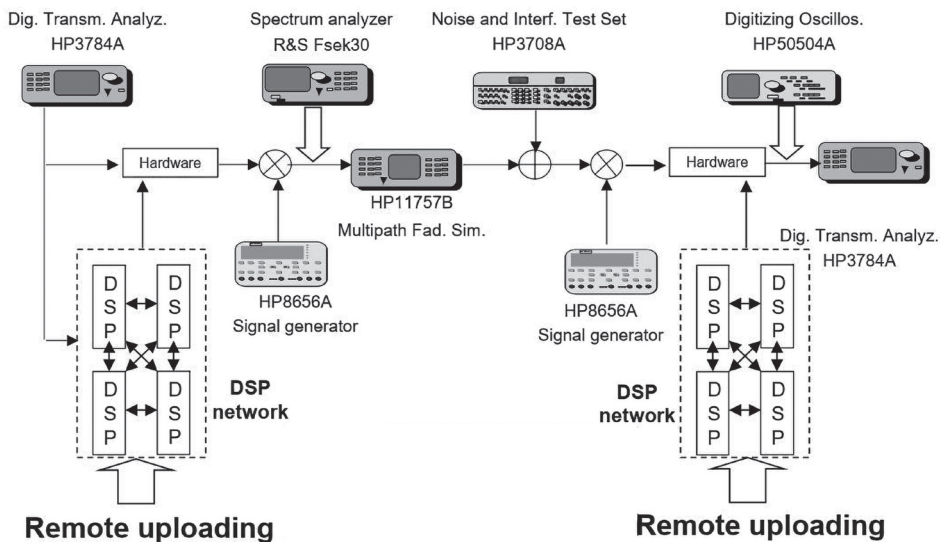


Figura 3. Un esempio di allestimento del banco di telemisura.

vedere sul monitor di un PC portatile con interfaccia di rete wireless gli strumenti di misura, remotizzati, e di poter interagire con essi.

Per evidenziare l'avvenuto accesso fisico al pannello di comando degli strumenti remoti, si decise, quando la capacità della rete lo permetteva, di implementare simultaneamente alla misura una videoconferenza che permettesse la visualizzazione del banco di misura e la possibilità di interloquire con un operatore preposto al banco.

#### *Sperimentazione video su rete eterogenea*

Un altro esempio di applicazione multimediale su rete eterogenea è riconducibile, metà degli anni 2000, alla trasmissione di una sequenza Video On Demand tra un *host* remoto, situato a Prato, ed un terminale mobile del Laboratorio di Telecomunicazioni. Uno scenario di questo tipo era rappresentativo di applicazioni quali l'accesso a database multimediali e la teledidattica. La comunicazione venne resa possibile attraverso una rete eterogenea comprensiva della rete satellitare del CNIT a 2 Mbit/s, che era nella disponibilità del Laboratorio Telecomunicazioni della Facoltà di Ingegneria, di una LAN cablata e della rete WiFi, che costituiva una estensione wireless della rete interna del laboratorio (vedi Fig. 4). La rete così composta permise la connessione di un terminale mobile (un PC portatile dotato di scheda WiFi a 11Mbit/s) ad un server remoto e la trasmissione real time di una sequenza video in formato MPEG-2.

La sequenza audio-video richiesta era costituita da un filmato a 1.5 Mbit/s, ed il confronto della qualità video venne sviluppato tra la sequenza riprodotta da un PC (Pentium II 350 MHz, 128 Mbyte di RAM) e un terminale portatile di analoga potenza. Sia sul PC connesso alla rete fissa che sul terminale mobile la sequenza video non mostrò segni di degrado della qualità, evidenziando così la possibilità di utilizzare correttamente la rete wireless rispetto alla connessione Ethernet.

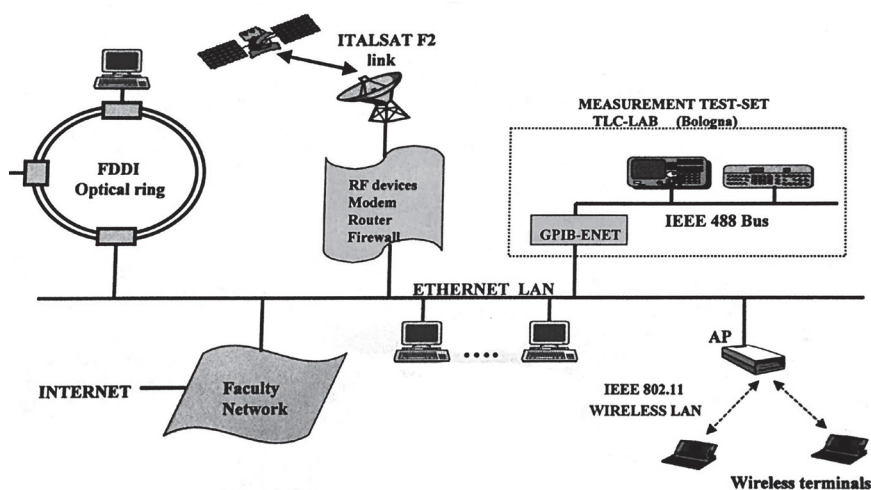


Figura 4. La rete eterogenea presso il WiLab.

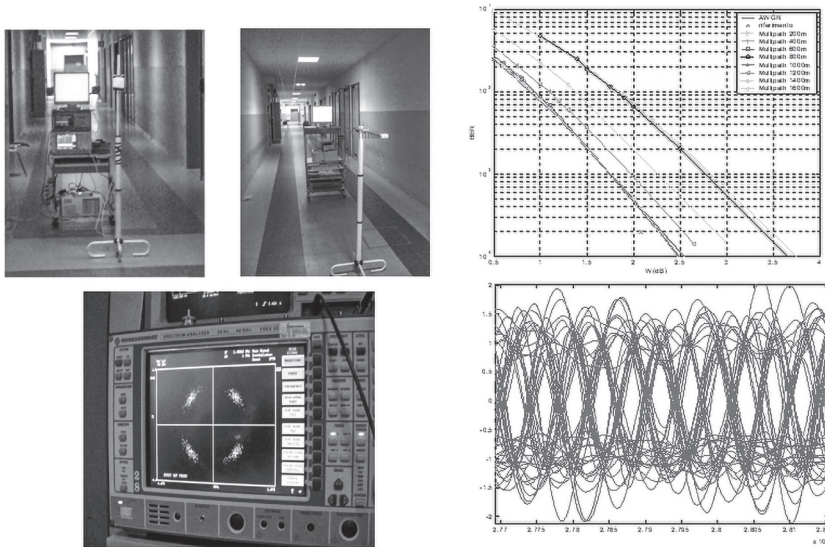


Figura 5. Allestimento delle misure presso la facoltà-corridoio piano terra.

#### Misure in galleria (per estensione di copertura della rete satellitare in scenari ferroviari)

Un altro momento che va ricordato è quello legato alle misure che furono organizzate in Facoltà nell'anno 2006. In questo caso, nell'ambito di un progetto sviluppato in collaborazione con Thales-Alenia, venne utilizzato il corridoio del piano terra, in un giorno festivo, come emulatore di una galleria ferroviaria. Il WiLab era infatti impegnato nello studio di un sistema per l'estensione della copertura della rete all'interno delle gallerie, per treni ad alta velocità. Lo studio delle prestazioni dei sistemi di modulazione digitali (singola portante o multiportante) richiedeva una opportuna contromisura nei confronti della propagazione multipercorso in galleria e furono quindi messi a punto i metodi di analisi e progetto di sistemi trasmissivi alla frequenza di 12 GHz. Mancavano i rilievi sperimentali per la loro verifica, rilievi da effettuare in galleria ferroviaria, di non facile organizzazione e ripetibilità, e fu quindi allestito un banco di telemisura per la verifica delle prestazioni utilizzando come galleria equivalente il corridoio del piano terra della Facoltà (Fig. 5). L'obiettivo di questa emulazione era la verifica a priori del funzionamento del banco in telemisura, per essere sicuri del suo funzionamento quando si fosse andati nella vera galleria ferroviaria (una tantum). Il risultato fu eccellente, ancora una volta con grande soddisfazione del sottoscritto e dei ricercatori impegnati nel progetto.

#### 2.17.4. Sistemi immersivi e *smart mobility*

Agli inizi degli anni Duemila furono intraprese presso il WiLab le prime ricerche sui sistemi immersivi, sulle comunicazioni cooperative e sulla localizzazione indoor

basata su tecnologie radio eterogenee, che diedero origine anche ad un'intensa campagna sperimentale. Congiuntamente, vennero continuate e potenziate le ricerche e le sperimentazioni in campo per sistemi e servizi legati all'infomobilità e ai sistemi di trasporto intelligenti.

Con riferimento ai sistemi immersivi, va senz'altro citato il progetto Virtual Immersive Communications (VICom), con il coinvolgimento dell'Università di Roma Tor Vergata, CNR, CNIT, Telecom Italia Learning Services e Istituto Superiore delle Comunicazioni [10], che aveva l'obiettivo di individuare e sviluppare tecnologie abilitanti per una molteplicità di servizi di "Virtual Immersive Telepresence" (VIT). Tali servizi trovarono concreta realizzazione in VICom grazie all'integrazione di reti di diversa natura (reti di sensori radio, reti *ad hoc* e reti radiomobili 2.5G e 3G). Furono infatti concepiti, progettati e messi in campo due dimostratori: il primo fu finalizzato alla Localizzazione Indoor e la Guida Immersiva (MIE), mentre il secondo, denominato Virtual Immersive Learning (VIL), fu orientato a scenari di teledidattica di tipo cooperativo, basati cioè sulla rete di laboratori e sul lavoro cooperativo.

Le attività relative alla guida immersiva videro i ricercatori del WiLab protagonisti di una collaborazione scientifica che coinvolse i colleghi del Wireless Information and Network Sciences Laboratory presso il prestigioso Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, MA, USA.

Nel *testbed* di guida immersiva venne dimostrato come un utente dotato di terminale con interfaccia radio (cellulare o WiFi) potesse entrare e agire in piena autonomia in un ambiente a lui ignoto (ad esempio una sede della Pubblica Amministrazione), adeguatamente equipaggiato con reti di sensori e reti *ad hoc* per l'erogazione di servizi immersivi. Nel corso della dimostrazione l'utente veniva riconosciuto mediante una telecamera posta all'ingresso e successivamente localizzato mediante opportuna elaborazione dei segnali scambiati con i sensori radio. Conclusa la fase di identificazione, all'utente venivano fornite informazioni sui servizi disponibili nell'ambiente sulla base del suo profilo. L'utente poteva quindi accedere al servizio desiderato ed interagire con la rete preposta alla sua erogazione.

Tra le varie attività generate dal progetto VICOM, va ricordato quanto sviluppato nel progetto europeo FP7 "SELECT" (Smart and Efficient Location Identification and Cooperation Techniques), nel progetto ministeriale PRIN "GRETA" e infine nel progetto finanziato dall'agenzia spaziale europea (ESA) denominato "LOST". In particolare, nei progetti SELECT e GRETA è stata concepita, studiata e validata una tecnologia di comunicazione e localizzazione a banda ultra-larga (UWB) di tipo passivo con l'obiettivo di identificare e localizzare *tag* senza batteria. Questo ha portato al primo sistema UWB-RFID mai implementato a livello mondiale, poi testato in un'applicazione di ordinamento dei bagagli su nastro trasportatore operante con una precisione di 20 cm a 3 m/s di velocità. Tale tecnologia è stata successivamente migliorata, con l'aggiunta di funzionalità di trasferimento wireless della potenza, all'interno del progetto ESA LOST, il cui scopo era di investigare la possibilità di localizzare *tag* senza batteria all'interno della stazione spaziale internazionale. I test e la demo finale ebbero luogo presso ESA utilizzando il prototipo del veicolo Mars Rover.

Rimanendo nell'ambito dei sistemi *short range*, che videro un'intensa attività di ricerca con riferimento ai sistemi a onde millimetriche (60 GHz) sin dalla fine degli anni Ottanta, nella cornice di vari progetti europei (PROCOM e DRIVE), è opportuno segnalare la loro attuale prospettiva di integrazione con la futura rete radiomobile 5G e le sperimentazioni condotte dal WiLab presso la Facoltà di Ingegneria di Bologna sugli standard emergenti per le comunicazioni veicolo-veicolo e veicolo-infrastruttura (IEEE 802.11p). Questi rappresentano senza dubbio alcuno la principale linea di sviluppo dell'industria dell'*automotive*, con riferimento al settore della connettività veicolare. Infatti, anche prescindendo dalla possibilità di realizzare la guida autonoma, le comunicazioni fra veicoli e fra questi e l'infrastruttura stradale permetterebbero di ridurre il rischio di collisioni (il conducente sarebbe a conoscenza della presenza e delle intenzioni di altri veicoli), i tempi di percorrenza, il consumo di carburante e le emissioni inquinanti. Presso la Facoltà di Ingegneria di Bologna sono state testate, a partire dalla prima metà degli anni Duemila, le tecnologie radio per comunicazioni *short range* in scenari veicolari, al fine di individuare la distanza di copertura, l'impatto di ostacoli che ostruiscono la comunicazione e le tecniche per assicurare le comunicazioni anche in presenza di impedimenti alla propagazione radio diretta fra trasmettitore e ricevitore.

In particolare, sono state testate con successo tecniche di trasmissione multi-salto fra veicoli, che consentono di ovviare all'impossibilità di uno scambio di informazioni diretto fra un veicolo ed un altro o fra questi e la stazione di bordo strada, attraverso il coinvolgimento di veicoli intermedi come tramite. Un esempio di questo scenario è stato analizzato con una sperimentazione effettuata presso la Facoltà di Ingegneria di Bologna utilizzando la tecnologia IEEE802.11p, concepita per comunicazioni in scenari veicolari nella banda dei 5.9 GHz.

Tra le varie applicazioni potenziali si segnalano non solo la sicurezza ma anche la gestione e l'efficienza del traffico, in piena linea con la roadmap del 5G. Tra quelle più futuristiche va anche citata quella del semaforo virtuale, che fu studiato sin dal 2013 e prevedeva la gestione degli incroci privi di segnalazione semaforica tramite scambio diretto di informazioni tra veicoli in avvicinamento. Supportato dall'European EIC ICT Labs, presso il WiLab è stato implementato e testato un algoritmo per la gestione degli incroci basato su una continua comunicazione tra veicoli e una applicazione installata a bordo dell'auto, in grado di regolare autonomamente gli accessi all'incrocio.

### 2.17.5. Le reti eterogenee per le *smart cities*

Nella scia delle ricerche sulle reti a onde millimetriche e sulla copertura WiFi dell'intera Facoltà, nell'anno 2004 fu progettato e realizzato un dimostratore di rete *mesh* a microonde, per la verifica in campo delle prestazioni di sistemi con connettività a breve raggio eterogenea, che ha rappresentato la base per i successivi sviluppi verso i lampioni intelligenti. La rete wireless installata dal personale del WiLab presso la

Facoltà di Ingegneria di Bologna aveva come obiettivo la sperimentazione di nuovi apparati e protocolli per le comunicazioni wireless a larga banda in vari contesti. Lo scenario prevedeva diversi nodi rete wireless in connessione *mesh*, il più alto dei quali collocato sulla torre della Facoltà, operanti secondo le seguenti tecnologie: 802.11an (HyperLan 5GHz con tecnica MIMO), IEEE 802.11s per reti auto-configuranti MESH, IEEE 802.11p per comunicazioni Vehicle-to-Vehicle e Vehicle-to-Infrastructure, IEEE 802.11b/g come hotspot WiFi per l'utente finale.

### ***L'Infomobilità e il Progetto Pegasus***

La sicurezza stradale e la gestione del traffico su strada rappresentano importanti problematiche per le società moderne. Il "Global status report on road safety, 2017" riporta un numero di morti per incidenti stradali nel mondo pari a 1.25 milioni all'anno, gran parte dei quali avviene in corrispondenza degli incroci. Oltre a questo, la gestione degli incroci ha un impatto rilevante anche sulla creazione di code ed ingorghi nelle città e gli incroci controllati da semafori presentano spesso inefficienze a causa della mancanza di dinamicità e adattatività.

I progetti sul trasporto intelligente, iniziati a livello europeo sin dalla fine degli anni Ottanta, hanno consentito nel tempo di sperimentare tecnologie per telecomunicazioni in scenari veicolari con prestazioni sempre migliori, nonché di concepire nuove applicazioni e di affinare gli strumenti di simulazione, come verrà illustrato attraverso le specifiche attività descritte di seguito. Stavano allora nascendo le prime idee su nuove architetture di rete, inclusa la connessione cooperativa e dinamica dei veicoli per nuove applicazioni orientate all'efficienza, alla sicurezza e alla riduzione dell'inquinamento. Si iniziavano anche a studiare nuovi sensori, quali il radar anti-collisione, e nuovi algoritmi per l'elaborazione dei segnali video acquisiti attraverso telecamere a bordo. Oggi, dopo circa trenta anni e una lunga serie di esperimenti e di verifiche, queste idee stanno divenendo realtà commerciale. Con l'avvento del sistema cellulare di quinta generazione questi concetti troveranno con ogni probabilità piena attuazione.

Le attività di studio e simulazione dei sistemi radiomobili portate avanti nel WiLab si rivelarono fondamentali anche per lo sviluppo di un progetto orientato al trasporto intelligente e all'infomobilità, PEGASUS (2009-2012), all'interno del quale, in collaborazione con l'azienda Octotelematics, si valutò l'impatto del traffico dati generato dai veicoli verso la rete radiomobile e i benefici per la circolazione stradale derivanti dall'attivazione di servizi di "mobilità intelligente", basati appunto anche sui sistemi di comunicazione vehicle-to-vehicle V2V e vehicle to infrastructure V2I. Le prove su strada, effettuate utilizzando la tecnologia IEEE 802.11p, fornirono ottimi risultati e rafforzarono la consapevolezza che il sistema complesso di gestione del traffico urbano andasse e vada tuttora affrontato in maniera integrata, aggregando in modo intelligente vari sottosistemi che implementino le applicazioni più significative.

La gestione dinamica del traffico richiede di valutare con opportuni strumenti di simulazione di rete mobile eterogenea il contributo che il breve raggio può fornire per ridurre il carico della rete mobile (tradizionalmente a risorse non infinite), qua-

lora questa sia caricata con una mole crescente di dati, trasmessi dai veicoli. L'idea fu quella di accorpare veicoli vicini in opportuni cluster, in modo da aggregare i dati con l'ausilio della rete *short range* veicolo-veicolo e minimizzare il numero di trasmissioni effettuate tramite rete cellulare verso il centro di controllo della rete stradale.

Per studiare l'effettivo impatto che i veicoli connessi possono avere sull'efficienza del traffico, fu quindi sviluppata una piattaforma di simulazione per la valutazione integrata del traffico veicolare e del traffico dati in rete cellulare. In particolare, la piattaforma di simulazione fu costruita integrando il simulatore di traffico veicolare VISSIM, in grado di generare traffico stradale realistico su scenari urbani, extraurbani ed autostradali, con il simulatore di reti di telecomunicazioni SHINE, sviluppato presso i laboratori del WiLab, che consente la stima di prestazioni di diverse tecnologie di accesso radio, sia considerate singolarmente che in modo congiunto. Dall'uso congiunto di VISSIM e SHINE è stato possibile valutare i benefici della trasmissione di messaggi periodici dai veicoli ad un centro di controllo remoto per applicazioni di mappatura e gestione del traffico, nonché la trasmissione dal centro di controllo remoto ai veicoli del percorso ottimo da seguire in base alle effettive condizioni di traffico, dimostrando fino ad un 50% di risparmio di tempo in scenari urbani.

Va sottolineato che i progetti sull'Infomobilità hanno anche generato nuove idee in relazione all'acquisizione di dati stocastici di natura bidimensionale, aprendo la strada alla ricerca di base sull'acquisizione e sulla elaborazione di grandi moli di dati provenienti da sensori sparsi sul territorio, con opportuni algoritmi di processamento per la definizione di un dato servizio. È questo il campo dei BIG DATA, che sarà possibile approfondire attraverso opportune tecniche di Intelligenza artificiale, in particolare con reti neurali, capaci di analizzare in modo rapido ed efficiente tali moli di dati.

Queste tecniche sono e saranno senz'altro di grande impatto nella progettazione di reti e servizi alla base di scenari Internet of Things (IoT) e *smart*, in cui la continua produzione di grandi moli di informazione richiede un'opportuna gestione ed analisi.

### ***Smart cities e Internet of Things: il testbed sui lampioni intelligenti***

Come è noto, il termine *Smart City* è piuttosto ampio e include una molteplicità di servizi offerti ai cittadini, oltre che soluzioni innovative inserite nel territorio urbano al fine di migliorare, grazie all'inserimento di piattaforme tecnologiche, alcuni settori strategici come la mobilità, il consumo energetico, l'ambiente. Appare evidente come l'armonizzazione di servizi e piattaforme diverse passi da una razionalizzazione delle risorse di TLC, al fine di censire e creare un "sistema nervoso" capace di acquisire informazioni dal territorio, elaborarle in tempi rapidissimi, e restituirle nella forma di servizi ai cittadini. A tal fine è necessario progettare l'architettura di rete in modo adeguato, per evitare cioè che la presenza di reti di sensori non integrate, la diffusione sempre più massiccia sul territorio di sensori di diverso tipo, per diversi scopi, e di diversa competenza, porti ad una frammentazione dei servizi con la perdita dei benefici dovuti alla visione integrata dei dati.

È dunque importante creare le condizioni affinché tutte le informazioni disponibili siano raccolte, integrate, elaborate e messe in relazione per contribuire a creare un modello



dell'ambiente il più reale e affidabile possibile, partecipato e controllato dai diversi enti, ciascuno secondo le proprie competenze ed i propri ambiti. Il potenziamento, l'integrazione, e la corretta gestione delle tecnologie di telecomunicazioni wireless sono il punto di partenza necessario per attivare i nuovi servizi che si vogliono abilitare. In questa cornice di riferimento, nell'ambito del progetto Pegasus è stato concepito, negli anni 2009-2011, un *testbed* "Smart City" presso la Fondazione Alma Mater, anch'essa coinvolta nel progetto, orientato ai sistemi di illuminazione pubblica intelligenti. Allora la Fondazione Alma Mater era ospitata in Villa Pallavicini, dove alcuni locali erano stati acquisiti in affitto per ospitare una parte del personale e della strumentazione del WiLab. Il *testbed* prevedeva la prima rete operativa di 8 lampioni intelligenti che, con struttura mesh basata sullo standard IEEE 802.15.4, implementava di fatto, *in nuce*, un primo esempio di Smart city.

Furono dunque sperimentati, con tecniche di trasmissione di varia capacità (*low and high rate*) vari servizi, quali ad esempio *smart lighting*, video sorveglianza wireless, informazioni al cittadino, infomobilità, etc. Fu in particolare affinata la verifica sperimentale dei sistemi di trasporto intelligente sopra descritti.

Il Comune di Bologna, informato tempestivamente delle enormi possibilità di questi studi, non diede reazioni degne di nota.

### *Smart lighting*

Un'attenzione particolare fu poi dedicata al risparmio energetico nei sistemi di illuminazione pubblica, attraverso il telecontrollo dei lampioni basato su un'architettura di rete wireless di tipo *mesh*, completamente interfacciata con la rete mobile. Questa applicazione, particolarmente significativa per i costi di progetto e di installazione relativamente bassi, consente di controllare ogni lampione dotandolo della capacità di comunicare via radio con il sistema di gestione centrale, in rete, e permette di raggiungere risparmi dell'ordine del 35-40% annuo, come verificato sperimentalmente in un comune dell'Emilia-Romagna.

Al di là degli sviluppi imprenditoriali che ha determinato, testimoniati dalla nascita di una start-up, questa attività rappresenta un esempio significativo di quanto si possa fare per rendere intelligente la rete elettrica e le *smart grids*, che richiedono il monitoraggio del sistema elettrico con una spiccata capillarità al fine di controllare il servizio di erogazione dell'energia.

Appare chiaro che un sistema di telecomunicazioni wireless capace di controllare ogni singolo lampione e di acquisire dati sul suo funzionamento, consente al gestore della rete di illuminazione pubblica non solo l'ottimizzazione del suo funzionamento, con conseguente risparmio energetico, ma anche il monitoraggio puntuale delle condizioni operative della propria infrastruttura e la prevenzione dei guasti.

Inoltre la rete di telecomunicazioni wireless consente di raggiungere agevolmente, con costi contenuti, i seguenti obiettivi:

- definire servizi innovativi attraverso tecnologie intelligenti di monitoraggio, controllo, comunicazione;

- distribuire energia in modo efficiente, sostenibile, economicamente vantaggioso, e sicuro;
- facilitare la connessione e l'operatività di generatori elettrici eterogenei di qualunque dimensione e tecnologia;
- fornire ai consumatori strumenti per contribuire ad ottimizzare il funzionamento del sistema globale;
- dare ai consumatori maggior informazione e potere di scelta;
- ridurre significativamente l'impatto ambientale dell'intero sistema elettrico e aumentarne il grado di affidabilità e sicurezza.

Ricordo in proposito che la tecnologia dei pali intelligenti per lo *smart lighting*, basata su reti eterogenee pienamente controllate, si sta sviluppando rapidamente in diversi paesi occidentali e orientali. Il risparmio energetico è significativo ed è basato appunto sul controllo del *dimming* dei lampioni pubblici in relazione alle esigenze di servizio. Le reti *wireless mesh* progettate allo scopo servono a dare piena connettività tra i pali e, mediante uno o più *gateway* sono connesse in rete utilizzando la copertura cellulare. Ad oggi, ogni palo, oltre alla funzione primaria di illuminazione è progettato per una copertura locale orientata all'Internet of Things (per servizi vari quali ad esempio infomobilità per pedoni o utenti in bicicletta/auto, sensori di movimento, sensori per il rilevamento della spazzatura, etc.).

Nella sua generazione iniziale la rete è quindi a bassa capacità, con bassa latenza, progettata per trasmettere informazioni a *burst*, da consegnare con il ritardo minimo per garantire il servizio richiesto, unitamente ad un'opportuna priorità di servizio in relazione alle applicazioni da soddisfare.

#### *Sperimentazione di sistemi LoRa*

Nell'ambito della sperimentazione di sistemi di telecomunicazioni per scenari IoT (Internet delle cose), nel 2015 i ricercatori del WiLab hanno installato sulla torre della Scuola di Ingegneria un apparato ricetrasmittente (*gateway*) conforme alla tecnologia LoRa (Long Range). La tecnologia LoRa è complementare rispetto a quella dei pali intelligenti appena descritta ed è stata concepita per comunicare efficacemente su lunghe distanze con dispositivi a basso costo e bassa potenza, quali sensori ed at-



Figura 6. La stazione ricetrasmittente LoRa sulla torre della Scuola di Ingegneria.

tuatori, dispiegati su un ampio territorio (tipicamente una città). LoRa rappresenta, pertanto, uno dei primi esempi di tecnologie espressamente concepite per scenari IoT e Smart Cities. La precisa collocazione del *gateway* presso la sede della Scuola di Ingegneria è mostrata nella Fig. 6 che permette anche di apprezzare la felice condizione, in termini di propagazione elettromagnetica, sperimentata dall'apparato, che dominava la città di Bologna da un'altezza di 71 metri.

La sperimentazione ha permesso di individuare i limiti e i punti di forza di questa tecnologia e di identificare gli ambiti applicativi più indicati per il suo impiego.

### *I Sistemi di trasmissione digitali progettati con tecniche FPGA e il trasferimento tecnologico*

Le esperienze effettuate presso il WiLab sui primi sistemi Digital Signal Processor (DSP) telecontrollati e le prime sperimentazioni su sistemi maggiormente evoluti di tipo Field Programmable Gate Array (FPGA), hanno portato allo sviluppo di un progetto di ricerca sperimentale molto significativo che ha riguardato il sistema di trasmissione digitale terrestre, DVB-T, richiesto e finanziato da Metasystem S.p.a. (2006). Il progetto in esame era finalizzato al conseguimento dei seguenti obiettivi: progettazione e realizzazione di un modulatore per la diffusione televisiva digitale DVB-T/H mediante tecnologie programmabili, ad elevata flessibilità e telecontrollabile; progettazione e realizzazione di un transponder non rigenerativo con cancellatore d'eco digitale telecontrollabile; progettazione e realizzazione di una piattaforma per il telecontrollo degli apparati di trasmissione, definizione dei criteri di pianificazione di copertura nel caso di sistemi di diffusione televisiva e radiofonica digitale. Il progetto fu interamente sviluppato dai collaboratori, ricercatori ed afferenti al Laboratorio di comunicazioni wireless WiLab, e la buona riuscita e l'eccellente implementazione del sistema va senza dubbio attribuita alla capacità di integrare e creare le giuste sinergie tra tutti gli attori che hanno contribuito, ognuno con la propria esperienza, a studiare, sviluppare e validare l'intero progetto. I risultati, inclusi i *testbed* con telemisura, furono esposti a livello internazionale e in vari contesti industriali.

A mio avviso è importante ricordare che il WiLab è stato un interlocutore di riferimento per realtà industriali come Siemens, Philips, TIM, Inwit, Telesistemi Ferroviari, Almviva, Thales Alenia, Metasystem, Octotelematics, Cairo Networks, Mathworks, Sitael, etc. e le attività scientifiche – orientate anche alla sperimentazione – condotte nell'ambito di progetti nazionali e internazionali, in stretta collaborazione con importanti realtà industriali, hanno portato alla creazione di varie start up, tra le quali ricordiamo: Wi4B, Uniset, Neptune, Idesio.

### **2.17.6. Il *testbed* permanente nell'area di Ingegneria - *smart lighting* e 5G per nuovi servizi**

Sulla base di quanto mostrato in relazione alla rete di pali intelligenti, nati presso la Fondazione Alma Mater sin dal 2011 nell'ambito del progetto Pegasus, è stato pos-

sibile immaginare una prosecuzione ed un potenziamento dell'attività sperimentale per la creazione presso l'area della Facoltà di Ingegneria di un *testbed indoor e outdoor* per lo sviluppo di nuove tecnologie e nuovi servizi nella direzione del 5G ed oltre.

In particolare, lo spunto nasce dalla possibile convergenza della rete di pali intelligenti e della rete radiomobile che presenta l'innovazione tecnologica dei sistemi DAS (Distributed Antenna Systems), già installati nel 2017 a livello sperimentale nei locali WiLab, al I piano dell'edificio storico e nei corridoi del I e II piano. I sistemi DAS rappresentano una rete di nodi che includono antenne separate, in grado di fornire una copertura capillare wireless di una certa area geografica, e collegate da un mezzo comune, tipicamente la fibra ottica, alla rete cellulare.

L'obiettivo centrato dalle reti DAS è quello di fornire adeguata copertura di servizio attraverso la remotizzazione del traffico verso celle lontane, e con adeguato controllo dei livelli di campo e.m., che risultano assai limitati date le basse distanze di copertura.

A questo proposito vanno ricordate le seguenti considerazioni:

- La tecnologia dei pali intelligenti per lo *smart lighting* è ormai una realtà consolidata, utilizzata in diversi paesi occidentali e orientali. Il risparmio energetico, basato sull'adattamento dell'intensità luminosa alle reali esigenze, è di assoluto rilievo. Le reti *wireless mesh*, integrate con la rete cellulare, oltre a garantire la connettività tra i pali sono in grado di offrire copertura radio locale per servizi orientati all'Internet of Things, vero fondamento dello sviluppo delle realtà urbane nella direzione delle *smart cities*.

- In prospettiva, la rete di pali intelligente potrà estendere la propria funzionalità nella direzione della rete densa, secondo il criterio che sta alla base dell'ingegneria cellulare, nell'ottica di garantire alta capacità agli utenti densamente distribuiti. Si prefigura quindi una possibile integrazione nelle reti 5G, e successive, basate sulla tecnologia in fibra alle radio basi, sia per scenari indoor, sia outdoor, configurando un assetto di accesso wireless fisso a larga banda con funzione di ripetizione del segnale 5G.

- Si tratta quindi di valutare una possibile architettura in cui i pali smart possano ospitare laddove conveniente le radiobasi 5G con accesso in fibra e gli altri pali facciano funzione di ripetitori 5G (*outdoor*), mentre in scenari indoor la funzione dei pali verrebbe assunta dagli impianti di illuminazione *indoor*, garantendo la capacità richiesta).

La raccolta/trasmisione di informazioni su condizioni del traffico, consumi energetici, inquinamento atmosferico, disponibilità di parcheggi, disponibilità e posizione dei mezzi di trasporto pubblico, stato di riempimento dei cassonetti dei rifiuti, sono solo alcune delle innumerevoli applicazioni che una rete siffatta renderebbe possibili, divenendo essa stessa il sistema nervoso delle future città intelligenti.

È questo lo scenario che giustifica, a mio avviso, un *testbed* permanente in Facoltà, che potrà essere sviluppato con la collaborazione di alcuni attori industriali, già individuati, ma che dovrà essere aperta a tutti i gruppi industriali e di ricerca che vedano in questo scenario la possibilità di intervenire ed inserire idee e tecnologie, da testare adeguatamente per nuove architetture e servizi, secondo un ciclo virtuoso che metta la tecnologia in grado di soddisfare servizi via via sempre più sofisticati e di adeguata

affidabilità, nelle aree strategiche per il Paese quali infomobilità, pubblica sicurezza, turismo e cultura, efficienza energetica, agricoltura, industria 4.0, etc.

La ricerca potrà così spaziare dalle speculazioni teoriche per comprendere i limiti di certe tecnologie alle applicazioni verticali, come già realizzato in presso la Fondazione Alma Mater con riferimento alle *smart cities*.

La valenza del *testbed* sarebbe anche quella di creare visibilità sulle potenzialità del settore ICT e attrarre l'attenzione sull'area di Ingegneria con la creazione di una piattaforma multiservizio e multi tecnologia, in cui le nuove tecnologie si fondono con le richieste degli utenti per ottenere servizi e prodotti innovativi che aiutino a realizzare meglio i progetti di vita e di lavoro.

Partendo dalle competenze maturate in passato e dalle recenti sperimentazioni sui pali intelligenti, la concezione di un *testbed* permanente nei locali della Facoltà (*indoor* e *outdoor*) avrebbe dunque l'importante funzione di stimolare la ricerca di nuove applicazioni, servizi, architetture e formati trasmissivi nelle nuove bande di frequenza guardando ai sistemi 5G e oltre, nonché di far cooperare sul campo i ricercatori universitari con gli ingegneri delle industrie disponibili ad investire in ricerca e sviluppo.

La diffusione delle reti mobili con celle sempre più piccole ad alta densità di oggetti, richiederà sempre maggiore velocità nella trasmissione dei dati e quindi esigenza di nuove risorse spettrali e di circuiti di altissima frequenza a basso consumo, nonché lo studio di nuovi formati di trasmissione e nuove architetture di accesso per una corretta gestione delle risorse disponibili. I sistemi di localizzazione, con precisione crescente, potranno poi generare nuove applicazioni anche per disabili e non vedenti, e nuovi filoni di ricerca potranno essere sviluppati in riferimento a scenari non usuali, quali quello delle comunicazioni molecolari, apparentemente avulsi dal mondo classico delle Telecomunicazioni, ma in grado di utilizzarne i principi per una nuova modellistica e per nuovi algoritmi.

Purtroppo, dopo circa un anno e mezzo dalla concezione di questa proposta, va rimarcato come la burocrazia di Ateneo e l'eccesso di regolamentazione stiano frenando ad oggi la partenza di questo *testbed*, e quindi producano un rallentamento nello sviluppo della ricerca teorica e sperimentale.

### 2.17.7. Conclusioni

Questo contributo ha mostrato lo sviluppo delle attività sperimentali nel settore delle Telecomunicazioni, all'interno del WiLab, molte delle quali realizzate a livello di *testbed* all'interno della Facoltà di Ingegneria.

Le attività sperimentali hanno anche rappresentato uno stimolo per la ricerca di base, nell'ambito di un ciclo virtuoso che dalla sperimentazione porta alla concezione di nuove idee e quindi a nuove applicazioni sempre più sfidanti. Alla luce dell'evoluzione della tecnologia negli ultimi anni, si può affermare che oggi esiste un larghissimo numero di nuove applicazioni ICT basate sulla sintesi di reti eterogenee, facilmente sperimentabile dato il basso costo dei sistemi di elaborazione e di

trasmissione dell'informazione digitale, in diversi campi, quali ad esempio quello dei trasporti, dell'energia, della salute, dell'industria 4.0, dell'agricoltura, etc.

Questa visione integrata *application-oriented* stimola, dunque, da un lato la ricerca di base verso la valutazione di sistemi a frequenze sempre più elevate, per il collegamento di punti a brevissima distanza ed apre la strada, dall'altro, alle tecniche di *machine learning* per la definizione di sistemi sempre più evoluti, che si appoggino all'acquisizione, elaborazione e trasmissione di grandi moli di dati su cui ritagliare servizi a qualità differenziata.

In questo quadro di riferimento mi piace molto sottolineare l'importanza della valutazione numerica e della misura, come linea guida essenziale nella caratterizzazione delle prestazioni di sistemi complessi e per la validazione dei modelli teorici di tipo simulativo e/o analitico. Ciò si è sempre verificato nello studio dei sistemi wireless, sin dai primissimi anni Novanta in ambito GSM.

Riassumendo e cercando di pervenire ad un punto di sintesi, mi pare di poter concludere, dopo la lunga esperienza vissuta nella nostra Facoltà, in stretto contatto con il mondo industriale, che:

- la ricerca non può prescindere dalle verifiche sperimentali, visto il diffondersi di tecnologie anche a basso costo da cui trarre anche modelli matematici evoluti;
- la ricerca richiede sempre più la formazione di gruppi interdisciplinari, capaci di finalizzare lo studio a nuove applicazioni, e a tale riguardo, voglio rimarcare che la concezione di nuove applicazioni deve seguire un approccio fondato sul "know why", in modo che i sistemi a complessità crescente vengano progettati adeguatamente per il controllo delle prestazioni, secondo una logica ben collaudata dell'integrazione di sottosistemi di prestazioni note e misurabili, soprattutto nella visione dei sistemi auto riconfigurabili.

Venendo alla valutazione delle attività di ricerca:

- a mio avviso occorre valutare l'attività di gruppi di ricerca di dimensioni significative, che si formino spontaneamente, e si autoconfigurino seguendo all'interno le linee guida dei coordinatori che li rappresentano verso l'esterno;
- mi pare profondamente sbagliato, illusorio e fuorviante selezionare il singolo ricercatore e pretendere di valutare la sua competenza a prescindere dal gruppo di ricerca che lo ha formato;
- va ricordato, a rafforzamento delle idee precedentemente esposte, il ruolo dei consorzi di ricerca con ragguardevoli dimensioni, che hanno flessibilità e ricchezza di competenze per competere a livello internazionale;
- è auspicabile che anche le Scuole e/o i Dipartimenti di Ingegneria ritornino a coordinarsi a livello nazionale per condizionare l'erogazione dei miseri finanziamenti governativi, stimolando la rimozione dei finanziamenti a pioggia, a favore di un'ottica mirata allo sviluppo del Paese.

Per quanto concerne la didattica:

- l'attività va impostata con una opportuna enfasi ai laboratori, da iniziare anche nei corsi di base, specie se erogati ad una platea di studenti molto varia, come capita nei corsi di Laurea Magistrale a livello internazionale;

- i docenti e i ricercatori hanno l'opportunità, dati i costi contenuti di nuove tecnologie, di utilizzare circuiti e sistemi per favorire la formazione dello studente attraverso un opportuno contatto con la realtà sperimentale, o per ricerche su nuove applicazioni, che devono però partire dalla dimestichezza con il livello fisico;

- i contenuti teorici, indispensabili alla formazione dell'ingegnere ICT, devono essere a largo spettro, a parere di chi scrive, in quanto oggi le nuove applicazioni richiedono un'integrazione di componenti HW e SW, di algoritmi per l'acquisizione, l'elaborazione, la trasmissione e la gestione dell'informazione.

Tutto ciò considerato, occorre far pervenire a chi è alla guida del Paese il seguente messaggio:

- la Facoltà di Ingegneria ha bisogno di investimenti cospicui anche per laboratori sperimentali – uomini-spazi-strumentazione (nel passato tali finanziamenti sono stati spesso messi a disposizione della didattica attraverso un uso adeguato dei fondi di ricerca ottenuti dall'esterno) e soprattutto flessibilità nella gestione dei fondi, esattamente al contrario di quanto succede oggi;

- in un'epoca di scarse disponibilità economiche, si auspica, come già segnalato al Rettore, che l'area ICT venga adeguatamente finanziata, anche per potenziare gli ingressi a Ingegneria, e quindi la produzione del capitale umano indispensabile per lo sviluppo del Paese;

- una possibilità da seguire è quella dell'azzeramento delle tasse di iscrizione ai corsi di studio di Ingegneria a carattere tecnologico, nell'ottica di favorire lo sviluppo delle aziende con l'immissione nel mondo del lavoro di giovani ingegneri capaci a tal punto da essere spesso richiesti dalle aziende e università europee e internazionali.

Auspico infine che i docenti e i ricercatori acquisiscano maggiore consapevolezza del proprio ruolo centrale, di vero motore della ricerca scientifica e della didattica, e si possano così riposizionare al centro del sistema universitario, con adeguato ridimensionamento dell'eccessivo potere assunto dall'amministrazione.

### ***Ringraziamenti***

Al termine della mia permanenza in ruolo, voglio rivolgere un saluto ed un augurio a tutti gli studenti, gli allievi, i colleghi, i collaboratori che ho avuto la fortuna ed il piacere di incontrare durante la mia attività, e ricordare in particolare, all'interno del WiLab, gli allievi Marco Chiani, Roberto Verdone, Velio Tralli, Gianluca Mazzini, Davide Dardari, Andrea Conti, Gianni Pasolini, Andrea Giorgetti, Cristina De Castro, Alberto Zanella, Barbara Masini, Alessandro Bazzi, Flavio Zabini, e tra i tanti collaboratori esterni, assunti per lo più con i fondi dei progetti di ricerca: Paolo Toppan, Andrea Toppan, Alberto Barigazzi, Raffaele Siroli, Nicola Ladisa, Alberto Roversi, Raffaele Soloperto, Cesare Fontana, Gianluca Bruni, Claudio Donzelli, Fabio Mantovani, Filippo Marangoni, Giovanni Chiurco, Matteo Mazzotti, Rudi Bandiera, Andrea Ravaoli, Chiara Balzanelli, Laura Toni, Cristina La Palombara, Giacomo Leonardi, Thomas Pavani, Claudio Gambetti, Paolo Bernardi, Paolo Torregiani, Mirko Mirabella.

A tutti loro va il mio sincero ringraziamento per avere stimolato il mio impegno all'interno di questa Facoltà. A tutti loro, l'augurio di poter continuare con successo la propria carriera, nello spirito della tradizione scientifica e dell'insegnamento che i Maestri hanno saputo trasmettere.

## Riferimenti

- [1] “WILAB”, 10 Dicembre 2018. [Online]. Available: <http://www.wilab.org>.
- [2] Annuario Statistico Italiano 2013 – Cap. 19 Trasporti e telecomunicazioni.
- [3] Ericsson, “Ericsson Mobility Report November 2018”.
- [4] Progetto PROCOM (finanziato dal Progetto Finalizzato Trasporti 2), 1987-1993.
- [5] O. Andrisano, G. Vannini, C. Caini, G. Mazzini e C. Sartori, *La rete PROMETHEUS: Struttura e servizi*, Università degli studi di Bologna, 1994.
- [6] O. Andrisano, M. Chiani, A. Conti, C. Fontana, A. Giorgetti, D. Dardari, G. Mazzini, G. Pasolini, R. Verdone, V. Tralli e A. Zanella, *Il contributo di CSITE e CNIT alla rete di Facoltà: dalla rete ottica FDDI alle reti wireless*, Università degli Studi di Bologna, 2002.
- [7] Progetto LabNet, CNIT-MIUR, 1999-2002.
- [8] Progetto TELED0C2 (progetto CNIT-2003-2006, coordinato dal professor O. Andrisano dell'unità CNIT di Bologna).
- [9] Progetto Multimedialità, coordinato dal professor Oreste Andrisano, 1999, 2003.
- [10] Progetto VICOM, coordinato dal professor Francesco Vatalaro, Università di Tor Vergata.



## 2.18. ESORDIO E SVILUPPO DELLE DISCIPLINE E DEI SERVIZI INFORMATICI NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA

*Maurelio Boari*

### **Premessa**

Il termine italiano “informatica” deriva da quello francese “informatique”, (*informat(ion) automatique*), la cui introduzione viene attribuita al francese Philippe Dreyfus della Compagnie des machines Bull nel 1962. Va tuttavia ricordato che già nel 1957 l’informatico tedesco Karl Steinbuch aveva introdotto la parola “Informatik” pubblicando un documento chiamato *Informatik: Automatische Informationsverarbeitung (Informatica: lavorazione automatica di informazione)*. In Italia il termine “informatica” viene utilizzato per la prima volta nel 1968.

Rispetto alla locuzione inglese *computer science*, apparsa per la prima volta in un articolo delle Communications of ACM nel 1959, il termine “informatica” sposta l’accento dallo strumento, l’elaboratore elettronico, all’oggetto immateriale da esso trattato, l’informazione.

### **2.18.1. Introduzione**

Prima di passare all’analisi della nascita e della diffusione dei sistemi e delle applicazioni informatiche nella nostra Facoltà di Ingegneria, è utile soffermarsi sulle radici più o meno remote da cui tale diffusione germogliò.

Negli anni precedenti e immediatamente successivi alla Seconda guerra mondiale si sviluppò in Italia, in ambienti di ricerca ed accademici, una diffusa attenzione ai metodi e alle tecniche di calcolo numerico e alla loro applicazione alla soluzione di problemi fisici di notevole complessità.

Questo sviluppo avvenne in ambienti sia ingegneristici che matematici. Come ben ricordato da Luigi Dadda nei suoi lavori *Il centro di calcoli numerici e l’introduzione delle discipline informatiche al Politecnico di Milano* e *Ricordi di un informatico* contenuti in [1], venne ufficialmente costituito nel 1954, presso il Politecnico di Milano, il Centro Calcoli Numerici, fortemente voluto dall’allora Rettore Gino Cassinis, che portava così a compimento un progetto ideato fin dal 1941.

Grande rilevanza ebbe nel 1932 poi la fondazione a Roma, nell’ambito del CNR, dell’INAC (Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo) ad opera di Mario Picone [1], che acquistò nel tempo sempre maggiore rilevanza anche a livello internazionale, tanto da consentire a Roma di guadagnarsi l’assegnazione dell’ICC (International Computation Center), costituito in seno all’Unesco.

Non a caso i due centri indicati furono, come vedremo, la sede dell’installazione dei primi calcolatori elettronici in Italia.

Maggiori dettagli sulla formazione dei due centri e sulla loro evoluzione si possono trovare nei lavori di Corrado Bonfanti e Marcello Morelli [2-3], e più in generale nei numerosi lavori pubblicati sul tema da AICA (Associazione Italiana per l'Informatica), in atti di convegni e sulla rivista "Mondo Digitale", a cui si farà spesso riferimento nel seguito di questo lavoro.

Va tuttavia sottolineato come furono frequenti i casi nei quali la complessità dei problemi che si intendevano affrontare rendeva impossibile o particolarmente difficile la loro soluzione per via numerica. Tali problemi richiedevano spesso l'integrazione di sistemi di equazioni differenziali per i quali era necessario evitare l'esecuzione manuale dei lunghi procedimenti di calcolo che obbligavano ad un lavoro noioso e ripetitivo spesso richiedendo nel contempo una notevole precisione.

I primi strumenti a cui fu fatto riferimento negli anni a cavallo della Seconda guerra mondiale furono i calcolatori analogici. Senza voler entrare qui in una descrizione dettagliata del funzionamento di tali sistemi, per la quale si rinvia alla bibliografia specializzata, vengono riportate alcune proprietà dei calcolatori analogici dello stesso tipo di quelli che, come vedremo, verranno impiegati nella Facoltà. Innanzitutto va precisato che per il modo stesso di operare, i calcolatori analogici risultavano particolarmente adatti alla soluzione di equazioni differenziali e presentavano i vantaggi di velocità di calcolo, di costo relativamente modesto e di essere abbastanza semplici da programmare.

Tra i primi significativi esempi di applicazione dei calcolatori analogici si ricorda il loro impiego per la risoluzione, durante la Seconda guerra mondiale, di sistemi di equazioni differenziali per effettuare calcoli di traiettorie balistiche [4]. Negli anni successivi si ebbe una notevole diffusione dei calcolatori analogici le cui prestazioni furono via via notevolmente migliorate in termini di precisione, velocità di calcolo ed alla disponibilità di dispositivi per predisporre il problema, dispositivi di controllo, misura ed osservazione e registrazione dei risultati<sup>1</sup>.

## 2.18.2. Facoltà di Ingegneria: i primi passi

Coerentemente con quanto indicato precedentemente ed in linea con quanto accadeva in altre università italiane, i primi passi verso l'utilizzo di sistemi di calcolo automatico presso la nostra Facoltà di Ingegneria fu fatto nella direzione dei calcolatori analogici.

---

<sup>1</sup> Si vuole qui ricordare che caratteristica fondamentale dei calcolatori analogici è che le grandezze trattate, siano esse tensioni, lunghezze o angoli sono in grado di assumere con continuità tutti i valori compresi in un certo intervallo. In altre parole, a differenza di quanto avviene per i calcolatori digitali che eseguono operazioni numeriche su variabili discrete, il calcolatore analogico opera su variabili continue. Un calcolatore analogico era costituito da un insieme di integratori realizzati tramite l'utilizzo di circuiti elettronici (il circuito classico di riferimento era l'amplificatore operazionale). Oltre agli integratori erano presenti apparati per la realizzazione di altre operazioni elementari (addizionatori, potenziometri, moltiplicatori, etc.) e per la generazione di particolari funzioni. Questi componenti venivano interconnessi, utilizzando un apposito pannello, per realizzare un modello fisico del sistema da studiare. Dall'osservazione del comportamento del modello era possibile risalire al funzionamento del sistema fisico.

Pioniere di questo cammino fu il professor Giuseppe Evangelisti che fin dagli anni quaranta si occupava di problemi di Controlli Automatici e Teoria dei Sistemi quando ancora tali discipline non erano state sviluppate<sup>2</sup>. Tra tutti i suoi lavori va ricordato in questa sede il celebre trattato sulla regolazione delle turbine idrauliche (1947). Per la soluzione dei complessi modelli matematici in questa come in altre applicazioni il professor Evangelisti si trovò di fronte alle difficoltà imposte da una trattazione puramente analitica dei problemi che trovava un limite nelle eccessive complicazioni delle formule risoltrici. D'altra parte la visione e la discussione dei problemi erano condizionate da un vasto programma di esplorazioni numeriche per cui si rendeva indispensabile il ricorso a sistemi automatici di calcolo ("macchine calcolatrici").

In una lettera indirizzata alla Facoltà nel dicembre del 1950 il professor Evangelisti, dopo aver ricordato i passi fondamentali compiuti nello studio dei problemi di regolazione delle centrali idroelettriche considerate nel loro complesso ed i problemi fondamentali ancora aperti oggetto di ricerca mette in evidenza come «I problemi sopraelencati hanno in comune una caratteristica: l'elevato numero di gradi di libertà. Ed è appunto per tale motivo che la trattazione puramente analitica trova un limite nella eccessiva semplificazione delle formule risoltrici; mentre d'altro canto la discussione e la visione del problema sono condizionate ad un vasto programma di esplorazioni numeriche. È appunto questo il campo in cui il computer analogico entra in considerazione come strumento di indagine non tanto utile quanto praticamente indispensabile. Onde si può ben affermare che le ricerche in programma importeranno una immediata, sistematica e prolungata utilizzazione della calcolatrice analogica. Anzi, senza l'intervento di un simile strumento, il programma esposto sarebbe destinato ad una sostanziale decurtazione, se non a rimanere addirittura lettera morta».

Fu quindi su proposta del professor Giuseppe Evangelisti, allora direttore dell'Istituto di Costruzioni Idrauliche, e del professor Aristide Prosciutto, direttore dell'Istituto di Macchine<sup>3</sup>, che il Consiglio di Facoltà decise la destinazione di fondi ERP all'acquisto della prima calcolatrice elettronica, un'analogica Philbrick.

Il 13 maggio 1951 la calcolatrice viene inaugurata e sistemata in una *Sala Calcoli* presso la Biblioteca di Facoltà, la cui direzione fu affidata al professor Evangelisti (Fig. 1).

Una descrizione delle caratteristiche della calcolatrice analogica è contenuta in un articolo del dicembre 1951 scritto su incarico della Facoltà dal professor

---

<sup>2</sup> Non è questa la sede per ricordare la figura di grande scienziato e di uomo di grande valore umano del professor Evangelisti. Rinviamo per una descrizione della sua figura, delle sue opere e dei suoi contributi nei settori scientifici in cui era riconosciuto Maestro, tra gli altri ai lavori [5], [6], voglio qui soltanto riportare quanto scritto dal professor Antonio Lepschy [7]: «Di Giuseppe Evangelisti [...] abbiamo avuto la fortuna di fare ben presto la conoscenza e rimanemmo ammirati non solo della sua preparazione scientifica e tecnica (in grazie alla quale fu chiamato, distinzione rara tra gli ingegneri, a far parte della accademia dei Lincei), ma anche della larghezza dei suoi interessi, della sua vasta cultura generale, della finezza del suo tratto, della sua profonda e gioviale umanità [...]. Ne serbo un ricordo carissimo e mi piace annoverarlo almeno idealmente (dato che non ero stato allievo dei suoi corsi) fra i miei Maestri».

<sup>3</sup> Si vedano le Figg. 6-7 del contributo di Giovanni Marro, *infra*.

Zanobetti [8]. In esso sono descritti i singoli operatori componenti dei quali sono dati i circuiti e le curve di risposta e sono riportati alcuni esempi di circuiti di calcolo atti ad illustrare l'impiego della macchina.

Negli anni successivi crebbe all'interno della Facoltà l'interesse per l'utilizzo di strumenti per il calcolo automatico. Furono presi in esame numerosi problemi di

interesse per l'elettrotecnica, l'idraulica, la fisica teorica, fornendo la soluzione di equazioni e sistemi di equazioni differenziali ordinarie ed alle derivate parziali, con speciali condizioni iniziali e al contorno.

Per fare fronte alle crescenti necessità di più settori della Facoltà, nel 1955 fu deciso sempre su iniziativa del professor Evangelisti, di destinare fondi ministeriali per l'acquisto di un nuovo tipo di calcolatore analogico, la Bendix D-12, rientrante nella categoria dei calcolatori "ibridi" caratterizzati dalla presenza di circuiti digitali accanto ai tradizionali di tipo analogico.

Tali calcolatori (Digital Differential Analyzer, DDA) risultavano particolarmente adatti per la soluzione di problemi differenziali ossia per l'integrazione di equazioni differenziali. Erano caratterizzati da una più semplice programmazione e maggiore velocità di calcolo a parità di precisione al confronto con quelli puramente analogici [9-10-11]. La calcolatrice Bendix venne installata nella Sala Calcoli nel 1956<sup>4</sup>.

Nel gennaio del 1957 il Consiglio di Facoltà decise unanime di costituire un Centro Calcoli con propria dotazione annua, sede apposita, patrimonio bibliografico ed attrezzature scientifiche. Al nuovo Centro, che prenderà il nome di Centro Calcoli e Servomeccanismi e la cui direzione fu affidata al professor Evangelisti, vennero assegnati dalla Facoltà nuovi spazi anche in vista del passo successivo che prevedeva l'installazione del primo calcolatore digitale, l'IBM 650, che richiedeva una struttura adeguata in termini di spazio, di potenza elettrica installata e personale adibito specificamente al suo funzionamento [6].

L'attività del Centro Calcoli e Servomeccanismi andò, come si vedrà, man mano concentrandosi sull'utilizzo dei calcolatori elettronici digitali anche se l'utilizzo dei calcolatori analogici e analogico digitali continuò ancora per alcuni anni anche grazie all'acquisto di una nuova calcolatrice analogica, Pace 231R, nei primi anni Sessanta.

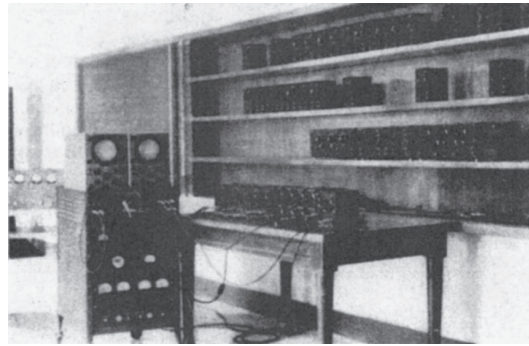


Figura 1. La calcolatrice analogica Philbrick.

<sup>4</sup> Il calcolatore Bendix D-12 installato presso la Sala Calcoli della Facoltà aveva le seguenti caratteristiche: 1) Sistema numerico: decimale; 2) Numero di cifre: 7 cifre decimali; 3) Capacità: 60 integratori; 4) Metodo di integrazione: trapezoidale; 5) Velocità: 100 operazioni integrali al secondo; 6) Introduzione programmi: a mezzo nastro perforato; 7) Uscita: a mezzo scrivente o registratore grafico o nastro perforato; 8) Operatori aritmetici particolari: addizionatori, moltiplicatori, etc.

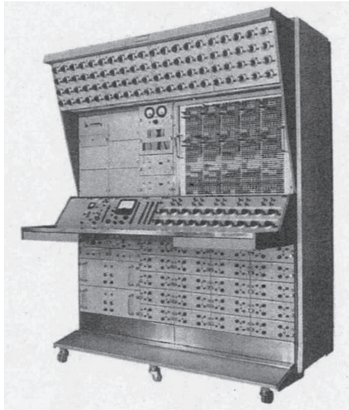


Figura 2. La calcolatrice analogica Pace 231R.

La calcolatrice Pace 231R fu per lungo tempo il calcolatore analogico più diffuso nel mondo in applicazioni scientifiche e industriali e continuò ad essere attiva fino alla fine degli anni Settanta e ai primi degli anni Ottanta. Nell'ambito del Centro Calcoli e Servomeccanismi venne utilizzata in particolare nel settore dei Controlli Automatici (Fig. 2).

Il successivo sviluppo dell'informatica presso la Facoltà nella direzione dell'utilizzo dei calcolatori digitali, nel campo dell'insegnamento e della ricerca nel settore, fu fortemente influenzato da quanto a metà degli anni Cinquanta accadde in alcuni centri di ricerca, università ed industrie italiane. Si ritiene quindi importante a questo punto

ricordare, se pur sommariamente, come nacquero e come si svilupparono le prime iniziative nel settore informatico in Italia. Esiste a questo proposito una vasta bibliografia a cui si è fatto ampio riferimento [1], [2], [12], [13], [14].

### 2.18.3. L'anno zero dell'informatica italiana

Se si volesse fissare una data di nascita dell'informatica in Italia non si potrebbe che individuarla tra la fine del 1954 e l'inizio del 1955. In quel periodo si avviarono, infatti, quattro iniziative, tre delle quali in campo universitario e di centri di ricerca che riguardarono rispettivamente il Politecnico di Milano, l'Università di Pisa e l'Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo di Roma (INAC) ed una nel settore industriale con l'attività svolta dalla Società Olivetti.

Nel caso del Politecnico di Milano e dell'INAC fu prevalente la decisione di procedere all'acquisto di un calcolatore tra quelli già operanti in sede internazionale, ritenendosi di notevole interesse sia nel campo della ricerca che in quello industriale la possibilità di affrontare a breve termine la soluzione di complessi problemi di calcolo numerico. L'Università di Pisa e la Olivetti decisero invece di procedere alla costruzione in sede locale di un nuovo calcolatore ritenendo prevalenti le ricadute in termini di diffusione della competenza nel settore informatico.

Va comunque precisato che anche nel caso dell'acquisto di calcolatori "pronti per l'uso" fu necessario sviluppare una notevole competenza nel settore in quanto nessuno dei produttori era allora in grado di fornire sul posto un servizio di manutenzione, laddove la componentistica richiedeva interventi quasi giornalieri per diagnosticare, localizzare e riparare i guasti circuitali. Era dunque inevitabile – e accettato come normale – il fatto che il cliente dovesse disporre di un gruppo di esperti elettronici che svolgessero queste mansioni sulla base di una capillare conoscenza dell'hardware.

Il calcolatore scelto dal Politecnico fu un CRC 102A prodotto dalla NCR (National Cash Register) negli Stati Uniti. Fu il primo elaboratore elettronico ad entrare in funzione sul territorio italiano (31 ottobre 1955)<sup>5</sup>.

A Roma, presso l'INAC, venne invece acquistato un calcolatore Ferranti Mark1\* prodotto dalla Ferranti Ltd che venne chiamato FINAC (Ferranti INAC).

Differente fu, come si è detto, la soluzione adottata dall'Università di Pisa e contemporaneamente dall'Olivetti. In entrambi i casi, anche se con modalità e finalità diverse si arrivò alla progettazione integrale di un nuovo calcolatore, rispettivamente la CEP (Calcolatrice Elettronica Pisana) progettata per applicazioni in campo scientifico e l'ELEA destinata ad applicazioni di tipo commerciale.

Anche se gli inizi delle quattro iniziative ebbero tempi concomitanti, differenti furono i settori di applicazione ed i tempi di realizzazione.

Mentre le macchine installate presso il Politecnico di Milano e presso l'INAC furono operative da subito e poterono essere immediatamente utilizzate per calcoli applicati ai più svariati problemi scientifici e tecnici, con importanti ricadute anche in campo economico ed industriale, la via della "cultura progettuale" che caratterizzava l'iniziativa dell'Università di Pisa e la via della "cultura industriale" che era propria di una importante società come l'Olivetti, comportarono necessariamente tempi di progettazione e costruzione di nuove macchine più lunghi. Una prima versione ridotta della CEP fu pronta nel 1958 e la macchina completa nel 1960. I prototipi ELEA 9000 della Olivetti furono operativi dal 1957 ed il primo esemplare di serie venne consegnato nel 1959.

Nel seguito verranno riportate alcune considerazioni relativamente allo sviluppo di queste due ultime iniziative per gli importanti risvolti che esse ebbero nello sviluppo del settore dell'informatica italiana.

### ***La Calcolatrice Elettronica Pisana (CEP) e la collaborazione con Olivetti***

Nella esperienza vissuta presso l'Università di Pisa ebbe un ruolo fondamentale il professor Enrico Fermi al quale fu richiesto un parere sulla scelta di uno strumento di carattere nazionale che avrebbe dovuto accrescere il patrimonio scientifico dell'Università. L'indicazione del professor Fermi fu a favore della costruzione di una calcolatrice elettronica. In una lettera inviata all'allora Rettore dell'Università di Pisa, professor Avanzi, Fermi sostenne che la apparecchiatura in questione avrebbe costituito «un mezzo di ricerca di cui si avvantaggerebbero, in modo oggi quasi inestimabile,

---

<sup>5</sup> L'installazione del calcolatore fu curata in modo particolare dal professor Dadda che su incarico del Centro di Calcoli Numerici del Politecnico si recò negli Stati Uniti per partecipare alla costruzione della CRC 102A in modo da poter apprendere le nozioni relative al suo funzionamento ed alla sua programmazione. Viene riportato [2] che al porto di Genova il professor Dadda dovette utilizzare tutta la sua diplomazia per evitare che i finanziari smontassero tutte le valvole del calcolatore che si trovava nella stiva della nave e che difficilmente avrebbero funzionato dopo una simile operazione. La legge dell'epoca prevedeva infatti che su ogni singola valvola venisse applicato un bollino a testimonianza del pagamento di una tassa allora in vigore su questi dispositivi. Alla fine i finanziari accettarono di consegnare al professor Dadda le fascette affinché venissero applicate subito dopo il trasporto del calcolatore a Milano.

tutte le scienze ed indirizzi di ricerca» e che avrebbe portato vantaggi a «a studenti e studiosi che avrebbero avuto modo di conoscere ed addestrarsi nell'uso di questi nuovi mezzi di calcolo». L'intervento del professor Fermi fu decisivo nel dibattito nell'Ateneo Pisano sia sull'opportunità di investire fondi su una terza macchina calcolatrice italiana (dopo quelle di Milano e Roma), sia sulla decisione di procedere alla sua completa realizzazione (hardware e software) nell'ambito dei centri di ricerca pisani<sup>6</sup>.

Prevalsero coloro che sostenevano che grazie ad un progetto interamente italiano si sarebbero avuti ulteriori vantaggi in termini di conoscenza di questa nuova branca della tecnologia che era fino ad ora dominio quasi incontrastato del mondo anglosassone.

L'esperienza pisana si concretizzò con la realizzazione nel 1957 di una prima versione del nuovo calcolatore CEP utilizzata da subito per il calcolo scientifico e che precedette di tre anni la versione finale inaugurata nel novembre del 1961, alla presenza dell'allora Presidente della Repubblica Giovanni Gronchi, con un ritardo di un anno rispetto al piano di lavoro [14].

Per la realizzazione della calcolatrice fu istituito il *Centro Studi sulle Calcolatrici Elettroniche* (C.S.C.E.). Poiché la somma disponibile non fu ritenuta sufficiente a coprire le spese del progetto fu chiesto l'aiuto oltre che del INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) anche della Società Olivetti. La richiesta di collaborazione ad Olivetti trovò una pronta accoglienza da parte di Adriano Olivetti che da tempo aveva percepito l'opportunità, anzi la necessità strategica, che l'azienda avviasse un'attività industriale nel settore dei calcolatori elettronici per impieghi commerciali. Olivetti si associò quindi all'iniziativa pisana e nel 1955 firmò una convenzione con l'Università a cui offrì un sostegno finanziario ed il supporto dei suoi tecnici. Venne costituito e distaccato a Pisa un Laboratorio di Ricerche Elettroniche, guidato da Mario Tchou, un brillante scienziato trentenne di famiglia italo-cinese che lo stesso Adriano Olivetti aveva conosciuto alla Columbia University e con la collaborazione di personale proveniente da centri di ricerca inglesi ed americani con esperienze nel progetto dei primi calcolatori elettronici.

La storia della esperienza Olivetti, i risultati raggiunti e la loro non felice conclusione costituiscono un argomento ben noto sul quale molto è stato scritto [1, 2]. Si vuole qui soltanto mettere in evidenza come, pur nella differenza degli obiettivi finali, i rapporti stabiliti fin dal 1955 tra Olivetti e Università di Pisa abbiano rappresentato un capitolo centrale per lo sviluppo dell'informatica in Italia<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> L'Università di Pisa ebbe a disposizione in quegli anni una grossa cifra derivante dai contributi delle province di Pisa, Livorno e Luca destinata inizialmente alla costruzione di un elettrosincrotrone nazionale (progettato dall'Istituto di Fisica di Pisa). Davanti alla decisione, in sede nazionale, di costruire l'elettrosincrotrone a Frascati, si pose il problema a cosa destinare la cifra a disposizione. Nell'estate del 1954 durante la Scuola Estiva Internazionale di Varenna al professor Fermi venne posto il quesito da parte dei ricercatori dell'Istituto di Fisica di Pisa Marcello Conversi e Giorgio Salvini. Seguì un contatto ufficiale, mediante scambio di lettere, tra Fermi e il Rettore dell'Università di Pisa, professor Avanzi, nel quale Fermi espresse la sua convinzione a favore della calcolatrice elettronica [16]. Fermi morì dopo tre mesi dall'invio della lettera (8 novembre 1954).

<sup>7</sup> Pur continuando la collaborazione con l'Università, Olivetti decise di lanciare un proprio progetto per la realizzazione di un calcolatore per scopi industriali e commerciali. Nel 1957 venne prodotta la prima

Per concludere, si riporta di seguito un commento apparso sulle *Communications of ACM* del giugno del 1961 dedicato alla presentazione della CEP e delle sue avanzate caratteristiche tecnologiche: «unfortunately the CEP was not completed earlier than 1960, before the large scale importation of foreign computers, when it might have had a wider influence on computers and computers application in Italy».

Comunque, la realizzazione del progetto ebbe una straordinaria importanza sulla diffusione della cultura informatica in Italia. Al progetto parteciparono numerosi studiosi provenienti da vari ambienti di ricerca italiani. Il Centro Studi sulle Calcolatrici Elettroniche si trasformò nel 1968 in Istituto di Elaborazione dell'Informazione (IEI), importante organo del CNR con sede a Pisa. Precedentemente, nel 1965, venne fondato il C.N.U.C.E. (Centro Nazionale Universitario di Calcolo Elettronico) con la funzione di Centro di Calcolo dell'Università e sulla base di un accordo con il Centro Scientifico dell'IBM.

Fondamentale fu l'istituzione del primo corso di laurea in Scienza dell'informazione, avviato nel 1969 e poi seguito da quelli di molte altre università.

#### 2.18.4. Il primo calcolatore elettronico digitale presso la Facoltà

Come già accennato al termine del secondo paragrafo, anche alla luce di quanto stava avvenendo presso altre università e per fare fronte ad una sempre crescente richiesta di calcolo automatico nella Facoltà alla fine degli anni cinquanta divenne concreta la prospettiva di installare presso il Centro di Calcoli un primo calcolatore elettronico di tipo completamente digitale. Su l'esempio di quanto stava avvenendo presso l'Università di Pisa molti pensavano allora di costruire in casa i nuovi calcolatori, ma in generale spaventava l'idea degli elevatissimi costi previsti ed ancor più dalle difficoltà della loro manutenzione. Così fu anche per l'Università di Bologna. La situazione fu sbloccata da un intervento del professor Gianni Puppi, allora direttore della sezione INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) di Bologna.

Il professor Puppi aveva bisogno di disporre di un elaboratore elettronico, sia per i calcoli relativi agli esperimenti con la camera a bolle che il professor Bassi stava effettuando, sia per i calcoli di traiettorie degli astrofisici [15]. La diffusione a livello mondiale del calcolatore IBM 650, la cui prima installazione risale al dicembre 1954 negli Stati Uniti e di cui ne furono vendute circa 2000 installazioni fino al 1962, nonché le favorevoli condizioni economiche (per allora) e la manutenzione garantita da IBM, fecero sì che la scelta si orientò verso quella macchina. La cifra di 100 milioni necessaria per l'acquisto fu coperta dapprima utilizzando due delle rate annuali di 50 milioni ciascuna che il Comune di Bologna (sindaco Dozza) aveva

---

versione del calcolatore ELEA (Elaboratore Elettronico Aritmetico) basata su valvole termoioniche e nel 1959 fu messa in commercio la sua versione completamente transistorizzata. La morte di Adriano Olivetti prima (1960) e di Mario Tchou (1961) dopo, favorirono il rallentamento del progetto fino alla vendita nel 1964 dell'intera divisione elettronica a General Electric.



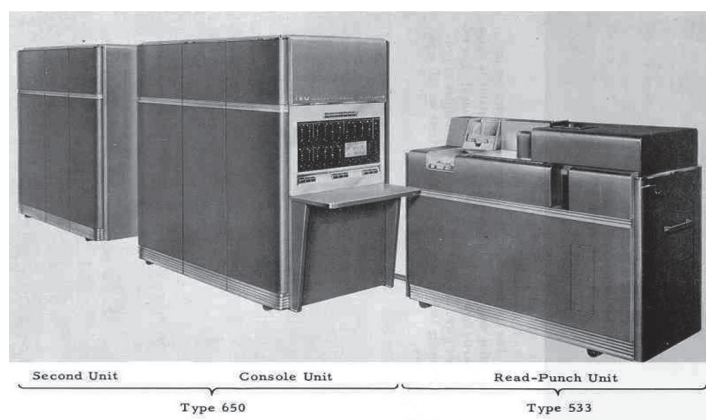


Figura 3. Il calcolatore IBM 650.

destinato a promuovere le ricerche nel campo della fisica e successivamente con uno stanziamento di oltre 100 milioni a favore della Facoltà di Ingegneria da parte dell'allora Ministro della Pubblica Istruzione Aldo Moro (liberando in tal modo le somme del contributo del Comune di Bologna).

Il calcolatore installato alla fine degli anni Cinquanta presso il Centro Calcoli e Servomeccanismi della Facoltà veniva utilizzato a tempo pieno, in tre turni distinti, dalla Facoltà, dalla Scuola di Specializzazione in Ingegneria Nucleare e dal CNRN e dall'Istituto di Fisica e di Astronomia (Fig. 3).

Per una descrizione completa delle caratteristiche dell'IBM 650 si rimanda a [16]. Basta qui ricordare che al momento della sua installazione le prestazioni dei calcolatori elettronici erano molto ridotte sia come tempi di esecuzione, sia come capacità di memoria, sia come facilità di programmazione<sup>8</sup>.

Fu creato, sotto la guida del professor Remo Rossi, un primo nucleo di analisti e programmatori specializzati nell'uso del calcolatore e ebbe inizio un servizio per gli Istituti della Facoltà che andò via via qualificandosi ed espandendosi.

### 2.18.5. Lo sviluppo negli anni Sessanta e Settanta

Il passo successivo fu quello di adottare a metà degli anni Sessanta un nuovo calcolatore con maggiori prestazioni rispetto all'IBM 650. Venne scelto l'IBM 1620 [17] che oltre ad una maggiore potenza di calcolo ed una maggiore dimensione di memoria presentava il vantaggio di poter utilizzare un linguaggio di programmazione, il Fortran, che sarebbe diventato uno standard per il calcolo scientifico. Il nuovo calcolatore era dotato

<sup>8</sup> I tempi per eseguire le singole operazioni aritmetiche erano di 1,63 msec per addizione e sottrazione, dei 12,96 msec per la moltiplicazione, di 16,90 msec per la divisione. La memoria centrale aveva una capacità di 2000 parole (10 digit più il segno). Tempo di accesso di 2,5 msec. La CPU poteva interpretare 44 tipi di operazioni. La memoria secondaria era costituita da un tamburo magnetico rotante. Veniva utilizzato per la programmazione un semplice linguaggio di tipo simbolico che prevedeva la rappresentazione delle singole operazioni tramite due digit per il codice, 4 per l'indirizzo dell'operando e 4 per l'indirizzo della prossima istruzione.



*Figura 4. Il calcolatore IBM 1620.*

di una memoria di massa a dischi magnetici ed su di esso era installata una prima forma di Sistema Operativo per automatizzare e semplificare le operazioni di caricamento dei programmi e di controllo della loro esecuzione. Con l'uso del 1620 il Centro Calcoli incrementò in modo sensibile la sua attività in favore delle richieste sempre più numerose degli Istituti della Facoltà e di importanti Enti ed industrie locali e nazionali.

Al crescere della complessità e delle dimensioni dei problemi da risolvere fu necessario fare riferimento a calcolatori più potenti. Questo fu possibile utilizzando dapprima i mezzi di calcolo in dotazione al CNEN (Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare), il cui Centro di Calcolo, dotato dei primi grandi calcolatori per il calcolo scientifico installati in Italia, aveva sede a Bologna<sup>9</sup>.

Successivamente, fu possibile utilizzare la potenza di calcolo dei supercalcolatori installati presso il CINECA (Consorzio Interuniversitario per il Calcolo Automatico dell'Italia Nord Orientale) costituito nel 1967 dalle Università di Bologna, Padova, Firenze, Venezia con l'obiettivo di fornire supporto alle attività di ricerca della comunità scientifica italiana e destinato a diventare negli anni il più importante centro per il supercalcolo in Italia nonché uno dei più importanti a livello mondiale.

Si può ricordare a questo proposito che la Facoltà di Ingegneria attraverso l'impegno di suoi docenti ebbe fin dall'inizio una parte importante nello sviluppo e nella conduzione del Consorzio<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Il Centro Calcoli CNEN di Bologna fu dotato nel 1961 del primo grande calcolatore scientifico italiano, l'IBM 704, assieme ad un calcolatore satellite specializzato per le operazioni di caricamento di programmi e dati e per la stampa dei risultati, l'IBM 1401. Nel 1963 il calcolatore IBM 704 venne sostituito dal nuovo calcolatore IBM 7094. Negli anni successivi la potenza di calcolo venne sempre accresciuta facendo del Centro di Calcoli una delle realtà più importanti in sede nazionale.

<sup>10</sup> Va ricordata, in modo particolare, l'opera svolta dal professor Remo Rossi che fu direttore del CINECA dal 1981 al 1990 e sotto la cui direzione il CINECA si dotò dei più potenti calcolatori a livello mondiale per il supercalcolo. Negli anni successivi professori della Facoltà ricoprirono l'incarico di Presidente del CINECA: il professor Mario Rinaldi dal 1994 al 2011, il professor Emilio Ferrari dal 2011 al 2017. Attualmente ricopre la carica di Presidente il professor Giovanni Emanuele Corazza.

Come già ricordato, dall'inizio degli anni Ottanta cominciò a diffondersi presso i vari corsi di laurea l'insegnamento dell'informatica di base ed in particolare della programmazione dei calcolatori elettronici. Per fare fronte alla necessità di consentire agli studenti l'accesso ad un elaboratore il Centro Calcoli si dotò di un sistema VAX della DEC (Digital Equipment Corporation) con annessa saletta terminali. Il sistema VAX nelle successive versioni consentì per un lungo periodo assieme al citato utilizzo delle macchine del CINECA di soddisfare alle esigenze scientifiche e didattiche della Facoltà.

Intanto a livello di Ateneo andava prendendo sostanza la soluzione, attuale ai giorni nostri, basata sull'utilizzo di una rete in fibre ottiche capace di collegare tutte le sedi dell'Università e fornendo un servizio di calcolo centralizzato con prestazioni in grado di soddisfare tutte le esigenze di tipo scientifico e didattico. I docenti di Informatica presso la Facoltà di Ingegneria svolsero anche in questo caso nell'ambito del CeSIA (Centro Sistemi Informatici di Ateneo) attività di consulenza prima nella realizzazione dei servizi di supporto alle attività di didattica e ricerca per tutto l'Ateneo ed in seguito per lo sviluppo della rete di comunicazione e del centro calcoli centralizzato<sup>11</sup>.

La possibilità per ogni docente e ricercatore di accedere direttamente ai servizi centralizzati di tipo amministrativo e di supporto alla didattica, l'accesso alla rete Internet, la nascita dei dipartimenti come nuove strutture didattiche e scientifiche portarono all'esaurimento delle tradizionali funzioni del Centro di Calcolo che rimane tuttora, con dimensioni ridotte, come servizio per la Facoltà.

### 2.18.6. Sviluppo della didattica nell'area informatica

Con la riforma degli studi in Ingegneria del 1960 veniva attivato il corso di laurea in Ingegneria Elettronica nel quale fu introdotto al quinto anno un indirizzo in Informatica caratterizzato da due insegnamenti: Calcolatori Elettronici, affidato al professor Enzo Belardinelli, e Programmazione, affidato al professor Remo Rossi. In conformità con le attrezzature allora disponibili presso il Centro di Calcolo e Servomeccanismi il corso di Calcolatori Elettronici comprendeva due parti, la prima dedicata alla struttura e programmazione dei calcolatori analogici e la seconda alla descrizione dei principali componenti dei calcolatori digitali. Il corso di Programmazione era rivolto invece alla programmazione dei calcolatori digitali ed alla descrizione dei loro principi di funzionamento. Negli anni successivi il numero dei docenti impegnati nell'area informatica sia all'interno del Centro Calcoli e Servomeccanismi sia presso l'Istituto di Elettronica crebbe e questo consentì di au-

---

<sup>11</sup> Dagli anni Novanta è operativo presso l'Ateneo di Bologna il CeSIA per la progettazione, realizzazione, gestione e presidio dei sistemi informatici di Ateneo. Le linee di sviluppo dei servizi informatici di Ateneo furono per un lungo periodo coordinate nell'ambito del CSS (Comitato Scientifico per lo Sviluppo) alla cui attività contribuirono, assieme ad altri, docenti del gruppo informatico della Facoltà. In particolare, dal 1994 al 2010, il professor Boari, nella qualità di delegato del Rettore per l'Informatica di Ateneo, diresse i lavori del CSS.

mentare il numero dei corsi ed in alcuni casi di trasformarne il contenuto. Il corso di Calcolatori Elettronici si indirizzò sempre più verso la parte digitale, furono da subito introdotti il corso di Reti Logiche (affidato fin dall'inizio al professor Roberto Laschi), il corso di Gestione dell'Informazione (professor Paolo Tiberio), il corso di Linguaggi di programmazione (professor Giacomo Bucci), il corso di Calcolo Numerico e Programmazione (professor Remo Rossi), il corso di Ricerca Operativa (professor Maurelio Boari). Si crearono due filoni di ricerca: il primo "hardware", orientato cioè alla struttura ed alla progettazione dei calcolatori elettronici, ed il secondo "software", orientato cioè alla gestione e programmazione dei calcolatori elettronici. Negli anni, col nascere, di iniziative autonome a livello di didattica e di ricerca nel campo dell'informatica, il numero degli insegnamenti si incrementò sia nel settore hardware che in quello software.

Un discorso a parte riguarda la diffusione della cultura informatica all'interno della Facoltà. Tale diffusione avvenne gradualmente, soprattutto negli anni Settanta. Essa riguardò in particolare l'adozione in quasi tutti i corsi di laurea di un insegnamento di base che, come trasformazione del corso di Programmazione e Calcolo Numerico, venne denominato Calcolo Elettronico. Pur rimanendo alcuni argomenti di calcolo numerico il corso era orientato particolarmente all'utilizzo di un linguaggio di programmazione (il Fortran) ed alla struttura di base di un sistema di calcolo. Molti Istituti cominciarono a dotarsi di terminali per l'accesso all'elaboratore centrale del Centro Calcoli (in quel periodo il VAX) e questo favorì il diffondersi di esercitazioni pratiche per gli studenti.

Alla diffusione dell'Informatica in Facoltà si accompagnò una modifica di tipo strutturale ed organizzativo.

Nel 1969 il Centro Calcoli e Servomeccanismi, diretto fin dalla nascita dal professor Evangelisti, venne trasformato nel nuovo Istituto di Automatica sotto la direzione del professor Belardinelli. L'istituto comprendeva sia ricercatori del settore Controlli Automatici che del settore Informatico (hardware e software). Come si è detto, un gruppo di ricercatori informatici si sviluppò negli anni settanta anche all'interno dell'Istituto di Elettronica. Questa situazione durò fino al 1982 quando il gruppo dei ricercatori informatici operanti presso la Facoltà di Ingegneria si unificò con la nascita del Dipartimento DEIS (Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica) nel quale i due Istituti, Automatica ed Elettronica, confluirono.

I settori di ricerca del DEIS spaziavano dall'Automatica, alla Bioingegneria, ai Campi Elettromagnetici, all'Elettronica, all'Informatica, alle Misure Elettroniche, alla Ricerca Operativa e alle Telecomunicazioni.

Va ricordato, inoltre, che per garantire l'attività di supporto informatico per gli Istituti della Facoltà, nonché l'attività svolta per conto di enti di ricerca ed industriali venne creata una nuova struttura della Facoltà, il Centro di Calcolo, alla cui direzione si susseguirono docenti dell'Istituto di Automatica prima, del DEIS dopo nonché docenti di altri Istituti e Dipartimenti della Facoltà. Il personale del Centro di Calcolo era costituito da tecnici e programmatori, molti dei quali operanti precedentemente presso il Centro Calcoli e Servomeccanismi.

La riunificazione degli informatici dei due ex Istituti di Automatica e di Elettronica ebbe come immediata conseguenza il coordinamento delle attività di ricerca e di didattica che, per quanto riguarda la didattica e la Facoltà, portò all'attivazione nell'A.A. 1992/93 del nuovo corso di laurea in Ingegneria Informatica che prevedeva due indirizzi, Sistemi ed Applicazioni Informatiche e Automatica e Sistemi di Automazione. Venne inoltre attivato il dottorato di ricerca in Ingegneria Informatica.

### ***Sviluppo della ricerca: i Progetti Finalizzati di Informatica***

Una descrizione della attività di ricerca svolta dal gruppo degli informatici presso le varie strutture che di volta in volta li ospitavano esula dagli obiettivi del presente lavoro. Ricordando che i temi spaziano dalle metodologie per la rappresentazione, l'elaborazione e la comunicazione dell'informazione, fino alla sperimentazione di nuove tecnologie si rinvia per un'analisi più dettagliata a quanto riportato in [18].

Si vogliono qui solo ricordare alcuni episodi che hanno contribuito in modo significativo alla preparazione scientifica del primo nucleo di ricercatori e docenti del settore informatico della Facoltà.

Innanzitutto va ricordata fin dai primi anni la stretta collaborazione con i principali centri di ricerca universitari italiani (Politecnico di Milano, Università di Pisa, Università di Roma la Sapienza, Università di Napoli) concretizzatasi nella partecipazione comune a numerosi progetti nazionali ed internazionali.

Un ruolo particolare hanno avuto poi la partecipazione (anche con responsabilità a livello nazionale) ai due progetti finalizzati di informatica promossi e finanziati dal CNR negli anni ottanta e primi anni novanta. Il primo (1979-1985) aveva come obiettivi la promozione industriale nazionale del settore, la razionalizzazione dei beni e servizi informatici nella pubblica amministrazione e l'introduzione generalizzata delle tecniche informatiche nei processi industriali. Il secondo (1989-1994) era orientato allo sviluppo del calcolo parallelo. Ad entrambi oltre ai centri di ricerca universitari parteciparono attivamente ricercatori del CNR, delle principali industrie del settore e della Pubblica Amministrazione.

La partecipazione a questi progetti finalizzati contribuì fortemente a consolidare lo scambio di esperienze tra gruppi nazionali particolarmente qualificati e favorì il contatto con realtà internazionali di riconosciuto valore. Inoltre consentì di consolidare e ampliare le attività di trasferimento tecnologico verso enti locali, imprese del territorio, pubblica amministrazione attraverso anche la preparazione di figure professionali in grado di interagire e rispondere alle richieste del mondo del lavoro.

### ***Lo sviluppo dell'Informatica presso la sede di Cesena***

Nello sviluppo dell'Informatica presso la Facoltà di Ingegneria e più in generale presso l'Ateneo, un importante rilievo hanno avuto le attività svolte presso le sedi romagnole, in particolare presso la sede di Cesena. Ricordato che tali attività ebbero un inizio formale con l'istituzione, nel 1989, del corso di laurea in Scienze dell'Informazione come sede distaccata dell'università di Bologna e afferente alla facoltà di Scienze, si vuole qui ricordare la significativa esperienza con un forte coinvolgimento

della Facoltà di Ingegneria, nel settore dei Diplomi Universitari fin dalla loro attivazione nei primi anni Novanta. Notevole successo ebbe, in particolare, l'attivazione del Diploma in Ingegneria Informatica con sede unica a Cesena, sotto la direzione del professor Antonio Natali, rispondendo ad una richiesta diffusa di formazione culturale e professionale di durata triennale svolta nell'ambito universitario. Rilevante fu l'affluenza di studenti della regione emiliano-romagnola, ma non solo, ai quali i contatti con le realtà industriali, particolarmente curati nel progetto formativo, assicuravano una rapida sistemazione lavorativa. Alla progettazione e realizzazione di questo Diploma un ruolo importante ebbe la Facoltà che favorì l'assegnazione di nuove risorse al Dipartimento DEIS per il supporto all'iniziativa.

L'esperienza dei Diplomi terminò con la riforma universitaria del 1999 che introdusse al posto del Diploma Universitario la laurea universitaria di durata triennale, seguita dalla laurea specialistica di durata biennale secondo il ben noto schema del "3+2". La creazione del Polo Scientifico-Didattico nell'ambito del progetto Multicampus dell'Ateneo nel 2001 favorì la diffusione dell'offerta formativa e l'attività di una stabile realtà di ricerca sul territorio in tutto il settore informatico. Entrambe le due nuove lauree ebbero una sede stabile presso il Polo assieme ad analoghe iniziative facenti capo alla facoltà di Scienze.

Il nuovo statuto di Ateneo, nel 2012, ha trasformato il Polo Scientifico-Didattico nel Campus di Cesena. Il coordinamento e lo sviluppo delle attività nel settore informatico sono state affidate ad una Unità Organizzativa di Sede (UOS) facente capo al nuovo Dipartimento di Informatica: Scienze e Ingegneria (DISI). Come già ricordato, tutta l'attività formativa è stata riorganizzata con la creazione del corso di laurea triennale e magistrale in Ingegneria e Scienze informatiche aventi come Scuole di riferimento sia la Scuola di Ingegneria e Architettura che la Scuola di Scienze.

### **2.18.7. La unificazione degli informatici a livello di Ateneo**

Per comprendere gli sviluppi successivi e la situazione attuale dell'area informatica presso la Facoltà, va precisato che presso la Facoltà di Scienze era attivo dal 1989 un corso di laurea in Scienza dell'Informazione e che nel 1994 venne costituito il dipartimento di Scienze dell'Informazione (DSI).

L'Ateneo di Bologna si trovava quindi nella situazione di avere due strutture per la ricerca e la didattica nel settore dell'Informatica, una operante presso la Facoltà di Ingegneria (DEIS), l'altra presso la Facoltà di Scienze (DSI). Questa situazione era comune presso le più importanti Università italiane (Milano, Torino, Pisa, Roma, Bari..) e derivava, come si è visto precedentemente, dalle differenti origini delle esperienze nel mondo della didattica e della ricerca nel settore informatico. Esistevano a livello nazionale due diversi settori scientifico disciplinari, due diversi raggruppamenti di ricercatori. Sebbene inizialmente esistesse una giustificazione per questa separazione, essendo la matrice ingegneristica più orientata al settore delle applicazioni ed agli aspetti architettonici dei sistemi informatici, nella seconda

metà degli anni Ottanta e negli anni Novanta andò sempre più intensificandosi la collaborazione tra i due gruppi con la comune partecipazione a progetti di ricerca nazionali ed internazionali e con lo sviluppo di comuni iniziative di tipo didattico.

L'Università di Bologna fu la prima in sede nazionale a promuovere l'unificazione dei due gruppi che si concretizzò con la creazione nel 2012 del nuovo Dipartimento di Informatica: Scienze ed Ingegneria e con una riorganizzazione delle attività di didattica a livello di Ateneo, compresa la sede di Cesena. Il nuovo Dipartimento afferisce sia alla Scuola di Ingegneria ed Architettura, sia alla Scuola di Scienze. Ad oggi fanno capo al DISI i corsi di laurea e laurea magistrale (sede di Bologna) in Informatica e Ingegneria informatica, il corso di laurea in Informatica per il Management (sede di Bologna) ed i corsi di laurea e laurea magistrale in Ingegneria e Scienze Informatiche (sede di Cesena). È attivo inoltre il dottorato in Computer Science and Engineering.

### **Conclusioni**

Obiettivo del lavoro era quello di ripercorrere gli eventi principali che hanno guidato lo sviluppo delle discipline e dei servizi informatici presso la Facoltà di Ingegneria. Pur arrivando fino ai tempi nostri si è preferito insistere in particolare su quanto avvenuto nei primi anni, richiamando anche i principali eventi in campo nazionale per il loro decisivo influsso su situazioni locali.

Dall'analisi fatta emerge che la Facoltà ha sempre guardato con grande interesse all'evolversi dell'area informatica al suo interno favorendo il suo sviluppo. Ancora più chiaramente emerge che il tutto è stato possibile grazie alle intuizioni ed all'impegno di professori che hanno saputo in momenti cruciali guardare al futuro.

### **Bibliografia**

- [1] Cuzzer A. (a cura di), *Convegno internazionale sulla storia e preistoria del calcolo automatico e dell'informatica*. Siena settembre 1991; AICA, Milano 1991.
- [2] Bonfanti C., *Mezzo secolo di futuro. L'informatica italiana compie cinquant'anni*. "Mondo Digitale", n. 3, 2004.
- [3] Morelli M., *Dalle calcolatrici ai computer degli anni cinquanta*, Milano 2001.
- [4] Campanile B., *Vannever Bush: da ingegnere a tecnologo*, Roma 2016.
- [5] Angelini A.M., *Giuseppe Evangelisti*. Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti Lincei. Matematica e Applicazioni, Serie 8, Vol. 72, 1982, n. 2.
- [6] Marro G., *Il contributo del Prof. Evangelisti: L'Automatica e il Centro di Calcolo*. Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna.
- [7] Lepschy A., *L'Automatica in Italia dal 1945 al 1975*. [http://www.automatica.it/wp-content/uploads/2016/10/Automatica\\_45\\_-75.pdf](http://www.automatica.it/wp-content/uploads/2016/10/Automatica_45_-75.pdf).
- [8] Zanobetti D., *Le calcolatrici analogiche elettroniche ad alta velocità. La calcolatrice della Università di Bologna*. "L'energia elettrica", dicembre 1951.
- [9] Belardinelli E., Sarti E., *Analizzatori differenziali numerici*. "Automazione e Automatismi", Anno 1, n. 6.

- [10] Fadini B., *Calcolo Analogico e Ibrido: L'esperienza della Università di Napoli*. Convegno internazionale sulla storia e preistoria del calcolo automatico e dell'informatica. Siena, settembre 1991; AICA, Milano, 1991.
- [11] Boari M., Toth P., *Simulazione dell'analizzatore differenziale numerico e sua applicazione alla risoluzione di equazioni integrali e integro differenziali*. ANIPLA, Primo Convegno annuale dei Soci, Roma, 1967.
- [12] De Marco G., Mainetto G., Pisani S., Savino P., *E il computer sbarcò in Italia*. "Sapere", 1997.
- [13] Dadda L., *La nascita dell'informatica in Italia*. "Polipress", 2006.
- [14] Maestrini P., *La Calcolatrice Elettronica Pisana (CEP), una storia che sembra una leggenda*. "Polipress", 2006.
- [15] Pierantoni F., *Gianni Puppi e l'IBM 650*. "Bollettino della Società italiana di Fisica". Supplemento, 5-6, agosto 2014.
- [16] [https://en.wikipedia.org/wiki/IBM\\_650](https://en.wikipedia.org/wiki/IBM_650).
- [17] [https://en.wikipedia.org/wiki/IBM\\_1620](https://en.wikipedia.org/wiki/IBM_1620).
- [18] <http://www.cep.cnr.it/storia02.html>.



## 2.19. PER UNA STORIA DELL'INSEGNAMENTO DELLA FISICA NELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA. GLI INSEGNAMENTI NEL BIENNIO DI INGEGNERIA

*Giorgio Dragoni, Paolo Cinti*

### 2.19.1. Introduzione

Per poter parlare degli insegnanti universitari delle discipline fisiche, dei loro insegnamenti e delle modalità con cui le lezioni ed attività correlate furono impartite nei secoli nella nostra città e, in particolare, di come venivano effettuate queste lezioni quando erano finalizzate ad allievi di Ingegneria, è indispensabile a nostro parere ripercorrere, almeno sinteticamente e dal Settecento in poi, la storia della fisica a Bologna, ed è quello che faremo segnalando almeno i mutamenti più importanti in questa disciplina.

Naturalmente, a seconda dei vari periodi che illustreremo, presenteremo le denominazioni e le caratteristiche delle strutture delegate per preparare i nuovi ingegneri e a cui facevano riferimento i giovani allievi universitari. È noto che queste strutture mutarono nome, metodi, finalità nel tempo: *Corso pratico per ingegneri, Diploma da ingegnere e architetto, Scuola di applicazione per ingegneri, Facoltà di ingegneria...* Così come i contenuti dei corsi delle lezioni impartite dai docenti che, inevitabilmente, avevano come sfondo culturale le grandi tematiche delle ricerche in campo nazionale ed internazionale e i protagonisti di quelle ricerche (Galilei, Newton, Franklin, Faraday, Maxwell, Einstein...) e le loro opere (spesso tradotte in lingua italiana dai nostri stessi docenti). In alternativa, lo sfondo delle lezioni era offerto da importanti acquisizioni scientifico-applicative sul nostro territorio (Malpighi, Galvani, Righi, Marconi, Majorana, Cavaliere-Ducati...). Spesso, i temi delle lezioni erano connessi alle esigenze impellenti del territorio, o dovute alle competenze specifiche dei docenti che tramite lezioni di scienza "pura" additavano esplicitamente settori di possibile sviluppo applicativo e/o commerciale – idraulica, elettromagnetismo e macchine elettriche, tecnologia dei raggi X, tecnica del freddo, sviluppo delle radiotelecomunicazioni... – ad allievi particolarmente interessati e pronti a cogliere questi suggerimenti (a volte espliciti a volte impliciti) nelle parole dei docenti.

Il quadro che dovremo fronteggiare è gigantesco, estendendosi su un arco temporale di parecchi secoli, come appare già immediatamente da queste rapide considerazioni. Per esigenze di concisione limiteremo, come ci è richiesto e come è logico, la nostra analisi allo stretto settore dell'insegnamento di fisica per gli allievi del biennio di ingegneria della nostra università. È chiaro che sarebbe stato interessante prendere in attenta considerazione altri insegnamenti affini del biennio o, addirittura, del successivo triennio (analisi, calcolo, idraulica, fisica tecnica, elettrotecnica...), ma questo ci avrebbe impedito di restare nel limite del compito che ci è stato affidato.

Dichiariamo inoltre fin dall'inizio che siamo grati al lavoro eccellente condotto dall'illustre collega della nostra Università professor Dino Zanobetti<sup>1</sup> che, con la sua analisi attenta degli insegnanti e degli insegnamenti per la disciplina Elettrotecnica a Bologna ci ha fornito, esplicitamente, una possibilità di confronto e di conoscenze informative particolarmente utili.

Per comodità di chi leggerà questo scritto, e per un necessario ordine mentale di chi scrive, divideremo la materia da sviluppare in grandi periodi contrassegnati tra loro da un arco temporale definito, ma anche da similarità e convinzioni culturali, modalità e metodi di ricerca, tipologia di paradigmi scientifici e di presentazioni didattico-espositive. Classicamente, le ripartizioni a cui ci atterremo (e che sono sostanzialmente omogenee al loro interno) presentano un carattere di sorprendente similarità e momenti di mutamento temporalmente comuni proprio al cambio di volta dei secoli: il *Settecento*, l'*Ottocento*, il *Novecento*. Infatti, grandi svolte, a volte rivoluzionarie, si ebbero proprio alla fine del Settecento e alla fine dell'Ottocento. Si trattò ovviamente di casi singolari, fortuiti, ma storicamente accertati. La nostra scelta, quindi non è di comodità cronologica, ma di descrizione di una realtà storica che mutò proprio al cambio dei secoli sopra ricordati. In effetti, vi furono grandi mutamenti, grandi svolte politiche e sociali e, soprattutto per quanto riguarda gli aspetti culturali delle discipline scientifiche, vi furono grossi cambiamenti nel settore della visione del mondo fisico, dei metodi di ricerca e di scoperta nella fisica, ma anche di quelli didattico-espositivi, oltre che applicativi.

La complessità del dibattito che vede nei vari decenni del Settecento contrapporsi idee e "filosofie" della scienza radicalmente diverse le une dalle altre non potrà essere riferito in questa sede. Non parleremo infatti, ma crediamo di avere per questa scelta una precisa ragione, delle idee fluidiste, contrapposte a quelle energetiste o materialiste. Né di calorico, flogisto, hallerismo contrapposte tra loro, né delle idee di Beccaria in contrapposizione a quelle di Franklin, né dell'influenza di Voltaire a favore del newtonianesimo (in particolare a Bologna), né del complesso dibattito che vide Volta contrapporsi a Galvani e viceversa, né tantomeno delle posizioni dei galvaniani contrapposti ai voltiani. Ragioni di tempo? Di spazio? Non solo. Il tema infatti che dobbiamo affrontare è quello dell'insegnamento della fisica, cioè dei contenuti, delle idee, dei concetti, delle leggi, delle strumentazioni e dei metodi introdotti e impiegati nell'insegnamento. Si tratta di un universo concettuale specifico che vide negli esperimenti, nelle strumentazioni, nei manuali e nei libri di testo un suo riferimento "oggettivo". I risultati sperimentali, così come le strumentazioni, una volta raggiunti e acquisiti sono indipendenti dalla matrice culturale e dalle convinzioni soggettive del singolo ricercatore. Diventano cioè indipendenti dalle idee individuali di chi le ha acquisite o realizzate. In questo modo e con lo stesso meccanismo anche le strumentazioni – come ha sostenuto uno di noi<sup>2</sup> alcuni anni fa – sono indipendenti, qua-

<sup>1</sup> Si veda il contributo di D. Zanobetti, *infra*.

<sup>2</sup> G. Dragoni, *Riflessioni sulla didattica museale attuale*, in *Una didattica occhi negli occhi*, a cura di G. Dragoni, CNR, Roma 2005, cit. p. 7.

si invarianti, nei confronti delle teorie interpretative sulla base delle quali sono state realizzate. Un microscopio, o un telescopio funzionano a prescindere dalla formazione culturale e dalle convinzioni concettuali di chi li ha prodotti o inventati. Poco importa se il loro autore è sostenitore delle idee corpuscolari-newtoniane della natura dei raggi luminosi, di quella ondulatoria, o, persino, di quella quanto-ondulatoria. È per queste ragioni di fondo che abbiamo voluto occuparci prevalentemente, nella nostra riflessione sull'insegnamento della fisica, di testi, di manuali, di litografie, di esperimenti, di strumentazioni, che sono state alla base degli insegnamenti di questa disciplina nel corso dei secoli, al di là delle idee filosofico-concettuali dominanti nei vari periodi considerati.

Per far comprendere meglio queste tematiche al Lettore – nell'esigenza impellente di compiere scelte dolorose per evitare una troppo lunga trattazione – illustreremo la tipologia degli insegnamenti impartiti per l'apprendimento delle scienze fisiche (e, conseguentemente, di quelle ingegneristiche collegate alla fisica) prendendo in considerazione in maniera specifica alcuni grandi nomi che hanno fatto e insegnato fisica nella nostra università. Al di là dei nomi famosi e doverosi (*Augusto Righi* e *Quirino Majorana*), di cui possediamo manuali e testi delle lezioni (di carattere tipicamente classico), ci è sembrato necessario illustrare le modalità di far fisica anche di altri docenti. Il primo su cui ci intratterremo è uno scienziato del Settecento (prevalentemente un matematico, ma con grandi interessi per altre discipline e, in particolare, per la fisica): *Sebastiano Canterzani*. Con Canterzani ripercorreremo un modo generale, olistico, non specialistico, di fare fisica che diede straordinari risultati. Basti ricordare le successive ricerche di Luigi Galvani, che in qualche misura furono proprio frutto di un'impostazione globale e olistica del mondo fisico. Per descrivere la fisica contemporanea del Novecento, successiva alla crisi della fisica classica, prenderemo come riferimento un altro docente e ricercatore, *Giorgio Todesco*, fisico e matematico. Si tratta di un personaggio che ci consentirà di testimoniare, attraverso il nostro fortunato recupero delle veline delle sue lezioni, un grande ulteriore cambiamento espositivo del modo di presentare la fisica e di rapportarsi agli allievi. Un cambiamento che si basava, oramai, su una fisica che veniva illustrata soprattutto attraverso esposizioni alla lavagna con una grande enfasi data alla matematica, non più, e non solo, attraverso esposizioni di esperimenti di carattere didattico, come era avvenuto per secoli. In realtà, nelle lezioni di Todesco, anni Trenta-Quaranta, queste modalità si integrano ancora con una forte compresenza sia della matematica che della sperimentazione, ma l'effetto, e la divaricazione tra dimostrazioni sperimentali e teoria, proseguirà in maniera ancora più intensa negli anni e decenni a venire, dal Dopoguerra – cioè dalla ricostruzione e rifondazione dell'Istituto, con l'opera di Giampietro Puppi e Protogene Veronesi – e, soprattutto, dagli anni Cinquanta in poi, quando questo cambiamento di presentazione e illustrazione delle leggi della fisica viste soprattutto matematicamente si maturò e generalizzò.

Ma quali e quanti erano gli allievi che nel passato seguivano o hanno seguito i corsi di fisica? Nell'Ottocento, e nei primi decenni del Novecento, lo stesso docente impartiva lezioni di fisica ad allievi afferenti a numerosi indirizzi scientifici o facoltà

universitarie diverse: allievi di fisica, di chimica, di matematica, di medicina, di ingegneria... Le lezioni si tennero per tutto il Settecento unitariamente e nella stessa Aula per un numero esiguo di allievi. Il loro numero ebbe un notevole incremento dopo l'Unità d'Italia, quando ai corsi di fisica parteciparono numerosi studenti iscritti al biennio d'ingegneria. Per offrire un esempio concreto, segnaliamo, citando l'Annuario dell'Università di Bologna del 1882/83, che al biennio di ingegneria risultavano iscritti al 1° anno una quarantina di allievi e al 2° una sessantina. La loro provenienza copriva prevalentemente le regioni centro-settentrionali: Emilia, Romagna, Toscana, Marche ed Umbria, ma risultavano anche "singolarmente" provenienze più lontane: dal Veneto, dalla Puglia e addirittura dall'estero. Tendenza all'aumento dei frequentanti che proseguirà dopo il 1° e 2° dopoguerra, subendo, dal 1968 in poi, una vera e propria esplosione, con il fenomeno culturale e sociale della contestazione giovanile e con la scolarizzazione di massa.

Per poter offrire una documentazione sui contenuti fisici impartiti nelle lezioni dei vari docenti nel corso del tempo ricorremo alla presentazione dei libri di testo da loro scritti e seguiti nelle lezioni e, quando ci sarà possibile, dagli stessi appunti e brogliacci delle loro lezioni. Infatti, siamo convinti che l'illustrazione dei contenuti specifici delle lezioni tenute dai docenti ricordati possa offrire un'esemplificazione efficace delle modalità di insegnamento della fisica per gli allievi (in particolare di quelli di ingegneria). Per un rapido inquadramento delle attività di docenza in fisica svolte negli anni, riporteremo, inoltre, varie Tabelle di riferimento, che documentano il nome dei vari insegnanti e delle discipline impartite nel corso dei secoli. I docenti universitari che prenderemo in considerazione a volte insegnarono – almeno per tutto il Settecento e per parte dell'Ottocento – sia Fisica nell'Istituto delle Scienze che, dall'inizio dell'Ottocento, nell'Università, ma anche per esempio nella Scuola di Ingegneria, nel Corso di perfezionamento in radiocomunicazioni ecc. ecc. Si noterà, inoltre, facilmente dal nostro scritto che gli insegnanti universitari del Settecento a Bologna, quasi tutti di formazione religiosa e di appartenenza ecclesiastica o ad ordini secolari, provenivano quasi esclusivamente dall'area cittadina o dei suoi immediati dintorni. Nell'Ottocento, si assisterà ad una considerevole apertura dell'università bolognese che ricorrerà ad esperienze specialistiche provenienti da fuori del territorio tradizionale, ma nel contempo i docenti bolognesi andranno ad insegnare in altre università italiane. Si pensi al caso di Righi – ma non è il solo – che insegnerà, oltre che all'università di Bologna, in quelle di Palermo e di Padova. Ma il fenomeno interesserà anche i docenti delle altre città e università italiane. Un'ulteriore apertura verso l'ambiente esterno, con conseguente presa di contatto con modalità culturali internazionali, si ebbe sempre nell'Ottocento con l'opportunità per gli allievi di laurearsi e perfezionarsi all'estero in fisica. Si vedano, come esempi, i casi di Emilio Villari e Giorgio Valle. In conseguenza di queste opportunità, molti docenti incominciarono a presentare le loro ricerche (per secoli scritte in latino) oltre che in italiano, anche nelle lingue francese, inglese e tedesca. Era una maniera non solo per farsi conoscere, ma per conoscere quanto veniva scritto e scoperto in altre realtà culturali. Come si vede, l'internazionalizzazione

delle scienze, non è una caratteristica solo del Novecento, anche se in questo secolo è divenuta assolutamente indispensabile. È per sottolineare in maniera esplicita il fenomeno della progressiva apertura della nostra università, da un piccolo raffinato universo locale nel Settecento ad una successiva realtà di respiro nazionale ed internazionale (*al giorno d'oggi*) che abbiamo esplicitamente indicato, volta a volta, i luoghi di nascita o di formazione culturale dei nostri insegnanti di fisica. Nello specifico si potrà notare come gli insegnanti di fisica a livello universitario fossero inizialmente di provenienza locale, dopo l'Unità d'Italia prevalentemente di origine romagnola, dopo la fine della Seconda guerra mondiale di provenienza veneta, attualmente possiamo contare su alcuni docenti che hanno avuto la loro formazione (o provenienza) all'estero. Per comprendere meglio le modalità effettive di insegnamento impartite agli allievi di vari indirizzi universitari (e, in particolare, di quelli di ingegneria) illustreremo inoltre – e qui avremo alcune sorprese di ricerca interessanti e, almeno una, inaspettata – i materiali didattici impiegati dai docenti per favorire l'apprendimento degli studenti. Una prima constatazione emersa dalla nostra ricerca, e tipica del Settecento e dei primi decenni dell'Ottocento, è che i professori universitari (per es. Silvestro Gherardi) traducevano dall'estero materiali e libri che poi utilizzavano nelle proprie lezioni. A volte gli editori anticipavano la traduzione professionale di testi di grandi personalità scientifiche che, conseguentemente, venivano poi adottate dai docenti per le loro lezioni. Altra caratteristica singolare, dalla metà dell'Ottocento in poi, fu l'obbligatorietà morale per i docenti di redigere appunti, dispense, manuali per gli studenti che frequentavano le loro lezioni. Questa obbligatorietà non era scritta o dovuta, per così dire, per legge, ma era una consuetudine tradizionale e indispensabile per un rapporto efficace di docenza verso gli allievi, e una quasi obbligatoria aspettativa da parte degli atenei. In tutte le università italiane i docenti (in particolare quelli di Fisica) si attenevano, scrupolosamente, come vedremo a questa consuetudine. Gli studenti (chi se lo poteva permettere) avevano a disposizione i contenuti scritti delle lezioni impartite dal docente, su cui poter ripassare quanto presentato a voce didatticamente e sperimentalmente dal docente di fisica e per preparare l'esame. Le lezioni venivano raccolte dagli allievi più bravi (e poi sottoposte al docente per le necessarie correzioni e approvazioni) e così in questo modo gli allievi quasi rivedevano quanto illustrato dal professore durante l'anno accademico. Questi testi, in genere, venivano prodotti localmente da parte di stampatori e litografi delle varie università. Nel secondo Dopoguerra si assistette ad un altro fenomeno culturale. Editori di grandi città e università (Roma, o Padova ecc.) imposero i propri volumi di fisica su scala nazionale. Sono testimonianze, quelle offerte dalle dispense dei volumi ricordati, di grande effetto che ci aiutano a capire molto bene le modalità didattiche dei vari insegnamenti della fisica (e degli insegnanti) e delle loro modifiche nel corso del tempo. In questo modo, e per queste ragioni, abbiamo analizzato appunti, litografie, dispense, manuali e libri per l'insegnamento della fisica a cui, inevitabilmente, gli allievi dei vari corsi, inclusi gli ingegneri, facevano riferimento per preparare i loro esami e, soprattutto, per la loro formazione culturale.

Si diceva delle varie caratteristiche individuate nell'analisi di questi materiali e che abbiamo in parte riferito (e di altre che riferiremo), ma si era accennato anche ad una constatazione sorprendente (anche se a ben vedere comprensibile e, per certi aspetti, naturale). Cioè la constatazione dell'esistenza di una sorta di continuità tra i docenti delle varie generazioni testimoniata proprio dalle dispense dettate dal docente e raccolte da certi allievi. Ci ha sorpreso vedere come, per esempio, certi appunti e dispense di Righi siano stati raccolti da Giorgio Todesco (che poi sarà ricercatore e docente universitario), che i libri e i manuali di Quirino Majorana siano stati raccolti da Giulio Dalla Noce, Maria e Bruno Ferretti (tutti noti fisici della nostra Università), e da Bruno Rossi, che divenne un fisico di grande notorietà anche all'estero. Analoghe osservazioni si potrebbero ripetere anche per il caso di altri docenti in fisica: Protogene Veronesi ed Enzo Fuschini (noti docenti di fisica a Bologna) e dei colleghi ed allievi che ne raccolsero successivamente le lezioni (i professori Antonio Bertin, Antonio Vitale, Gianni Vannini...). Riteniamo che sia educativamente molto bello constatare questa singolare tradizione, e cioè che gli allievi più bravi e diligenti spesso siano anche i più preparati (conseguenza della loro applicazione agli studi), ma anche i più intelligenti e motivati verso la ricerca.

Naturalmente, le modalità dell'insegnamento dei vari docenti dipendeva in maniera specifica dalle loro originali ricerche in fisica, che spesso influenzarono abili e geniali allievi. Si pensi ad Augusto Righi e all'influenza culturale che ebbe il suo oscillatore a tre scintille – vero e affidabile trasmettitore di onde elettromagnetiche, a differenza di altri generatori di onde elettromagnetiche che erano stati realizzati in precedenza e che funzionavano solo per brevi momenti – su un giovane allievo che seguiva liberamente le sue lezioni di nome Guglielmo Marconi. O quelle, sempre di Righi, sul suo capotecnico Ugo Rangoni che comprese l'importanza degli esperimenti di Righi sui raggi X e che seppe sviluppare la produzione di apparecchi radiologici e strumenti per l'emissione di raggi X a scopi terapeutici, avviando una produzione che avrebbe fatto della Rangoni, poi sviluppatasi ripetutamente, una delle grandi aziende a livello internazionale operanti sul nostro territorio. Per non parlare di Adriano Cavalieri Ducati allievo di fisica nel nostro Istituto (come risulta per es. dall'annuario universitario dell'A.A. 1923/24) che seppe genialmente sviluppare la tecnica delle radiotrasmissioni in onde corte potenziando poi in maniera estremamente moderna quella che un tempo era l'azienda paterna, la Ducati.

Alla fine degli anni Cinquanta del Novecento, gli insegnamenti erano ancora profondamente basati su dimostrazioni sperimentali e didattiche di grande efficacia e bellezza. La fisica e le sue leggi venivano illustrate, a livello universitario, da accurate, ricche e complesse dimostrazioni sperimentali. A documentazione di quanto poteva aver visto ed aver assistito un allievo degli anni Trenta del Novecento, offriremo uno spaccato delle lezioni di *Fisica sperimentale* di Quirino Majorana riferendoci alle istruzioni da lui date (anno accademico 1934/35) al tecnico (e agli assistenti) per preparare le sue lezioni. Sarà quasi come assistere direttamente alle sue lezioni e alle sperimentazioni che le corredevano. Illustreremo, inoltre, come abbiamo anticipato e a dimostrazione del cambiamento in atto, con un certo det-

taglio (tramite gli appunti personali manoscritti del docente), le lezioni per la disciplina di *Oscillazioni elettriche* tenute da Giorgio Todesco nel 1938. In esse sono presenti sia raffinate presentazioni di carattere matematico, sia attente e specifiche sedute didattico-sperimentali su temi portanti dell'insegnamento impartito. Dal secondo Dopoguerra in poi la situazione mutò radicalmente rispetto ai decenni precedenti. Sia per un diverso rilievo culturale assegnato ai laboratori, sia per una ridotta presenza del personale tecnico in essi come conseguenza della forte riduzione dei collaboratori su cui poteva contare il docente, sia ancora, e soprattutto, per una sempre più cogente esigenza culturale di presentazione teorico-matematica degli argomenti, rispetto ai quali la parte visiva-immaginativa degli esperimenti veniva sempre più a ridursi, e a perdere spazio e valore didattico. Passiamo ora ad illustrare, tramite esempi e approfondimenti, i principali protagonisti dell'insegnamento delle scienze fisiche a Bologna nel Settecento, nell'Ottocento e nella prima metà del Novecento.

### 2.19.2. Il Settecento: dalla filosofia naturale alla fisica sperimentale

Tra i principali docenti di discipline fisiche a Bologna nel Settecento – secolo che fu caratterizzato dalle conseguenze in Italia della mancata accettazione della rivoluzione culturale galileiana, dal protrarsi a lungo della cultura tradizionale dello stato pontificio nelle nostre regioni, da una considerevole attenzione mantenuta verso le concezioni aristoteliche e, solo nel migliore dei casi, agli aspetti concreti e pratici legati alle realtà del territorio (regolamentazione delle acque, aspetti legati all'idraulica) e, in coda al secolo, dalle tremende vicende legate alla rivoluzione politica e sociale francese – ricordiamo almeno i seguenti principali docenti: Jacopo Bartolomeo Beccari, Domenico Maria Gusmano Galeazzi, Paolo Battista Balbi, Laura Maria Caterina Bassi (poi Veratti in conseguenza del matrimonio), Giuseppe Veratti, Luigi Palcani Caccianemici, Sebastiano Canterzani, Stefano Longanesi (si veda la Tab. I).

#### ***I docenti del Settecento: filosofi naturali, medici, matematici, fisici, chimici***

Indichiamo ora per comodità del lettore gli archi temporali della vita degli studiosi citati nella Tabella I e, in seguito, alcune informazioni sintetiche sulle loro attività. Jacopo Bartolomeo Beccari (Bologna 1682 – Bologna 1766); Domenico Maria Gusmano Galeazzi (Bologna 1686 – Bologna 1775); Paolo Battista Balbi (Bologna 1693 – Bologna 1772); Laura Bassi in Veratti (Bologna 1711 – Bologna 1778); Giuseppe Veratti (Bologna 1707 – Bologna 1793); Luigi Palcani Caccianemici (Bologna 1748 – Bologna 1802); Sebastiano Canterzani (Bologna 1734 – Bologna 1819); Stefano Longanesi (Bagnacavallo 1778 – Bagnacavallo 1811). Come è evidente dal riquadro, in cui sono riportate anche le fonti delle informazioni riferite, non compaiono i nomi dei docenti di cultura tradizionale aristotelica attivi presso l'università di Bologna. Siamo consapevoli che in alcuni casi avremmo potuto in-

*Tabella I. La raccolta delle informazioni riportate in questa tabella sono dovute all'impegno delle Dottoresse Martina Lodi (allora afferente al Museo di Fisica della nostra Università) e Daniela Negrini (allora Responsabile tecnico dell'Archivio Storico dell'Alma Mater Studiorum dell'Università degli Studi di Bologna). Si veda G. Dragoni (a cura di), "Per Augusto Righi, 12 Aprile 1907, ristampa anastatica con introduzione e commento", Zanichelli, Bologna 2010. p. XXXI.*

ANNO	ISTITUTO	CATTEDRA	DOCENTE	FONTI
1711-1734	Istituto delle Scienze	Fisica Sperimentale	Beccari, Jacopo Bartolomeo	Archivio di Stato di Bologna. Archivio del Reggimento, Assunteria di Istituto, Diversorum, b. 15
1734-1770	Istituto delle Scienze	Fisica Sperimentale	Galeazzi, Domenico Maria Gusmano	Archivio di Stato di Bologna. Archivio del Reggimento, Assunteria di Istituto, Diversorum, b. 15
1770-1772	Istituto delle Scienze	Fisica Sperimentale	Balbi, Paolo Battista	Archivio di Stato di Bologna. Archivio del Reggimento, Assunteria di Istituto, Diversorum, b. 15
1776-1778	Istituto delle Scienze	Fisica Sperimentale	Bassi Veratti, Laura	Archivio di Stato di Bologna. Archivio del Reggimento, Assunteria di Istituto, Diversorum, b. 15, n° 42
1776-1800; 1803-1808	Istituto delle Scienze e Università	Fisica Sperimentale (Istituto delle scienze) e Fisica Generale (Università)	Canterzani, Sebastiano	Archivio di Stato di Bologna. Archivio del Reggimento, Assunteria di Istituto, Diversorum, b. 15 n° 42; Università Napoleonica (1800-1824)
1778-1793	Istituto delle Scienze	Fisica Sperimentale	Veratti, Giuseppe	Archivio di Stato di Bologna. Archivio del Reggimento, Assunteria di Istituto, Diversorum, b. 15 n° 42
1788-1801	Istituto delle Scienze e Università	Fisica Generale (dal 1788 al 1800) Matematica applicata (dal 1800 al 1802)	Palcani Caccianemici, Luigi	Archivio di Stato di Bologna. Università Napoleonica (1800-1824)
1800-1808	Istituto delle Scienze e Università di Bologna (Facoltà Fisico-Matematica)	Fisica Generale	Canterzani, Sebastiano	Archivio di Stato di Bologna. Università Napoleonica (1800-1824), n. 473.
1808-1811	Università di Bologna (Facoltà Fisico-Matematica)	Fisica Generale	Longanesi, Stefano	Archivio di Stato di Bologna. Università Napoleonica (1800-1824), n. 474.

contrare personalità di cultura scolastica di un certo rilievo, ma siamo stati costretti a delle scelte precise dovute alla disponibilità di spazio editoriale che ci è stata riservata. Si noti inoltre la presenza di docenti di fisica sperimentale presso l'Istituto delle Scienze di Bologna, in accordo ai dettati della fondazione di tale istituzione voluti da Luigi Ferdinando Marsigli (Bologna 1658 – Bologna 1730) dal 1711 in poi. Come è



noto un efficiente funzionamento di tale Istituto incontrò molti ostacoli e difficoltà sia in ambito universitario che cittadino<sup>3</sup>. In particolare vennero sollevate difficoltà di ordine giuridico e la struttura subì gli effetti della carenza dei fondi necessari alla sua attività. Inoltre l'università ostacolò l'istituzione di corsi regolari a livello superiore tenuti all'esterno del suo ambito. Le lezioni e le dimostrazioni sperimentali in Istituto potevano avvenire solo una volta alla settimana, e quando non vi erano attività istituzionali presso l'università.

Facciamo notare anche, per una migliore comprensione della Tabella I, che nel 1776 si procedette al riordino delle Stanze della fisica dell'Istituto delle Scienze e allo sdoppiamento dalla relativa cattedra di insegnamento. Furono istituite sia la cattedra di *Fisica generale* (in cui venivano trattati argomenti quali statica, meccanica, idrostatica, idrodinamica... sostanzialmente da un punto di vista matematico), sia quella di *Fisica particolare*, riguardante prevalentemente la spiegazione dei fenomeni sulla base delle teorie elettriche. Gli argomenti di fisica particolare trattati erano il suono, il calore, la luce, l'elettricismo e venivano proposte le relazioni esistenti tra fisica, astronomia, meteorologia, mineralogia, fitologia, zoologia. Solo nel 1788 vengono superate varie difficoltà e si istituiscono per la fisica corsi di lezioni continuate della durata di due anni. Il primo corso venne avviato nel 1789, subito dopo Pasqua sulla base di un programma biennale di 80 lezioni. Nel primo anno furono impartite 40 lezioni di *Fisica generale* in cui gli esperimenti presentati avevano la funzione di illustrare i momenti fondamentali della teoria fisica, nel secondo anno, 40 lezioni di *Fisica particolare*, in cui gli esperimenti assumevano un ruolo essenziale, in quanto venivano trattati un numero grandissimo di fenomeni fisici (che, a causa della loro complessa realtà, erano esclusi dalla fisica generale, cioè da una generale interpretazione matematico-teorica). I contenuti delle lezioni sono impartiti sulla base di testi internazionalmente noti realizzati da Cavallo, Desaguliers, s'Gravesande, P. Musschenbroek, Nollet e Sigaud de la Fond. Negli anni precedenti e, in particolare, dal 1745 in poi le Stanze di fisica dell'Istituto delle Scienze si erano arricchite di importanti strumentazioni di ricerca e di didattica acquistate grazie alla liberalità di Papa Benedetto XIV<sup>4</sup>. Tutti i personaggi sopra ricordati godettero di grande popolarità presso i docenti di Fisica nella Bologna del tempo. Sigaud de la Fond fu molto noto, ma il più celebre fu quasi sicuramente l'abate Nollet, il cui contributo alla diffusione della fisica sperimentale fu notevolissimo e i suoi trattati, fra i quali ricordiamo le *Leçons de physique*, pubblicate in sei volumi fra il 1743 e il 1748 e spesso ristampate, e *L'art des expériences*, pubblicato nel 1770, godettero di enorme popolarità tra gli studiosi del tempo, spesso definiti "curiosi". Importante fu pure la sua opera nel campo dell'elettricità: inventò i primi elettroscopi, fece conoscere in Francia la bottiglia di Leida, di cui realizzò una versione "asciutta", e

<sup>3</sup> G. Dragoni, *Marsigli, Benedict XIV and the Bolognese Institute of Sciences*, in *Renaissance and Revolution*, a cura di J.V. Field e F.A.J.L. James, Cambridge University Press, Cambridge 1993, pp. 229-237.

<sup>4</sup> G. Dragoni, *Benedetto XIV e la scienza fisica. Nella Bologna del Settecento nasce un Papa galileiano-newtoniano*, «Bologna Incontri», XVII, n. 5, Giugno 1986, pp. 27-30.

THE  
**ELEMENTS**  
 OF  
**Natural Philosophy.**

Chiefly intended for the Use of  
 STUDENTS in UNIVERSITIES.


BY  
 PETER VAN MUSSCHENBROEK, M.D.  
 Professor of MATHEMATICKS and PHILOSOPHY  
 in the University of *Lejden*.

Translated from the Latin  
 BY  
 JOHN COLSON, M. A. and F. R. S.  
 Lucasian Professor of MATHEMATICKS  
 in the University of *Cambridge*.

VOL. I.

LONDON:  
 Printed for J. Nourse, at the *Lamb*  
 without *Temple-Bar*.  
 M. DCC. XLIV.

**P H Y S I C E S**  
 ELEMENTA  
**MATHEMATICA,**  
 EXPERIMENTIS CONFIRMATA;  
*Sive*  
 Introductio ad Philosophiam  
**NEWTONIANAM.**  
*Auctore*  
 GULIELMO JACOBO 'S GRAVESANDE.  
 TOMUS SECUNDUS.  
*Editio Quarta, auctior & correctior.*




GENEVÆ.  
 Apud HENRICUM-ALBERTUM GOSSE & Soci.  
 Bibliop. & Typograph.  
 M D C C X L V I I I

**LEÇONS**  
 DE PHYSIQUE  
 EXPÉRIMENTALE;

par M. l'Abbé NOLLET, de l'Académie Royale  
 des Sciences, de la Société Royale de Londres,  
 de l'Institut de Bologne, &c. Maître de Physique  
 & d'Histoire Naturelle des Enfants de France, &  
 Professeur Royal de Physique Expérimentale au  
 Collège de Navarre.

TOME TROISIÈME.  
 SIXIÈME ÉDITION.



A PARIS,  
 Du fonds de H. L. GUBERN & L. F. DELATOUR.  
 Chez DURAND, Neveu, Libraire,  
 rue S. Jacques, à la Sageffe.


M. DCC. LXIX.  
 Avec Approbation, & Privilège du Roi,  
 1712  
 3

**E L È M E N S**  
 D E  
**PHYSIQUE**  
 THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTALE;  
 Pour servir de suite à la Description & Usage  
 d'un Cabinet de Physique expérimentale, 2 vol.  
*in-8°*, avec figures.

Par M. SÉGAUD DE LA FOND,  
 Ancien Professeur de Mathématiques, Démonstrateur de Physique  
 expérimentale en l'Université; de la Société Royale des Sciences  
 de Montpellier; des Académies d'Angers, de Bavière, de  
 Vaisabill, de Florence, de Saint-Petersbourg, &c. &c.

4 vol. *in-8°* avec figures, br. 24 liv.

TOME TROISIÈME.



A PARIS,  
 Chez P. FR. GUEFFIER, Libraire-Imprimeur, au  
 bas de la rue de la Harpe, à la Liberté.

M. DCC. LXXVII.  
 Avec Approbation, & Privilège du Roi,  
 1671  
 3

Figura 1. Alcuni frontespizi di testi di fisica teorica e sperimentale diffusi in Italia tra la fine del Seicento e i primi decenni del Settecento.

ipotizzò che i fuochi di Sant'Elmo e i fulmini fossero dovuti a cariche elettriche. Si deve a lui l'invenzione di numerosissimi strumenti utilizzati a scopo didattico.

Si noti altresì la presenza contemporanea di tali insegnamenti dalla fine dell'Ottocento in poi sia nell'Istituto delle Scienze che nell'Università. È necessario informare il Lettore inoltre che i docenti, oltre alle lezioni pubbliche sopra indicate, tennero spesso lezioni private per gli allievi. Questo anche e soprattutto per poter illustrare nei loro laboratori personali esperimenti e dimostrazioni tipiche delle loro ricerche specialistiche, per sopperire alle limitazioni dei tempi d'insegnamento consentiti presso l'Istituto delle Scienze o alle proibizioni di natura personale, si veda in questo senso, e per esempio, il caso di Laura Bassi e di suo marito Giuseppe Veratti. In ogni caso il professore di Fisica poteva contare per le sue lezioni e dimostrazioni sperimentali ufficiali almeno di un aiuto e di un tecnico coadiutori.

### ***I docenti del Settecento e le loro attività***

Ma chi erano i principali docenti sopra ricordati, quali furono i loro insegnamenti, quali le loro ricerche specialistiche? Si tratta infatti, nella maggioranza dei casi, di studiosi afferenti ad ordini religiosi come era naturale nella Bologna del tempo, principale città dello Stato Pontificio, dopo Roma, per quanto riguardava gli studi a livello universitario. Parecchi di loro all'epoca godettero di notevole notorietà e prestigio scientifico, ma ora molti Lettori li considereranno personaggi quasi completamente dimenticati. Integriamo ora almeno il quadro generale offerto nella Tabella I con qualche indicazione su quello che era lo sfondo culturale su cui questi docenti si collocarono. L'ambiente bolognese aveva risentito – almeno fino alla metà del Settecento e alla nomina nel 1740 di Prospero Lambertini (Bologna 1675 – Roma 1758) al soglio pontificio come Benedetto XIV – della condanna a cui era stato sottoposto Galileo Galilei e con lui alla sua impostazione della fisica fondata su basi osservative e matematiche in cui la sua ricerca sui fenomeni naturali, a prescindere dal dettato dei testi dei filosofi, trovava forti alleanze nel suo anticonformismo e nella sua profonda capacità immaginativa. In realtà, gli scienziati del tempo, in particolare quelli bolognesi, seppero muoversi spesso abilmente, evitando di incappare in contrasti con le strutture ecclesiastiche e le loro limitazioni, conservando concetti e usando strumenti presenti nella tradizione galileiana. Basti ricordare in questo senso le opere, le attività, e gli strumenti ottici che furono usati anche in Italia per tutto il Seicento nonostante la condanna a Galileo. Pensiamo, per esempio, a Giovanni Alfonso Borelli (Castel Nuovo, Napoli 1608 – Roma 1679) e a Marcello Malpighi (Crevalcore, Bologna 1628 – Roma 1694), che in campo fisico-medico-biologico fecero uso entrambi nelle loro ricerche di microscopi o, in campo astronomico, a padre Giovan Battista Riccioli (Ferrara 1598 – Bologna 1671) – pur da posizioni anti-copernicane – e al suo collaboratore Francesco Maria Grimaldi (Bologna 1618 – Bologna 1663), che utilizzarono sistematicamente il telescopio per l'osservazione della Luna e per la redazione di una bellissima mappa lunare su cui individuarono numerosi toponimi legati alla scienza, alla cultura e, spesso, alla realtà bolognese. Ricordiamo inoltre la straordinaria opera postuma di Grimaldi, il *De Lumine* (1684)

– che ha ispirato fra l'altro le opere di Domenico Guglielmini e dello stesso Isaac Newton – in cui il ricercatore bolognese comprese come la luce in certi casi si comportasse in maniera ondulatoria individuando e tracciando graficamente delle figure di diffrazione e di interferenza. Per offrire al Lettore almeno un'idea della trasmissione delle idee galileiane nell'Italia del Seicento, dopo la condanna di Galileo Galilei (1633), illustriamo brevemente l'opera dello scienziato tra quelli nominati in precedenza che più si può considerare, a nostro parere, nella tradizione galileiana e cioè Giovanni Alfonso Borelli. Egli fu allievo degli allievi diretti di Galilei e nei suoi vasti interessi riguardanti soprattutto la medicina e la fisiologia, non mancò di dedicarsi alla matematica e alla fisica adeguandosi in maniera esplicita al modello culturale in qualità di importante esponente della galileiana Accademia del Cimento. In questo senso Borelli costituì un importante modello di riferimento per l'attività di ricerca dello stesso Malpighi. In entrambe le attività di questi scienziati, si fa uso degli strumenti ottici per l'indagine microscopica nel campo biologico e medico. Anche l'uso di un modello generale di tipo meccanico della struttura del corpo umano o animale, in cui le singole ossa erano paragonabili a leve meccaniche organizzate mirabilmente nel loro equilibrio come quelle di una complessa macchina fisica, è uno splendido retaggio, o meglio lascito, della cultura galileiana. Tra l'altro, a giustificazione esplicita di quanto sostenuto, Borelli effettuò esperimenti e misure per determinare – in continuazione dei primi tentativi (non solo concettuali) di Galilei – il valore della misura della velocità della luce. Egli infatti utilizzò un sistema di specchi riflettenti collocati a distanza tra di loro su un percorso complessivo di 35 Km tra Firenze e Pistoia. In questo collegamento tra l'opera di Borelli e quella di Malpighi troviamo una diretta connessione con quello che saranno poi le concezioni culturali e metodologiche dei fisici bolognesi e le loro attività di ricerca tra il Seicento e il Settecento, spesso dedicate a temi connessi tra medicina, biologia e fisica.

I primi docenti bolognesi di fisica settecentesca possedevano ancora, come era tipico dell'epoca, una preparazione generale in filosofia, in logica e in medicina, e mantennero per tutta la loro vita una pluralità di interessi e una interdisciplinarietà di ricerca tipica di quel secolo. Tra questi ricordiamo per primo *Jacopo Bartolomeo Beccari* (Bologna 1682 – Bologna 1766). Naturalista, fisiologo, igienista, filosofo, chimico, fisico. Allievo di un allievo di Malpighi, nel 1704 ottenne la laurea in Filosofia e Medicina. Egli non intraprese però la professione medica, anche se seguì le autopsie di Giovan Battista Morgagni presso l'ospedale di S. Maria della Morte a Bologna. Appartenente all'Accademia degli Inquieti si dedicò a ricerche e ad esperimenti di carattere scientifico, in particolare in chimica ove ottenne importanti risultati come quelli raggiunti con la scoperta che nella farina del grano sono presenti due parti: una, l'amido, l'altra il glutine. Fisiologo, occupandosi della scienza dell'alimentazione e della chimica degli elementi passò alla chimica e poi, in considerazione dei suoi interessi per i fenomeni di fotochimica e di fosforescenza, allo studio della fisica. Nominato sin dal 1711 professore incaricato per l'insegnamento della Fisica (nel 1712 ebbe la nomina a professore di Medicina) svolse effettivamente la sua attività come docente di Fisica solo dal 1714. Nel 1724 venne nominato Presidente dell'Ac-

cademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna succedendo al famoso medico Valsalva. Eletto membro della Royal Society di Londra sin dal 1728, aggiunse tra i suoi insegnamenti anche quello della chimica nel 1737 (prima cattedra universitaria in Italia). Si interessò ai fenomeni elettrofisici dell'ambra, si dedicò allo studio dei minerali (in particolare alla loro fosforescenza), seguì attentamente una aurora boreale apparsa in Italia nel 1726, continuò a condurre ricerche e ad insegnare sino alla fine dei suoi giorni. Godette della stima del cardinale di Bologna Prospero Lambertini, poi Papa Benedetto XIV.

Dal 1734 a Beccari successe, quale professore di Fisica presso l'Istituto delle Scienze, *Domenico Maria Gusmano Galeazzi* (Bologna 1686 – Bologna 1775). Anche in questo caso si trattava di un medico i cui interessi, studi e ricerche riguardarono soprattutto la sua attività professionale: calcolosi dell'uretere e, sin dal 1731, l'individuazione delle ghiandole dell'intestino. Non deve meravigliare il fatto che i medici conducessero ricerche e potessero nello stesso arco temporale insegnare anche nel settore delle discipline fisiche. Infatti è noto che nel mondo anglosassone e germanico vi sono numerosi medici che diedero importanti contributi alle scienze fisiche. Ricordiamo per gli inglesi Thomas Young (1773-1829) e per il mondo tedesco Hermann von Helmholtz (1821-1894). È bene dire subito che riferendo i nomi sopra riportati non vogliamo eseguire dei paragoni e dei confronti fra i nostri studiosi e quei grandissimi scienziati. Si vuole solo sottolineare che all'epoca spesso i medici godevano di notevoli mezzi personali e, sicuramente, non erano assillati da compiti professionali stressanti e continuativi. Molti di essi godevano quindi di condizioni privilegiate e di tempo libero per potersi dedicare con successo a numerose, interessanti e fruttuose ricerche.

Il successore di Galeazzi nell'insegnamento della Fisica (1770-1772) fu *Paolo Battista Balbi* (Bologna 1693 – Bologna 1772), che era già stato suo allievo e coadiutore sin dal 1734. La sua attività si svolse quindi in gran parte nell'organizzazione di dimostrazioni sperimentali effettuate grazie ai ricchi corredi di fisica presenti presso l'Istituto delle Scienze. Ricordiamo qui che anche Balbi si era laureato in Filosofia e medicina (1718). Fu medico, anatomista, filosofo, logico e matematico. Nel suo insegnamento di fisica dovette quasi sicuramente seguire quello del suo maestro Galeazzi, anche se su di lui, come per altri personaggi che qui siamo sostanzialmente costretti a citare senza poter condurre ricerche specifiche su di essi, andrebbe condotta una dettagliata indagine.

A Paolo Balbi seguì nell'insegnamento della Fisica *Laura Maria Caterina Bassi* (Bologna 1711 – Bologna 1778), poi anche *Veratti* in conseguenza del suo matrimonio. Seconda donna ad essersi laureata (in Filosofia nel 1732) in Italia – la prima era stata Elena Lucrezia Cornaro che si era laureata in Filosofia a Padova nel 1678 – Laura Bassi nello stesso 1732 ottenne la libera docenza in Filosofia e in Filosofia naturale potendo potenzialmente insegnare – a seguito del conseguimento della libera docenza – in entrambe le discipline. Ottenne inoltre la cattedra onoraria stipendiata di filosofia grazie anche alla stima di cui godeva presso il cardinale Lambertini. Gli accademici del tempo, che non potevano non riconoscere le sue

qualità e i titoli conseguiti, riuscirono però a limitare le sue possibilità di insegnamento. *Causa sexus* ottennero che potesse insegnare solo in occasioni speciali, visti i suoi specialissimi meriti. Nel 1734 si sposò con il medico e fisico *Giuseppe Giovanni Veratti* (1707-1793), lettore di fisica particolare presso l'Istituto delle Scienze e da cui ebbe numerosi figli. Ricerche importanti del marito furono le sue *Osservazioni fisico-mediche intorno all'elettricità* (Bologna, stamperia di Lelio dalla Volpe, 1748). Dal 1749 i coniugi Veratti avviarono corsi di fisica sperimentale presso la propria abitazione, ove lei e il marito avevano allestito un attrezzato laboratorio (purtroppo andato perduto), impartendo lezioni sulla base delle loro adesioni alle Teorie newtoniane. Trattandosi dell'unico corso tenuto su questi temi a Bologna il Senato ne riconobbe l'utilità pubblica in quanto seguito da molti studenti universitari e concesse uno stipendio ufficiale per la sua effettuazione. In questo laboratorio Laura con il marito condusse ricerche sui fenomeni elettrici e magnetici. Studi che le consentirono di mantenersi in contatto con grandi personalità della fisica del tempo quali Giovan Battista Beccaria (1716-1781), con l'abate Jean Antoine Nollet (1700-1770) e con Felice Fontana (1730-1805). Di grande importanza per gli sviluppi successivi delle scienze furono anche i suoi incontri con l'allora giovanissimo Alessandro Volta (1745-1827) e con Lazzaro Spallanzani (1729-1799), uno dei suoi più brillanti allievi e cugino. Verso la fine della sua vita fu assegnata a Laura Bassi la cattedra di professore di Fisica sperimentale nell'Istituto delle Scienze di Bologna, senza limitazioni di giorni di insegnamento, né di restrizioni dovute al suo genere femminile. Tra i suoi lavori di fisica più importanti ricordiamo le seguenti dissertazioni presentate (con i relativi esperimenti) nelle sedute dell'Accademia delle scienze e pubblicati negli Atti del *De Bononiensi Scientiarum et Artium Instituto atque Academia Commentarii*, Bologna, L. Dalla Volpe, 1731-1791. Ricordiamo gli studi connessi ai temi di ricerca sui fluidi e quelli di idraulica, sicuramente di notevole importanza pratica: *Sopra la compressione dell'aria* (1746); *Sopra le bollicelle che si osservano nei fluidi* (1747 e 1748); *Sopra l'uscita dell'acqua dai fori di un vaso* (1753 e 1754). Altri suoi lavori, qui di seguito citati in ordine cronologico progressivo, si riferiscono all'elettricità, al calore, alla meccanica: *Sopra alcune esperienze d'elettricità* (1761); *Prodromo di una serie di esperienze da fare per perfezionare l'arte della tintura* (1769); *Sopra l'elettricità vindice* (1771); *Sopra il fuoco e la facilità dei vari fluidi di riceverlo* (1775); *Su la relazione della fiamma all'aria fissa* (1776); *Sopra la proprietà che hanno molti corpi, che ritenendo più degli altri il calore, ritengono più degli altri ancora l'elettricità* (1777); *De aëris compressione*; *De problemate quodam idrometrico*; *De problemate quodam mechanico*; *De immixto fluidis aëre*. Per eventuali approfondimenti su Laura Bassi e su suo marito si vedano i dettagliati studi della collega Marta Cavazza<sup>5</sup>. Per potere avere un'immagine più esatta degli insegnamenti di fisica impartiti da Laura Bassi consigliamo di rileggere l'elenco delle numerose macchine sperimentali che costituivano il corredo del laboratorio in fisica che lei divideva

<sup>5</sup> M. Cavazza, *Laura Bassi and Giuseppe Veratti: an electric couple during the Enlightenment*, in *Contributions to Science*, 2009, 5 (1), pp. 115-128.

con suo marito. Le strumentazioni originali del suo laboratorio, come è noto, sono andate perdute. L'elenco completo delle macchine e dei materiali presenti nel laboratorio è conosciuto grazie alla pubblicazione di un inventario compilato nel 1820, al momento della sua vendita a un aristocratico bolognese da parte del figlio Paolo<sup>6</sup>.

In sintesi, la maggior parte degli strumenti era destinata alla *physica particularis*, le scienze che si occupavano delle specifiche proprietà della materia, quali il magnetismo, la pneumatica, la meteorologia, la calorimetria, i fenomeni luminosi, l'elettricità, e, infine, la chimica.

Una testimonianza molto espressiva sulle lezioni impartite agli allievi da Laura Bassi ci è offerta da Ignazio Odoardi, un suo ex allievo:

Voi l'avreste veduta circondata da una numerosa corona di scolari che pendevano dalle sue labbra, dare in prima de' stabiliti sperimenti la teoria, ma la più esatta, la più ricolma di fisiche erudizioni, la più giudiziosa, e darla con una ordinaria chiarezza, ed insieme con una eleganza e pregiatezza di lingua che dubbiosi lasciava gli ascoltanti, se d'improvviso parlasse, come pur faceva, o se meditato lungamente e disteso avesse quanto Ella pronunciava. Quindi dalla teoria passare agli esperimenti, e quivi oprar tutto con la più scrupolosa esattezza, notare le minime differenze, rilevare quelle circostanze che più dimostrano la verità del Fenomeno, formarvi sopra de' raziocinj degni di quella gran mente, tirarne le più giuste conseguenze<sup>7</sup>.

Dopo la morte di Laura Bassi avvenuta a Bologna il 20 febbraio del 1778, il suo insegnamento fu, come abbiamo anticipato, proseguito dal marito *Giuseppe Veratti*, che mantenne con notevoli capacità la cattedra di fisica sperimentale (dal 1778 al 1793) che era stata di Laura, conservando la stessa metodologia galileiana-newtoniana fondata sulla sperimentazione e proseguendo le sue ricerche nel campo dell'elettricità e del magnetismo dedicando molte attenzioni agli effetti benefici degli stessi nella cura delle malattie. In questo senso è tipico il suo lavoro del 1748 dal titolo *Osservazioni fisico-mediche intorno all'elettricità* (Bologna, Dalla Volpe), che testimonia la sua adesione ad interessi scientifici caratteristici di una tradizione culturale molto sentita e seguita a Bologna nella quale fu pubblicata la "lettera" inviata a Francesco Maria Zanotti, Segretario dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, dal veneziano Gian Francesco Pivati, *Lettera sull'elettricità medica contenente delle esperienze singolari relative alla medicina*, pubblicata sugli Atti dell'Accademia nel 1747. Tradizione che sfociò una quarantina di anni dopo nelle fondamentali ricerche di Luigi Galvani (*De viribus electricitatis in motu musculari Commentarius*, in *De Bononiensi Scientiarum et Artium Instituto atque Academia Commentarii*, vol. VII, Istituto delle Scienze, Bologna, 1791), che ebbero enormi sviluppi nell'Ottocento.

<sup>6</sup> M. Cavazza, *Laura Bassi e il suo gabinetto di fisica sperimentale: realtà e mito*, «Nuncius. Annali di storia della scienza», X, 1995 (2), pp. 715-753.

<sup>7</sup> J. Golinski, *Esperimenti, strumenti e luoghi di lavoro*, in *Storia della scienza*, Istituto della Enciclopedia Italiana, 6° vol., *L'Età dei lumi*, 2002, p. 58.

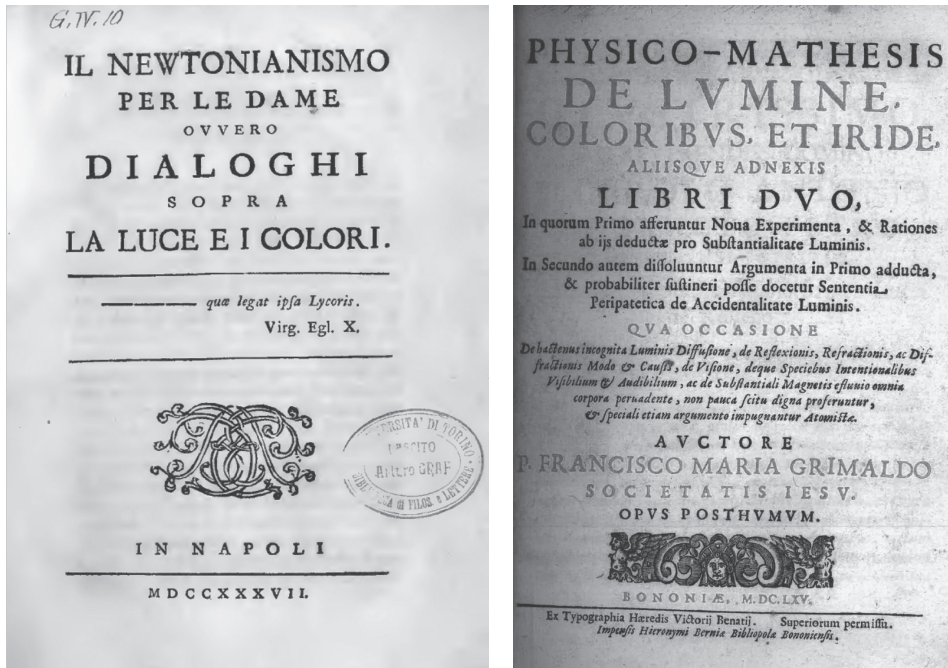


Figura 2: a) Il libro di Francesco Algarotti con la sua celebre apertura del newtonianesimo per il genere femminile; b) Il “De Lumine” di Francesco Maria Grimaldi.

Vero successore di Laura Bassi fu, però, un personaggio di alto rilievo: *Sebastiano Canterzani*<sup>8</sup>, nato a Bologna nel 1734, suo padre Giuseppe aveva considerevoli competenze nel settore della matematica e impartì al figlio i primi insegnamenti di carattere scientifico. Dopo avere seguito i corsi tradizionali della cultura del tempo, si laureò a Bologna nel 1756 in Filosofia. Divenne insegnante di Matematica nel 1760 presso lo Studio succedendo ad Eustachio Zanotti (1709-1782), famoso astronomo e ingegnere italiano, suo maestro ed amico. Canterzani ebbe anche ottimi rapporti con lo zio di Eustachio, Francesco Maria Zanotti Cavazzoni (1692-1777) – Segretario dell’Istituto di Scienze dal 1723 e Presidente dal 1766 – autore del newtoniano *De viribus centralibus*, edito a Bologna da Lelio dalla Volpe nel 1762. Francesco Maria Zanotti esercitò una profonda influenza, di tipo baconiano, ma non solo, su Canterzani che fu suo Segretario presso l’Istituto delle Scienze sin dal 1766. I numerosi materiali manoscritti di Canterzani conservati presso la Biblioteca Universitaria e l’Archivio di Stato di Bologna ci consentono di prendere una visione diretta dei contenuti dei corsi di fisica da lui tenuti. Ci sembra utile, per offrire al lettore un’immagine concreta sia degli argomenti, che delle metodologie d’insegnamento utilizza-

<sup>8</sup> M. Conti, *L'insegnamento della fisica nel '700: Le lezioni della "Fisica particolare" di Sebastiano Canterzani*, Tesi di laurea, relatore G. Dragoni, A.A. 1980/81, *Corso di Laurea in Fisica*, Facoltà di Scienze mm. ff. nn., Università degli Studi di Bologna, 1981.





Figura 3: a) Laura Bassi. b) Sebastiano Canterzani. c) Luigi Galvani [Archivio Storico dell'Università di Bologna – Sezione Fotografica].

te da questo autore – e che sono rappresentative di gran parte della cultura fisica nota e insegnata in questa fase del Settecento a Bologna – riportare con un certo dettaglio i contenuti delle sue lezioni di *Fisica particolare*<sup>9</sup>. Segnaliamo fin d'ora che tanto queste lezioni quanto quelle di *Fisica generale* sono già state studiate dettagliatamente e fatte oggetto di tesi di laurea<sup>10</sup>, che citeremo anche se la nostra attenzione sarà dedicata prevalentemente alle sue lezioni di *Fisica particolare* più concrete e vicine a quelli che potevano essere gli insegnamenti per gli allievi di ingegneria. I contenuti, le metodologie, le sperimentazioni della *Fisica particolare* di Canterzani emergono direttamente dai suoi manoscritti (non datati, ma presumibilmente scritti tra il 1775 e il 1800) conservati presso la Biblioteca Universitaria di Bologna e studiati con attenzione dal Dottor Marco Conti<sup>11</sup>.

Ecco qui di seguito, in forma sintetica, con abbreviazioni e semplificazioni dall'originale manoscritto e così come noi li abbiamo riassunti, i contenuti del “registro” delle 40 lezioni tenute da Sebastiano Canterzani durante i suoi insegnamenti:

- 1) Sulla propagazione rettilinea della luce / Esperimenti; 2) Diffrazione della luce / Esperimenti; 3) Rifrazione / Esperimenti; 4) Rifrazione con lamine di vetro, lenti convesse e concave, camera ottica, occhio / Esperimenti; 5) Microscopio semplice, composto e solare, telescopio astronomico e terrestre / Osservazioni con gli strumenti citati; 6) Rifrazione attraverso i prismi / Esperienze di Newton con le lamelle e con i prismi; 7) Teorie dei colori / Telescopio acromatico, doppia rifrazione; 8) Telescopio

<sup>9</sup> *Ibidem*.

<sup>10</sup> Per la *Fisica generale* citiamo la tesi di S. Binotti, *L'insegnamento della Fisica sperimentale nel '700*, Corso di Laurea in Fisica, Università di Bologna, 1978/79.

<sup>11</sup> Per la *Fisica particolare* ricordiamo la tesi di M. Conti, *L'insegnamento della fisica nel '700*, cit.

a riflessione / Esperienze di Cartesio con globi di vetro e acquei; 9) Calore, equilibrio termico / Funzionamento dei termometri e dei pirometri, dilatazione dei metalli; 10) Capacità termica, Esperienze per dimostrare le proporzioni fra temperatura e capacità; 11) Congelamento ed ebollizione dell'acqua / La pietra focaia; 12) Metodi per evidenziare i segni delle cariche elettriche, conduttori ed isolanti, la macchina elettrica / Esperienze; 13) Conservazione della carica elettrica, fenomeni di attrazione / Esperienze, il *carillon* elettrico; 14) Descrizione del funzionamento del *carillon* elettrico, polarizzazione dei corpi isolanti / Esperienze, elettrometro di Wilson e di Lane; 15) Polarizzazione dei corpi isolanti, il quadro frankliniano, la macchina di Henley / Esperienze; 16) Studio sulle scariche elettriche, la bottiglia di Leyda / Esperienze; 17) La teoria della bottiglia di Leyda / Esperienze; 18) Funzionamento del termometro elettrico, la pistola elettrica, la girandola elettrica / Esperienze con gli strumenti citati; 19) Evidenziazione dei segni delle cariche elettriche, la corrente elettrica attraverso i fili, cenni di elettricità animale / Fusione di fili, scintille nei conduttori di Volta, esperimenti di Volta; 20) L'elettroforo, / Esperienze; 21) La teoria del condensatore di Volta, il quadro frankliniano / Esperienze; 22) Elettricità e fenomeni atmosferici, il parafulmine / Esperienze; 23) Proprietà dell'aria fissa e di quella atmosferica / Ostensione e dimostrazioni; 24) Produzione dell'aria fissa mediante fermentazione / Esperienze illustrative della teoria; 25) Spiegazione del fenomeno della fisiologia della respirazione / Esperienze illustrative; 26) La combustione, il flogisto / Esperienze; 27) Le soluzioni con le arie fisse / Esperienze con macchine pneumatiche; 28) Riflessioni sul principio "mefitico" delle arie fisse / Esperienze; 29) L'aria nitrosa e sua acidità / Osservazioni; 30) Teoria dell'aria nitrosa / Uso dell'eudiometro; 31) Arie infiammabili / Esperienze; 32) Combustione, fuochi d'artificio, pistole elettriche / Esperienze; 33) Lampada ad aria infiammabile, scaldavivande / Esperienze; 34) Misura del consumo d'aria atmosferica nella combustione con l'eudiometro ad aria infiammabile di Volta / Esperienze; 35) Aria vitale e deflogisticata / Esperienze; 36) Produzione di aria deflogisticata con i vegetali, depurazione dell'aria / Esperienze; 37) Consumo di aria deflogisticata, pistola elettrica, fusione dei metalli / Esperienze; 38) Formazione di acqua nella combustione / Esperienze e loro analisi; 39) Il magnetismo, calamite, ferro magnetizzato / Osservazioni empiriche; 40) La bussola, la deviazione e la declinazione magnetica / Esperienze con la limatura di ferro.

Si noti che la prima parte delle sue lezioni (1-8) fu dedicata all'*Ottica*; le lezioni 9-11 riguardavano *Termologia-Termometria* e *Calore*; dalla 12 alla 22 all'*Elettrologia* con la presentazione di numerosi esperimenti di fisica: dalla bottiglia di Leyda agli apparecchi di Volta; dalla 23 alla 38 i temi riguardarono la *Fisica dell'Atmosfera* e quella delle "Arie", temi molto seguiti all'epoca; dalla 39 alla 40 riguardarono il *Magnetismo*. Si noti, inoltre, che ogni singola lezione prevedeva – in accordo al principio generale che reggeva la stessa fondazione dell'Istituto delle Scienze – un sistematico ricorso alla presentazione di apparati e strumenti scientifici e alla presentazione e dimostrazione sul come avvenivano i fenomeni fisici e quali fossero le leggi che li regolavano. Come si può notare dai contenuti sintetici delle sue lezioni, qui sopra brevemente riassunti, ogni argomento e tema affrontato, ogni osservazione e commento, ogni strumento, ogni formulazione teorica, anche se provvisoria, venivano non solo presentate, spiegate e commentate, ma immediatamente illustrate su base dimostrativa

sperimentale, con l'osservazione diretta del fenomeno fisico e dell'utilizzo degli apparati strumentali. Gli allievi venivano ad essere quindi posti in una vera e propria "full immersion" nell'ambiente naturale e nella vita praticamente vissuta attraverso la manifestazione dei principali fenomeni della fisica, delle loro possibili interpretazioni e di tutti gli apparati sperimentali e strumentali che ne erano corredo. Si ha l'impressione che l'efficacia didattica e pratica di insegnamenti come questi – al di là delle interpretazioni teoriche ritenute corrette al tempo ed ora desuete – potessero essere conservati a lungo nella mente degli allievi e particolarmente utili, qualunque fosse la loro successiva attività professionalmente intrapresa. Tra gli allievi di ingegneria che si "graduaron" nel 1808 presso l'Università di Bologna in qualità di ingegnere-architetto ci fu senz'altro il modenese Giovan Battista Amici (1786-1863) che doveva divenire un famoso scienziato e, forse, il più grande *instrument-maker* nelle strumentazioni fisico-astronomiche di tutta Europa. Esiste la pergamena che attesta il conseguimento di questo titolo tra le carte di Amici conservate presso la Biblioteca Estense Universitaria di Modena e presso l'Archivio di Stato di Bologna<sup>12</sup>.

Gli insegnamenti di *Luigi Palcani Caccianemici* (1748-1802) e di *Stefano Longanesi* (1778-1811) ricalcarono sostanzialmente tra la fine del Settecento e i primi anni dell'Ottocento le metodologie e i contenuti di fisica che abbiamo descritto con un certo dettaglio per i casi di Laura Bassi Veratti e di Sebastiano Canterzani. È bene ricordare che con il sostantivo *fisica* gli uomini del Settecento, persino quelli della fine del secolo, designavano la riflessione filosofica sui fenomeni della natura, e quindi il suo ambito era strettamente connesso al concetto di natura cui di volta in volta ci si riferiva. È il caso dei due docenti ora citati. Palcani Caccianemici fu soprattutto un logico e un matematico e in fisica si occupò dei fenomeni legati all'universo dei suoni. È autore di opere scientifiche dal titolo *Sugli accidenti che s'osservano nel suono* e *Del suono e specialmente dell'intensità di esso*. Discepolo di F.M. Zanotti, ne raccolse le *Opere* (1779-1802). Stefano Longanesi fu chiamato nell'Università di Bologna come successore sulla cattedra di Sebastiano Canterzani, suo maestro. Fu professore di Fisica generale tra il 1808 e il 1810. Ai primi dell'Ottocento scrisse in latino un apprezzato testo di fisica<sup>13</sup>.

### 2.19.3. L'Ottocento. Dal trionfo della Fisica classica alla sua crisi ai primi del Novecento

Il passaggio delle metodologie d'insegnamento tra il Settecento e l'Ottocento avvenne, come abbiamo visto in maniera graduale e, si può dire, naturale. In netto contrasto con quanto avvenne a livello politico nella nostra città, che fu letteralmente

<sup>12</sup> G. Tabarroni, *Scienza e tecnologia a Modena fra il Settecento e l'Ottocento. Ragioni e conseguenze della strumentazione topografica di G.B. Amici*, in *La Scienza degli strumenti. Giovanni Battista Amici (1786-1863)*, «Giornale di Fisica», XXIX, 1988, 2-3, pp. 83-96, cit. p. 84. Si veda inoltre G. Dragoni, G.B. Amici, *Il microscopio a riflessione*, *ivi*, pp. 141-167.

<sup>13</sup> P. Pozzetti, *Breve commentario della vita e degli studi di Stefano Longanesi*, Bologna 1812.

sconvolta dagli effetti della rivoluzione francese e dalle occupazioni militari napoleoniche. Per quanto riguarda l'università ricordiamo che fu riformata dal 1802 sul modello di quella di Pavia acquisendo un'organizzazione degli studi simile a quella dell'Istituto delle Scienze (divenuto Istituto Nazionale), ereditandone l'edificio e condividendo con esso le eccezionali dotazioni museali e strumentali. All'Università fu affidato in esclusiva l'insegnamento, all'Istituto l'attività di ricerca. Lo sconvolgimento non riguardò soltanto la società del tempo nel suo complesso, ma ebbe profondi effetti anche sulla vita privata di numerosi docenti dell'università, molti dei quali rifiutarono il giuramento di fedeltà al nuovo ordinamento politico istituito con la Repubblica Cisalpina da Napoleone Bonaparte. Caso emblematico tra tutti fu quello di Luigi Galvani (1737-1798) che dal 1796 fu destituito da tutte le cariche d'insegnamento e da tutte le attività che aveva svolto fino a quel momento, a seguito del suo rifiuto ad adeguarsi alla nuova realtà politica e di giurare ad essa fedeltà. Le conseguenze sulla figura storica di Galvani furono ancora maggiori di quelle patite a livello familiare e personale in quanto i suoi importantissimi studi che aprivano la via verso l'elettricità animale furono per alcuni decenni ignorati e ritenuti errati nel confronto con le interpretazioni più fiscaliste degli stessi fenomeni in accordo all'interpretazione di Alessandro Volta che risultò storicamente il vincitore di quel formidabile scontro culturale. Una sintetica, ma bellissima interpretazione su quegli avvenimenti fu offerta nel 1937 proprio qui a Bologna da Niels Bohr (1855-1962), uno dei fondatori della fisica quantistica, nel suo discorso tenuto in occasione dei Congressi organizzati per il secondo centenario della nascita dello scienziato bolognese. Bohr disse, riferendosi sia a Galvani che a Volta: «ognuno di loro aveva colto una parte della verità, nessuno di loro era disponibile ad accettare la verità dell'altro»<sup>14</sup>. Ancora nel 1937, Bohr commentando il lavoro di ricerca di Galvani, scrisse che il suo: «immortal work [...] inaugurated a new epoch in the whole field of science»<sup>15</sup>.

### ***I docenti dell'Ottocento: fisici e matematici in azione***

L'Ottocento fu un secolo particolarmente complesso da un punto di vista politico in tutta Europa e non solo in Italia. Le guerre napoleoniche sono ben note e non staremo qui a ricordarle così come i numerosi episodi legati ai moti carbonari e alle guerre d'indipendenza. Citeremo invece, seppure sinteticamente, alcune vicende storico-scientifiche che riguardarono nello specifico le trasformazioni storiche che portarono, da un'Italia suddivisa in numerosi stati, all'unificazione politica del nostro territorio nel 1861 con la costituzione del Regno d'Italia sabauda e poi con l'Unità d'Italia dal 1870. Ci sembra indispensabile ricordare qui che a questi ultimi avvenimenti contribuirono in maniera sostanziale numerosi scienziati degli stati italiani.

<sup>14</sup> G. Dragoni, *Ettore e Quirino Majorana tra Fisica Teorica e Sperimentale*, CNR/SIF, Roma-Bologna 2009.

<sup>15</sup> N. Bohr, *Biology and Atomic Physics* [1937], in *Atomic Physics and Human Knowledge*, John Wiley & Sons, New York 1958, pp. 13-22, cit. p. 13.

*Tabella II. La raccolta delle informazioni riportate in questa tabella sono dovute all'impegno delle Dottorese Martina Lodi (allora afferente al Museo di Fisica della nostra Università) e Daniela Negrini (allora Responsabile tecnico dell'Archivio Storico dell'Alma Mater Studiorum dell'Università degli Studi di Bologna). Si veda G. Dragoni (a cura di), "Per Augusto Righi, 12 Aprile 1907", cit., p. XXXII.*

1811-1814	Università di Bologna (Facoltà Fisico-Matematica)	Fisica Generale	Savioli, Gianbattista	Archivio di Stato di Bologna. Università di Bologna, n. 475.
1788-1808	Istituto delle Scienze e Università di Bologna (Facoltà Fisico-Matematica)	Fisica Sperimentale	Aldini, Giovanni	Archivio di Stato di Bologna. Università di Bologna, n. 472
1804-05; 1805-06; 1808	Università di Bologna (Facoltà Fisico-Matematica)	Fisica Sperimentale	Veratti, Paolo	Archivio di Stato di Bologna. Università Napoleonica (1800-1824) n. 476, n. 926
1808-1815	Università di Bologna (Facoltà Fisico-Matematica)	Fisica Sperimentale (1808-1814), Fisica Generale e Sperimentale (1814-1815)	Bacelli, Liberato	Archivio di Stato di Bologna. Università Napoleonica (1800-1824) n.472
1815-1831	Università di Bologna (Facoltà Filosofica)	Fisica (raccoglieva sia la Generale che la Sperimentale dal 1815)	Orioli, Francesco	Archivio di Stato di Bologna. Università pontificia (1824-1859) n. 921
1831-1848	Università di Bologna (Facoltà Filosofica)	Fisica	Gherardi, Silvestro	Archivio di Stato di Bologna. Università pontificia (1824-1859) n. 908, n. 909, n. 918.
1851-1870	Università di Bologna e Regia Università di Bologna (Facoltà Filosofica, poi Facoltà Matematica, poi Facoltà di scienze fisiche, matematiche e naturali)	Fisica	Della Casa, Lorenzo	Archivio di Stato di Bologna. Università pontificia (1824-1859) n. 915
1871-1889	Regia Università (Facoltà di scienze fisiche, matematiche, naturali)	Fisica	Villari, Emilio	Archivio storico dell'Università di Bologna, Professori ordinari, pos. 4/a, fasc. n. 179
1889-1907	Regia Università (Facoltà di scienze fisiche, matematiche, naturali)	Fisica	Righi, Augusto	Archivio storico dell'Università di Bologna, Professori ordinari, pos. 4/a, fasc. n. 137

Sia in maniera pacifica, con l'organizzazione dei numerosi congressi degli scienziati italiani (1839-1875) nelle principali capitali degli stati italiani del tempo (a Pisa, nel 1839, e successivamente negli anni a seguire a Torino 1840, Firenze 1841, Padova 1842, Lucca 1843, Milano 1844, Napoli 1845, Genova 1846, Venezia 1847, ed, in

età post-unitaria, a Firenze 1861, Siena 1862, Roma 1873 e, infine, a Palermo nel 1875)<sup>16</sup>, sia in maniera personale e diretta, guidando militarmente in diverse occasioni i battaglioni universitari (si pensi, tra gli altri, a scienziati che operarono nel campo delle discipline fisico-matematiche quali Ottaviano Fabrizio Mossotti, Carlo Matteucci, Silvestro Gherardi) che facevano parte degli eserciti piemontesi e dei loro alleati che si scontrarono durante il Risorgimento con le truppe delle coalizioni a sostegno dello Stato pontificio.

Ma quali furono i personaggi e i docenti che esercitarono l'insegnamento della Fisica nella nostra Università e nel nostro Istituto delle Scienze nell'Ottocento, e quale fu il loro comportamento nei confronti degli episodi sopra accennati?

Per comodità del Lettore riportiamo, qui di seguito, i nominativi, gli archi temporali della loro esistenza e la provenienza dei principali docenti: Gianbattista Savioli (Bergamo 1748 – Pavia 1823); Giovanni Aldini (Bologna 1762 – Milano 1834); Paolo Veratti (Bologna 1753 – Bologna 1831); Liberato Baccelli (Lucca 1772 – Lucca 1835); Francesco Orioli (Vallerano, Viterbo 1783 – Roma 1856); Silvestro Gherardi (Lugo 1802 – Firenze 1879); Lorenzo Della Casa (Lugo 1803 – Bologna 1870); Emilio Villari (Napoli 1836 – Napoli 1904); Augusto Righi (Bologna 1850 – Bologna 1920). Nella Tabella II abbiamo riportato per ciascuno dei docenti sopra riportati anche il nome della disciplina d'insegnamento, e il periodo in cui fu loro assegnato tale incarico, e le fonti di tali informazioni fornendo così un quadro sintetico e rappresentativo dell'insegnamento della fisica nella nostra città in quel secolo. Qualche informazione in più, anche se sintetica, sui vari insegnanti dell'epoca, in particolare su quelli meno noti, sarà data nel seguito di questa presentazione integrandola con qualche indicazione bibliografica per consentire al Lettore eventuali approfondimenti.

*Giambattista Savioli*, laureatosi in teologia a Roma nel 1770, barnabita, insegnò Fisica generale all'Università di Bologna tra il 1811 e il 1814. Chiamato dopo questa fase della sua vita a Pavia, insegnò presso l'università tra il 1814 e il 1823 Filosofia teoretica e pratica; in quell'università tra il 1821 e il 1822 ricoprì anche la carica di Rettore. Tra le sue monografie ne ricordiamo alcune su questioni di fisica e il suo manuale dal titolo *Instituzioni dinamiche* edito a Milano nel 1783 presso lo stampatore Galeazzi, quando Savioli era professore di matematica nel Collegio Imperiale del capoluogo lombardo. Il volume era destinato soprattutto agli allievi di quel collegio e si proponeva di offrire a loro una solida teoria meccanica, fondata sulle leggi delle forze e dei moti, con un *excursus* storico-scientifico che vedeva le presenze di Aristotele, Cartesio, Galileo, Newton, Maclaurin, Eulero, d'Alembert... Il docente che resse l'insegnamento della Fisica dopo Savioli fu *Giovanni Aldini*, bolognese,

<sup>16</sup> G. Pancaldi (a cura di), *I congressi degli scienziati italiani nell'età del positivismo*, CLUEB, Bologna 1983; G.B. Marini Bettolo, R. Capasso (a cura di), *Gli scienziati italiani e le loro riunioni, 1839-1847: attraverso i documenti degli archivi dell'Accademia nazionale delle scienze detta dei XL e della Società italiana per il progresso delle scienze*, Accademia nazionale delle scienze detta dei XL, Roma 1991; F. Barbagli, *Firenze e le riunioni preunitarie degli scienziati italiani*, in *Firenze scienza: le collezioni, i luoghi e i personaggi dell'Ottocento*, Polistampa, Firenze 2009.

nato nel 1762, figlio di Giuseppe Aldini, docente di Diritto all'Università, e fratello di Antonio Aldini uomo politico di età napoleonica. Sua madre, Caterina Galvani, era sorella del celebre medico, fisiologo e fisico Luigi Galvani. Giovanni Aldini ne difese e diffuse le importanti scoperte sull'elettricità animale, estrapolandole anche in maniera pubblica, drammaticamente sconvolgente. Professore sostituto di Fisica sperimentale all'Istituto delle Scienze tra il 1785 e il 1802, ebbe la cattedra di Fisica sperimentale presso l'Università di Bologna sostituendo il suo maestro Sebastiano Canterzani nel 1798. I suoi viaggi a Londra, Parigi e Gottinga lo resero particolarmente celebre all'estero, in particolare in Francia e Inghilterra, dove tenne numerose conferenze sperimentali. Nel 1807 pubblicò a Londra uno studio sul galvanismo intitolato *An account of the late improvements in Galvanism*. Di grande interesse il sottotitolo del libro: *With a series of curious and interesting experiments performed before the commissioners of the French national institute and repeated lately in the anatomical theatres of London*; così come il titolo dell'Appendice al volume: *Containing the Author's experiments on the body of a malefactor executed at Newgate. Illustrated with engravings*, che rendono conto delle notevoli capacità sperimentali di Aldini e della visionarietà del suo sogno di ridare movimento e vita ai corpi dei defunti. Infatti la speranza di Aldini era che in determinate condizioni fosse possibile riportare in vita un cadavere mediante stimoli elettrici. Si trattò di un sogno che ebbe un celebre sviluppo letterario nel noto romanzo *Frankenstein, The Modern Prometheus* (pubblicato nel 1818) scritto da Mary Godwin Wollstonecraft (moglie del poeta Percy Bysshe Shelley). Rilevanti le ricerche di Giovanni Aldini sulle proprietà isolanti dell'amianto, su dispositivi antincendio e sulla costruzione dei fari e sull'illuminazione. Fu il primo a realizzare una illuminazione cittadina a gas nel 1818.

*Paolo Veratti* (1753-1831), bolognese, figlio di Giuseppe e di Laura Bassi, la cui grande fama pesò psicologicamente su di lui, si laureò nel 1780 in Filosofia e medicina. Fu sostituto del professore di Fisica nell'Istituto delle Scienze tra il 1786 e il 1803. Tra il 1797 e il 1803 fu direttore del Gabinetto di Fisica dell'Istituto. Tra il 1807 e il 1824 fu ripetitore di Fisica sperimentale. Si noti il lungo periodo trascorso nella qualità di ripetitore senza ottenere il titolo di professore in quanto le sue qualità non erano state particolarmente apprezzate.

*Liberato Baccelli* (Lucca 1772 – Lucca 1835) studiò a Roma presso l'Istituto delle Scuole Pie, dal 1795 e insegnò Filosofia a Correggio, dove iniziò la sua attività di ricercatore e sperimentatore nel campo della fisica. Nel 1808 fu chiamato alla cattedra di Fisica a Bologna sino al 1815 quando fu sostituito da Francesco Orioli. In seguito alle vicende politiche di quegli anni si trasferì a Milano per qualche tempo. Dal 1817 riprese la sua attività di insegnante a Correggio. Dal 1825 in poi insegnò Fisica sperimentale presso l'Università di Modena. Liberato Baccelli comprese la validità della legge di Boyle-Mariotte relativamente ad un gas in generale, come legge limite cui si avvicina il comportamento dei "gas reali" e la sua piena validità solo per un "gas perfetto". A lui si deve la prima liquefazione di un gas: l'ammoniaca. Convinto della bontà della teoria elettromagnetica di Ampère per cui i fenomeni magnetici sono da considerare come manifestazioni esterne di correnti interne circolanti nei corpi ma-

gnetici, realizzò presso l'Università di Modena un grande banco di Ampère a scopo dimostrativo e di ricerca, ora conservato presso i Musei civici della città<sup>17</sup>.

*Francesco Orioli* (Vallerano, Viterbo 1783 – Roma 1856) divenne professore di Fisica sia *generale* che *sperimentale* dal 1815 presso l'Università di Bologna succedendo nell'insegnamento a Liberato Baccelli. Membro della Commissione del Reno per i lavori idraulici (1818-1831) e della Commissione delle risaie (1830), Orioli fu coinvolto, se non ne fu un promotore, nelle vicende risorgimentali di quegli anni partecipando attivamente ai moti del 1830, divenendo ministro della pubblica istruzione nel governo delle province unite<sup>18</sup>. Personaggio dotato di grande duttilità, con l'avvento della restaurazione, fu destituito dal suo insegnamento e andò in esilio (1831-1846) ove insegnò varie discipline presso diverse università straniere: a Parigi insegnò Archeologia e antichità etrusche alla Sorbona, Psicologia a Bruxelles, Fisica a Corfù. Fu Presidente della sezione di fisica-matematica durante i congressi degli scienziati italiani a Padova (1842), a Milano (1844) e a Napoli (1845). Dopo avere accettato l'amnistia di Pio IX, ritornò a Roma nel 1846 dove insegnò Storia antica e Archeologia alla Sapienza<sup>19</sup>.

*Silvestro Gherardi* (Lugo 1802 – Firenze 1879), allievo di Francesco Orioli, dovette a lui la sua carriera universitaria, in quanto fu convinto da Orioli a divenire suo assistente dal 1823 al 1826 e a rinunciare al conseguimento del diploma per il corso pratico da ingegnere. In realtà Gherardi aveva pubblicato il suo primo saggio scientifico sin dal 1821 ponendosi nell'alveo degli studi legati alla tradizione del galvanismo bolognese. Nel 1824 pubblicò a Bologna presso la tipografia Bortolotti e Felcini la traduzione (con note ed aggiunte) del *Trattato d'elettricità dinamica* di G.F. Demonferrand, edito originariamente nel 1823 a Parigi. Tra i suoi primi lavori originali ricordiamo la memoria *Soluzione e dimostrazione d'alcuni problemi e teoremi sulle serie doppie*, in *Nuova Collezione d'opuscoli scientifici*, Bologna, 1825, pp. 153-170. Particolarmente interessato ai nuovi studi di elettromagnetismo, presentò il lavoro *Osservazioni sopra alcune esperienze elettro-magnetiche del sig. cav. L. Nobili, ibid.*, Bologna, 1825, pp. 3-27, in cui difese A.M. Ampère dalle critiche di L. Nobili, ricevendone una apprezzata lode dallo stesso Ampère<sup>20</sup>. Dal 1827 comincia ad insegnare a Bologna, divenendo professore sostituto per le cattedre di Fisica,

<sup>17</sup> G. Lugli, *Elogio del Professore di Liberato Baccelli*, «Memorie della Società italiana delle Scienze», XXIII (1844), pp. 87-113; L. Picanyol, *Un grande scienziato. Liberato Baccelli delle Scuole Pie. Nella ricorrenza del primo centenario della morte*, Scolopi di S. Pantaleo, Roma 1936.

<sup>18</sup> Province Unite Italiane fu la denominazione del governo provvisorio instaurato in alcuni territori dello Stato Pontificio e nei ducati di Parma e Modena dal 5 febbraio al 26 aprile 1831, in seguito alla Sommosa popolare a Bologna, Ferrara, Forlì, Ravenna, Ancona, Perugia, Parma e Modena, allorché il 5 febbraio fu dichiarato decaduto il potere temporale del papa e cessò il dominio dei duchi emiliani.

<sup>19</sup> F. Manaresi, *Francesco Orioli e la rivoluzione del 1831*, Analisi, Bologna 1990; M. Leone, A. Paoletti, N. Robotti, *La Fisica nei "Gabinetti di Fisica" dell'Ottocento: Il caso dell'Università di Genova*, in «Giornale di Fisica», vol. 50, 3, 2009, pp. 135-154.

<sup>20</sup> A.-M. Amperè, in *Annales de chimie et de physique*, XXIX, 1825, pp. 373-381; si veda anche G. Dragoni, *Silvestro Gherardi*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 53, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, Roma 1999, pp. 582-585.



Meccanica, Idraulica, Ottica e Astronomia. Partecipò ai moti del 1831 in qualità di colonnello del battaglione universitario. Dalla fine del 1831 al 1848 fu professore di Fisica a Bologna. Esempio di quella generazione di scienziati direttamente impegnati nel rinnovamento politico, partecipò agli avvenimenti del 1848-49. Tra l'aprile e il luglio del 1849 esercitò le funzioni di ministro interinale della Pubblica istruzione presso il governo della Repubblica Romana. Tra il 1851 e il 1857 insegnò Meccanica applicata presso l'Università di Genova. Rifugiato nel Regno di Sardegna, dal 1857 al 1861 ricoprì la cattedra di Fisica generale e sperimentale all'Università di Torino e la direzione del Gabinetto scientifico. Fu direttore dell'appena costituito Istituto tecnico di Bologna (1862-1867) e dal 1867 al 1879 direttore dell'Istituto tecnico di Firenze. Esperto di elettricità, magnetismo e di ottica, fu anche storico della scienza; gli dobbiamo, tra l'altro, la conservazione dei testi delle dispute tra Tartaglia e Ferrari (1547) sulla risoluzione delle equazioni algebriche cubiche, così come l'edizione delle opere edite ed inedite<sup>21</sup> di Luigi Galvani (1841), la raccolta di manoscritti e documenti di Alessandro Volta (1860) e il suo saggio *Il processo a Galileo riveduto sopra documenti di nuova fonte* (1870)<sup>22</sup>.

*Lorenzo Della Casa* (Lugo 1803 – Bologna 1870) ottenne la laurea filosofico-matematica nel 1824 a Bologna. Fu professore di Fisica tra il 1851 e il 1870. Di lui si conoscono una ventina di articoli di cui una quindicina pubblicati nelle *Memorie dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna*. Celebri le sue ricerche sull'elettricità atmosferica e sull'elettrodinamica. I testi da lui utilizzati per l'insegnamento della fisica sono – come sottolineato dal professor Dino Zanobetti nella sua bella indagine su *Elettrotecnica e comunicazioni elettriche nell'Università di Bologna: dal 1800 al 1950* – i classici manuali della letteratura francese dell'epoca e cioè il Pouillet e il Ganot<sup>23</sup>. Per una analisi dettagliata della sua opera si consiglia lo studio, pubblicato in occasione della sua scomparsa, da Gualtiero Sacchetti<sup>24</sup>. Ci sembra importante ricordare che proprio durante il periodo in cui Lorenzo Della Casa impartiva le lezioni di fisica sperimentale, si realizzò un'importante modifica nell'organizzazione degli studi universitari a Bologna, in particolare per quelli che consentivano agli allievi di ingegneria di potere esercitare la libera professione. In quell'epoca il corso degli studi regolari per divenire ingegnere durava cinque anni. Al primo e secondo anno venivano impartite anche le lezioni di fisica sperimentale. Superati tutti gli esami del primo anno (Storia naturale, Architettura civile, Introduzione al calcolo, oltre alla Fisica sperimentale già ricordata) si doveva effettuare un *Esame di passaggio* al secondo anno. Alla fine del quale si doveva superare l'*Esame di Baccellierato*. Poi, dopo gli esami del terzo anno, si doveva affrontare l'*Esame di Licenza*. Nel quarto

<sup>21</sup> *Opere Edite ed Inedite del Professore Luigi Galvani* a cura di S. Gherardi, Dall'Olmo, Bologna 1841.

<sup>22</sup> S. Gherardi, *Il processo a Galileo riveduto sopra documenti di nuova fonte*, «Rivista europea», I (1870), 3, pp. 3-37, 398-419, per il quale nel 1848 aveva avuto libero accesso a Roma all'Archivio del Sant'Uffizio.

<sup>23</sup> C.-S.-M. Pouillet, *Éléments de physique expérimentale et de météorologie*, Parigi 1827; A. Ganot, *Traité élémentaire de physique expérimentale et appliquée et de météorologie*, Parigi 1851.

<sup>24</sup> G. Sacchetti, *Sulla vita e sui lavori di Lorenzo Della Casa*, in «Memorie dell'Accademia delle Scienze», 3, 1, 1870-1871, pp. 245-272.

anno, oltre agli esami previsti, si doveva effettuare un periodo di pratica nello studio di un ingegnere professionalmente accreditato e alla fine un *Esame di Laurea*. Dopo il quinto anno, superati tutti gli esami (ed effettuato di nuovo un periodo di pratica formazione in un studio ingegneristico), si poteva superare l'*Esame di libera pratica*.

Nel 1859 fu promulgata la *Legge Casati* dal Regno d'Italia e si istituiva la *Regia Scuola di Applicazione per la formazione degli Ingegneri*. Nel 1862 fu emanato il Regolamento universitario con l'istituzione di vari corsi di laurea organizzati dalla Facoltà di Scienze: laurea in Scienze matematiche pure, in Scienze fisico-matematiche, in Scienze fisico-chimiche, in Storia naturale. I primi due corsi di laurea ora citati prevedevano la possibilità (dopo il superamento di tre anni di studio) della progressione verso la formazione e il diploma da ingegnere. L'insegnamento della Fisica veniva impartito al biennio (sia al primo che al secondo anno). Il primo di novembre del 1862 un Decreto del Regio ministero della pubblica istruzione stabiliva che gli allievi dell'Università di Bologna che avessero superato i primi tre anni dei corsi di laurea in scienze matematiche pure o fisico-matematiche potevano accedere al *Corso pratico* (biennale) *per ingegneri civili e architetti*. Naturalmente, le modifiche legislative per la regolamentazione delle università continuarono ripetutamente ad essere promulgate nel corso degli anni seguenti. Dopo un periodo transitorio piuttosto complesso e tormentato, a partire dal 1877/78 fu istituita nella nostra città una vera e propria *Scuola di applicazione per ingegneri* (con due sezioni, una per ingegneri civili e l'altra per architetti), annessa alla Facoltà di scienze fisiche, matematiche e naturali. Direttore della Scuola fu nominato il celebre ingegnere idraulico e uomo politico modenese professor Cesare Razzaboni (1827-1893). Il triennio di ingegneria, a cui si accedeva dopo avere superato un biennio di matematica pura o di fisica matematica, prevedeva lezioni di Fisica tecnica, oltre come è logico, tutta una serie di esami specialistici per ingegneri. Nel 1935 la Scuola divenne *Facoltà di Ingegneria*.

Scomparso Della Casa nel 1870, gli successe *Emilio Villari* (Napoli 1836 – Napoli 1904) fisico, fratello di Pasquale, noto uomo politico del tempo<sup>25</sup>, studiò presso l'Istituto Superiore di studi pratici e di perfezionamento di Firenze fondato nel 1859 con carattere universitario. Terminati gli studi si perfezionò dal 1864 a Berlino dove frequentò il laboratorio del fisico Gustav Magnus. Dal 1865 al 1867 fu docente presso il Liceo *Dante* e presso l'Istituto tecnico *Galileo Galilei* di Firenze. Tra il 1871 e il 1889 fu professore di Fisica presso la Regia Università di Bologna. Dal 1865 i suoi interessi furono attratti dagli studi sul ferromagnetismo intrapresi da Magnus che riguardano la dipendenza della magnetizzazione del ferro dalla variazione del campo magnetico. Villari divenne celebre con la scoperta dell'inversione di suscettività magnetica di un materiale sottoposto a *stress* meccanico. Inversione chiamata anche "Effetto Villari". Sulla base degli studi condotti Villari meritò la Medaglia Matteucci assegnatagli nel

<sup>25</sup> Pasquale Villari (Napoli 1826 – Firenze 1917), storico e uomo politico, fuggì a Firenze dopo aver partecipato al moto napoletano del 1848. Fu docente di Storia all'Università di Pisa (1859). Intrapresa la carriera politica divenne deputato, senatore e ministro della Pubblica istruzione (1891/92). Insegnò all'Istituto di studi superiori di Firenze (1865-1913).

1881 dall'Accademia nazionale delle scienze detta dei XL. A Bologna il soggiorno di Villari presso l'università non fu tra i più tranquilli essendo stato accusato (e poi assolto) di avere venduto alcuni antichi microscopi (tra cui forse uno appartenuto a Marcello Malpighi) per potere retribuire alcuni tecnici che lavoravano per lui presso il gabinetto di Fisica dell'università<sup>26</sup>. Dal 1889 al 1904 Villari ricoprì la carica di professore di Fisica sperimentale e di direttore dell'Istituto di Fisica presso l'Università di Napoli, essendo anche direttore dell'Osservatorio vesuviano. Dal nostro punto di vista la sua figura riveste un notevole interesse mostrando come diversi fisici italiani si stessero specializzando in strutture universitarie e/o politecnici esteri, e che, nonostante le vicende politiche del tempo, legate alla conquista di Roma e al Regno d'Italia (1870), gli insegnamenti dei docenti dovevano avere una certa efficacia. Prova ne sia che un suo giovane allievo, *Augusto Righi*, divenuto suo assistente ancor prima di terminare gli studi universitari (si diplomò come ingegnere-architetto dopo avere seguito i corsi universitari completi di matematica) proseguisse efficacemente le sue ricerche. È singolare infatti che solo un anno dopo l'assegnazione concessa a Villari della medaglia Matteucci il suo successore nel meritare il premio fosse proprio il suo assistente Augusto Righi, che dopo una carriera trascorsa tra Palermo e Padova, succederà a lui sulla cattedra di Bologna dal 1889. Nuovamente – come già segnalato nell'introduzione a questo lavoro – saremo obbligati, per descrivere le modalità degli insegnamenti della Fisica dell'Ottocento, ad effettuare scelte selettive analizzando, con un certo dettaglio, solo l'opera e l'attività di qualche esponente più rappresentativo, o meritatamente famoso, tra i fisici che insegnarono la loro disciplina in quel secolo. In particolare, la nostra attenzione si concentrerà sugli insegnamenti impartiti da Augusto Righi, anche perché la sua esperienza in tal senso attraversò tutta l'Italia: da Bologna a Palermo (1880-85), da Palermo a Padova (1886-89), da Padova a Bologna (1889-1920), ove si concluse la sua straordinaria esperienza di ricerca e di vita.

Al di là delle attività didattiche e delle dimostrazioni sperimentali con cui Righi presentava le proprie lezioni agli allievi e che, come abbiamo scritto e che tratteremo in dettaglio tra poco, ricordiamo che numerosissimi furono i sussidi didattici realizzati da Augusto Righi nell'arco della sua vita, sia per favorire l'apprendimento della fisica degli allievi universitari con litografie, dispense e libri, sia per un'ampia diffusione della cultura scientifica (con testi quasi sempre editi dalla Casa Editrice Zanichelli di Bologna), sia nella realizzazione di numerosi apparati e strumenti finalizzati alla didattica dell'insegnamento. In questo nostro scritto offriremo due esempi dei suoi sussidi didattici di carattere letterario-scientifico, a livello universitario, che ora affronteremo. Il primo è costituito dalle litografie edite presso l'Università di Padova nel 1885/86 relative ad un suo corso di Fisica. Il materiale litografato a nostra disposizione fu raccolto dagli allievi Italo Antonelli e Alberto Cavazzani sulla base di manoscritti in bella calligrafia di Augusto Righi corredate da efficaci riproduzioni di strumenti, schemi e formule. Il testo a nostra disposizione riguarda

---

<sup>26</sup> G. Tabarroni, *Vicende di antichi strumenti. La "Vertenza Villari" (1871-1888)*, inedito consegnato personalmente dall'A. a G. D.



Figura 4. Frontespizio e pagine di testo delle lezioni di fisica litografate nel 1885/86 da Augusto Righi in cui abbiamo voluto evidenziare la ricchezza delle strumentazioni proposte e la complessità degli esperimenti eseguiti per gli allievi.

L’*Ottica* e consiste di 324 pagine, di cui l’ultima lezione porta la data del 15/06/1886. Seguono 20 pagine numerate I-XX che illustrano in maniera approfondita argomenti di fisica-matematica e 4 pagine contenenti 26 *Quesiti* che riportano sintetiche domande per verificare l’apprendimento (ovvero l’autoapprendimento) degli argomenti da parte degli allievi. Le ultime 3 pagine riportano indicazioni di *Errata e Corrige*. Complessivamente sono trattati 197 argomenti di *Ottica* in cui l’*Ottica* fisica è trattata dal paragrafo 148 al 197.

#### 2.19.4. Il Novecento. I primi cinquanta anni, tra due guerre mondiali

Anche per il Novecento la nostra trattazione non potrà non essere organizzata sulla base di alcune scelte interpretative di tipo selettivo. Dovremo cioè effettuare un “taglio” nella lettura dei numerosi documenti riguardanti l’insegnamento della fisica nel Novecento. Anche in questo caso procederemo con l’inevitabile trattazione dettagliata solo di qualcuno dei numerosi docenti che si succedettero sulla cattedra di fisica in questo secolo. In particolare il nostro discorso si concentrerà sulle figure di Augusto Righi, Quirino Majorana, Giorgio Todesco attraverso i quali potremo documentare il passaggio dalla fisica classica a quella quanto-relativistica, segnalando altresì notevoli cambiamenti nelle modalità delle presentazioni didattico-sperimentali degli argomenti e i radicali mutamenti sociali.

Ma chi era Righi e cosa aveva fatto? Augusto Righi nacque a Bologna il 27 agosto 1850, dopo aver frequentato il triennio delle scuole tecniche (1861-64), si iscrisse all’Istituto tecnico di Bologna nel corso di Matematica e fisica, dove ebbe come insegnante Antonio Pacinotti (1841-1912). Ottenuta la licenza (1867), Righi frequentò il corso di laurea di Matematica dell’Università di Bologna, dove fu allievo di Eugenio Beltrami (1835-1900), suo referente scientifico per molti anni. Nel 1870,

prima di terminare gli studi universitari, Righi divenne assistente, per il biennio 1872-74, del professore di Fisica Emilio Villari (1836-1904) presso il Gabinetto di Fisica dell'università. Completati i quattro anni di studi (1871) ne frequentò un quinto, che gli consentì di ottenere il diploma di libero esercizio come ingegnere civile e architetto (1872). La sua dissertazione portò alla realizzazione di una macchina elettrostatica che consentiva misure molto precise. Si trattava di un moltiplicatore di cariche, che anticipò il generatore di Robert J. Van de Graaff (1901-1967), realizzato poi negli anni Trenta del Novecento<sup>27</sup>.

Nell'anno in cui Pacinotti lasciò Bologna e l'Istituto tecnico per l'università di Cagliari (1873) fu Righi a succedergli come incaricato, per poi ottenere la sua cattedra (1877-1880). Righi nel 1880 fu chiamato ad insegnare Fisica sperimentale a Palermo (1880-1885), dove, anni dopo, Orso Mario Corbino (1876-1937) poté considerarsi suo allievo indiretto. Insegnò poi a Padova (1885-1889) e a Bologna (1889-1920). Impossibile qui riassumere tutti i principali risultati scientifici raggiunti da Righi nella sua vita, così come i numerosissimi premi assegnatigli. Qui ricordiamo solo la sua realizzazione del primo altoparlante e microfono, l'anticipazione dei procedimenti fotostatici, la conferma sperimentale della teoria elettromagnetica della luce e, contemporaneamente, la realizzazione del suo oscillatore a 3 scintille, vero e proprio ed affidabile generatore di onde elettromagnetiche, che doveva avere una formidabile utilizzazione nella prima versione del sistema di telegrafia senza fili di Guglielmo Marconi. Fu inserito nella lista dei meritevoli del premio Nobel per la Fisica ininterrottamente dal 1905 al 1920, premio che non gli fu mai assegnato<sup>28</sup>.

Per documentare l'attività didattica di Augusto Righi nel corso della sua vita, riporteremo anche una sintesi delle sue lezioni di Fisica tenute nell'A.A. 1901/02 presso l'Università di Bologna. La distanza di circa 15 anni tra questi due sussidi didattici ci permette di formulare una valutazione ancora più approfondita sulle conoscenze e metodologie utilizzate da Righi per le sue lezioni. Sempre molto chiare e ricche di strumenti, apparati ed esperimenti illustrativi dei più importanti concetti e delle più significative leggi della fisica del tempo. In questo caso la sua *Fisica sperimentale* fu raccolta come appunti dall'allievo Adolfo Franchini durante l'intero anno degli studi. Gli argomenti trattati in questo volume – il volume 1, il solo rintracciabile; il volume 2, che doveva trattare di elettricità e magnetismo, sembra non più disponibile nelle biblioteche pubbliche italiane – riguardano l'*Acustica* e precisamente nelle pagine 5-159 che sono corredate da 118 figure che illustrano strumenti, apparati sperimentali ed esperimenti. Il tutto corredate da molte formule e, addirittura, da 26 note storiche sui principali scienziati citati nel testo. Segue poi l'*Ottica* illustrata tra le pagine 161-452, anche in questo caso vi sono una trentina di note e ben 161 illustrazioni.

---

<sup>27</sup> A. Righi, *Descrizione di un elettrometro ad induzione*, in *Il Nuovo Cimento*, s. II, tomo V e VI, 1872, pp. 123-136.

<sup>28</sup> G. Dragoni, *Augusto Righi: Fisico e Matematico, una rilettura biografica*, in *Quaderni di storia della fisica del «Giornale di Fisica»*, n. 19, 2017, pp. 47-71.

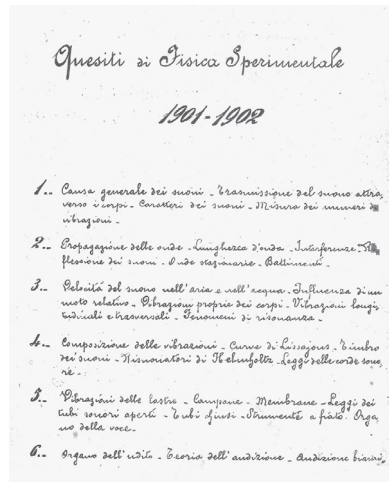
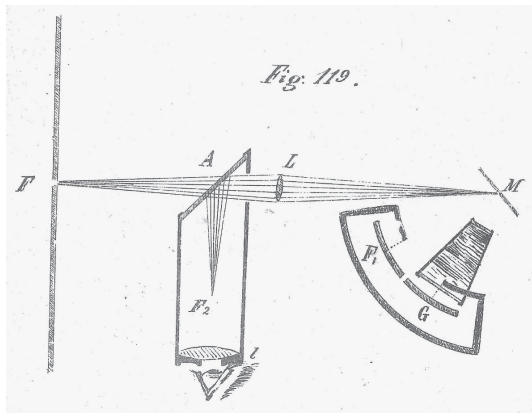
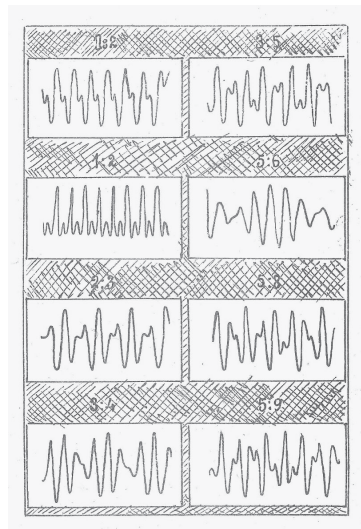
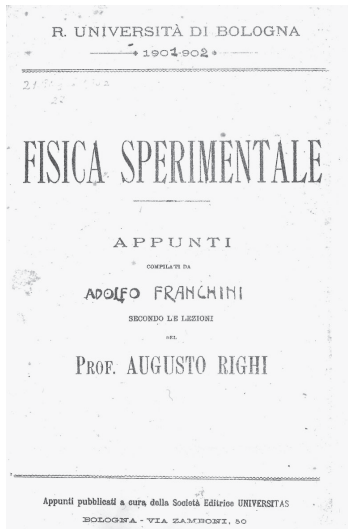


Figura 5. Frontespizio e immagini tratte dalla “Fisica sperimentale” edita nel 1901 da Augusto Righi. Si noti la figura 119 che riproduce il complesso apparato sperimentale per la determinazione della misura della velocità della luce secondo il metodo di Foucault.

Infine abbiamo la *Termologia* che viene presentata tra le pagine 455 e 555 con un ricco corredo di illustrazioni, che documentano strumenti, apparati sperimentali ed esperimenti. Tra le pagine 557-559 sono proposti 24 dettagliati *Quesiti di fisica*. Tutti i temi sono presentati con una quasi incredibile ricchezza di apparati e strumentazioni che documentano un testo molto ricco di formule matematiche. Non mancano riferimenti agli aspetti fisiologici degli organi di senso e i riferimenti alle strumentazioni più recenti allora in uso. L'impressione generale che si ricava è quella di un corso di grandissimo interesse, estremamente chiaro e documentato. Si può notare

in maniera evidente che tra il 1885 e il 1900 (confrontando, come abbiamo fatto, le sue dispense prodotte in questi anni accademici) Augusto Righi si era documentato e aveva lavorato intensamente con una capacità di comprensione delle leggi dei fenomeni fisici e delle relative strumentazioni veramente sorprendenti. L'impressione personale è che sarebbe stato bellissimo ed estremamente interessante poter seguire un Corso come quello. Possiamo dire di più, sarebbe particolarmente utile, stimolante e formativo anche al giorno d'oggi (2019). Augusto Righi era rientrato a Bologna nel 1889 e proprio in quegli anni tra i suoi allievi alle sue lezioni di fisica, ma anche di meteorologia, figurava, come libero uditore, un giovane (Guglielmo Marconi) dotato di grande competenza specialistica e di grande inventiva. Marconi seguì con profondo interesse soprattutto gli esperimenti di Augusto Righi che confermavano la teoria elettromagnetica della luce di Maxwell e che riprendeva, perfezionava, integrava e miniaturizzava gli esperimenti realizzati tra il 1887 e il 1888 da Heinrich Hertz (1857-1894), per la conferma della teoria elettromagnetica della luce.

La genialità del giovane Marconi seppe comprendere immediatamente che le onde elettromagnetiche di cui si era dimostrata l'esistenza e l'efficacia in numerosi occasioni sotto i suoi occhi – in particolare con l'Oscillatore a 3 scintille di Righi, un vero e proprio generatore di onde elettromagnetiche affidabile e funzionante con continuità – potevano essere utilizzate per un vero e proprio sistema di tele-comunicazione a distanza. Come è noto Marconi riuscì nel giro di pochi anni a brevettare il suo *Sistema di telegrafia senza fili* (1896) e a raggiungere un successo planetario. Qui vogliamo sottolineare soltanto l'efficacia delle lezioni impartite dai docenti dell'Università di Bologna e la ricettività e fantasia creatrice degli allievi che le seguivano. Augusto Righi insegnerà fisica a Bologna in qualità di direttore dell'Istituto di fisica sino al 1919. In quell'anno per motivi di salute Righi si farà aiutare nei suoi doveri dal suo allievo e collaboratore di tutta una vita *Lavoro Amaduzzi*, che diverrà suo sostituto per un biennio.

*Tabella III. I Direttori dell'Istituto di Fisica di Bologna dal 1907 al 1953 (con un elenco dei loro principali collaboratori) che tennero i corsi d'insegnamento della Fisica di quel periodo. La raccolta delle informazioni riportate in questa tabella sono dovute all'impegno delle dottoresse Martina Lodi (allora afferente al Museo di Fisica della nostra Università) e Daniela Negrini (allora Responsabile tecnico dell'Archivio Storico dell'Alma Mater Studiorum dell'Università degli Studi di Bologna). Si veda G. Dragoni (a cura di), "Per Augusto Righi, 12 Aprile 1907", cit., p. XXXII.*

Anno	Direttore dell'Istituto di Fisica	Capo Tecnico / Responsabile dei Servizi Generali
1907-1919	Augusto Righi	Ugo Rangoni
1919-1921	Lavoro Amaduzzi (Direttore incaricato)	Ugo Rangoni
1921-1942	Quirino Majorana	Ugo Rangoni (fino al 1931) Roberto Rossi (1931-1938) Luigi Testoni (dal 1938)
1942-1947	Gilberto Bernardini	Luigi Testoni
1948-1953	Giorgio Valle	Renato Bassi



Figura 6. L'inaugurazione dell'Istituto di Fisica dell'Università in via Irnerio alla presenza del promotore Augusto Righi e del Gotha della fisica italiana del tempo (12 aprile 1907).

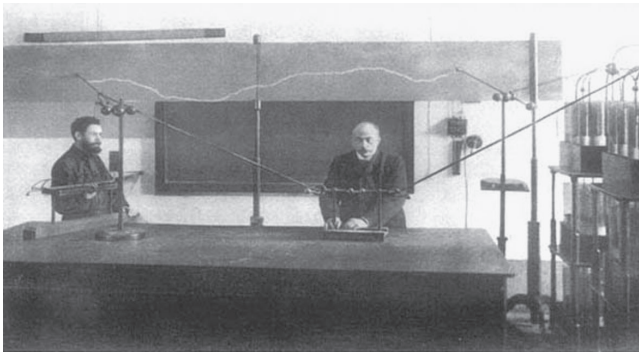


Figura 7. Augusto Righi impegnato nello studio delle scariche elettriche e dei fenomeni elettromagnetici in una foto dei primi del Novecento che lo ritrae con il suo assistente Bernhard Dessau.

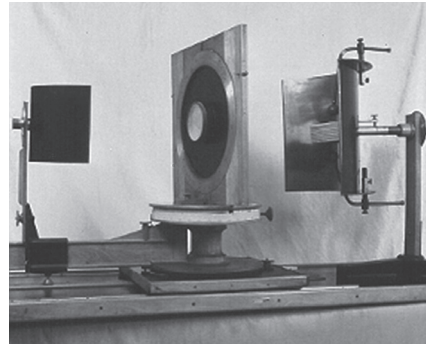
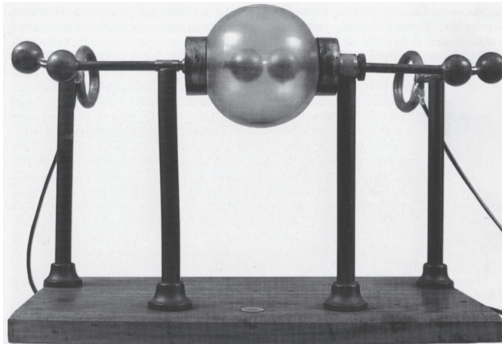


Figura 8: a) L'oscillatore a 3 scintille di Augusto Righi (1893), vero e proprio affidabile trasmettitore di onde elettromagnetiche; b) Il banco per le ricerche sulle proprietà e leggi ottiche delle onde elettromagnetiche, usato da Righi anche a lezione tra il 1894 e il 1895.

Dopo la scomparsa di Augusto Righi nel 1920, che Orso Mario Corbino definì in occasione della sua commemorazione: «il fisico più eminente che abbia avuto l'Italia dall'epoca di Alessandro Volta»<sup>29</sup>, sarà chiamato sulla prestigiosa cattedra di Righi Quirino Majorana (1871-1957), il più competente esperto di telecomunicazio-

<sup>29</sup> O. M. Corbino, *Commemorazione di A. Righi*, «Atti dell'Accademia nazionale dei Lincei», s. V, 1921, 30, p. 215.





Figura 9: a) Docenti, allievi e tecnici dell'Istituto di Fisica di Bologna ripresi in una foto di gruppo nel maggio del 1925. Si notino seduti nella prima fila: Quirino Majorana (al centro), Orazio Specchia (alla destra di Majorana), Giorgio Todesco (il primo della fila alla sinistra di Majorana). Si noti inoltre nella seconda fila in piedi l'allora giovanissimo matematico Dario Graffi (il secondo a sinistra); b) I maggiori esponenti della fisica degli anni Trenta fotografati nel 1937 - per i congressi internazionali organizzati in occasione del secondo centenario della nascita di Luigi Galvani - sui gradini dell'ingresso principale dell'Istituto di Fisica in via Irnerio 46. Tra di essi numerosi premi Nobel per la fisica: Niels Bohr (il più alto al centro), Heisenberg e Raman (alla destra di Bohr), Richardson, Schroedinger e Majorana (alla sinistra di Bohr).

ni (allora professore presso il Politecnico di Torino), che l'Italia potesse annoverare in quegli anni, dopo Guglielmo Marconi. Majorana che resse quella cattedra dal 1921 al 1942, si era laureato sia in Fisica che in Ingegneria<sup>30</sup>, ed era famoso per l'eccezionale capacità sperimentale con cui aveva spaziato su tutti i fenomeni principali della fisica del tempo, offrendo alla scienza spesso contributi originali di assoluto rilievo. Ricordiamo i suoi sistemi di telefonia a raggi infrarossi e ultravioletti, il suo microfono idraulico, i primi esperimenti di trasmissione della luce in telegrafia senza fili, ecc. Numerosi furono i premi scientifici a lui assegnati. Per un approfondimento sulla sua figura rinviamo ad alcuni lavori che riportiamo in nota<sup>31</sup>. Qui lo ricordiamo soprattutto per i suoi numerosi insegnamenti, per la fondazione della *Scuola* (biennale) di perfezionamento in Radiocomunicazioni (1931-1935) presso l'Istituto di Fisica dell'Università di Bologna. La Scuola vide la frequentazione e formazione in campo specialistico di numerosi giovani laureati in Ingegneria e in Fisica, con la presenza an-

<sup>30</sup> G. Dragoni, *Quirino Majorana*, in Aa.Vv., *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 67, pp. 651-655, Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani, Roma 2006.

<sup>31</sup> L. Atti, G. Dragoni, G. Maltese, *Quirino Majorana: Fisico sperimentale, Experimental Physicist*, in «Alma Mater Studiorum», V, 1, 1992, pp. 123-169; G. Dragoni, G. Maltese, *The Measures of Mass by Q. Majorana in his research concerning the gravitational absorption*, Comunicazione al Convegno "Mass and its Measurement", Modena, 15-17 Settembre 1993, in *Atti del Convegno Internazionale Mass and its Measurement*, a cura di L. Grossi, CLUEB, Bologna 1995, pp. 66-72; G. Dragoni, G. Maltese, *Le ricerche di Quirino Majorana sull'assorbimento gravitazionale: il dibattito in seno alla comunità scientifica*, in *Atti del XIV e del XV Congresso Nazionale di Storia della Fisica GNSF-CNR*, a cura di A. Rossi, Conte Editore, Lecce 1995, pp. 423-458.

che (è bene segnalarlo per indicare un cambiamento sociale di grande importanza) di parecchie allieve. Quirino Majorana, come molti dei fisici classici della sua epoca, non era convinto delle basi sperimentali delle teorie einsteiniane e tentò con esperimenti condotti su un arco di tempo durato alcuni decenni di provarne (o meno) l'attendibilità. Importanti i suoi esperimenti sulla teoria della relatività ristretta condotti nel 1917 presso il Politecnico di Torino, poi ripresi a Bologna nel 1934. Così come quelli sulla possibile esistenza di un fenomeno di assorbimento gravitazionale che dovevano verificare la tenuta di alcune previsioni della teoria della relatività generale<sup>32</sup>. I suoi tentativi, che vennero ripetuti anche in seguito – numerose per esempio sono le sue comunicazioni presso l'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna –, non diedero i risultati da lui auspicati. È bene ricordare che Majorana pubblicò sempre con encomiabile onestà i risultati dei suoi esperimenti che, come tali, portavano un supporto sperimentale in laboratorio di alto livello a sostegno delle teorie einsteiniane.

La maniera migliore per offrire un quadro del modo in cui Majorana preparava e presentava le sue lezioni riteniamo sia quello di proporvi il brogliaccio delle lezioni e degli esperimenti connessi agli argomenti sperimentati nelle lezioni di Majorana nell'A.A. 1935/36. Per offrire al lettore in maniera sintetica e, ovviamente, riassunta una visione quasi “in presa diretta” delle lezioni di Majorana riporteremo qui di seguito i tratti salienti delle sue lezioni così come emergono dal suo “registro”. Ecco qui di seguito le sue lezioni a partire dal 14 di novembre del 1935 sino al 30 maggio del 1936. Si noti l'alternanza tra le lezioni teoriche (sulle quali però non abbiamo notizie, se non confrontando i manuali a stampa delle lezioni che Majorana pubblicò in quegli anni) e quelle di carattere tipicamente sperimentale che, come si vede molto bene dall'elenco che segue, costituiscono l'ossatura fondamentale del Corso, i cui temi (svolti in 51 lezioni) riguardarono termologia, teoria cinetica dei gas, termodinamica, elettrostatica, misure elettriche, elettromagnetismo, elettrodinamica, onde elettromagnetiche e la loro propagazione.

Prima lezione, 14-11-1935, *Termologia*. Lezioni teoriche; 2°) 21-11-1935 Misura della temperatura, vari tipi di termometri, pinza termoelettrica; 3°) 23-11-1935 Termometro a resistenza elettrica, dilatometro, determinazione del calore specifico nei metalli e nei corpi; 4°) 26-11-1935 Determinazione del calore specifico dei corpi: 1. Sistema delle mescolanze dei corpi, 2. Sistema di raffreddamento dei corpi. Calorimetro di Dulong e Petit. 3. Cambiamenti di stato: calorimetro di Lavoisier, bilancia di Jolly, calorimetro di Bunsen; 5°) 28-11-1935 Determinazione del calore specifico dei corpi, metodo elettrico, vasi di Dewar; 6°) 30-11-1935 Determinazione del rapporto K tra il calore specifico a pressione costante e il calore specifico a volume costante nei gas, esperienza di Clement e Desormes; 7°) 03-12-1935 Determinazione del rapporto K, esperienza di Kundt, dilatazione dei solidi, esperienze di Gravesande, Lavoisier, dilatazione dei liquidi, esperienza di Hope; 8°) 08-12-1935 Determinazione del coefficiente di dilatazione dei liquidi: Picnometro, apparecchio di Dulong e Petit, coefficiente di dilatazione dei

<sup>32</sup> G. Dragoni, G. Maltese, *Quirino Majorana's Research on Gravitational Absorption: A Case Study in the Misinterpreted Experiment Tradition*, in «Centaurus», 39, 1997, pp. 141-187.

gas, apparecchio di Regnault, conducibilità calorifica, esperienza di Despretz, esperienza di Ingenhousz, proiezioni mediante arco elettrico; 9°) 07-12-1935 Conducibilità calorifica di liquidi, conducibilità calorifica dei gas; 10°) 10-12-1935 Teoria cinetica dei gas, microscopio di Richter, prisma di Fresnel, ultramicroscopio, esperimenti con lanterna ad acqua; 11°) 12-12-1935 *Teoria cinetica dei gas*; 12°) Senza data. Equivalente meccanico del calore, esperienza di Hirne; 13°) Senza data. *Termodinamica*; 14°) Senza data. *Termodinamica*; 15°) 16-01-1936 *Elettrostatica*, pendolini, elettroscopi, proiezione di esperienze con diversi tipi di elettroscopi, esperienze di cariche positive e negative con elettrometro; 16°) 18-01-1936 Suddivisione delle cariche, carica superficiale; 17°) 21-01-1936 Linee di forza e linee equipotenziali evidenziate mediante proiezione; 18°) 23-01-1936 Pressione elettrostatica, induzione elettrostatica, induzione con il pozzo di Faraday, con elettrometri, ecc.; 19°) 25-01-1936 Influenza elettrostatica, esperienza di Lord Rayleigh; 20°) 28-01-1936 Capacità elettrostatica, esperienze con elettroscopio, condensatori; 21°) 30-01-1936 Condensatori in serie, condensatori in parallelo, *misure elettrostatiche*, elettrometro assoluto di Thomson; 22°) 01-02-1936 Sorgenti di elettricità, elettroforo di Volta, macchine elettrostatiche, duplicatore di Belli, potere delle punte; 23°) 04-02-1936 Piro- e piezoelettricità, fotoelettricità, elettricità di contatto; 24°) 06-02-1936 Elettricità di contatto, esperienze di Volta, elettroscopio a condensatore, effetto fotoelettrico, effetto termoionico; 25°) 08-02-1936 Pila, magnetostatica, bussola di inclinazione e di declinazione; 26°) 13-02-1936 *Magnetostatica*, magnetometro, induzione magnetica, calamite; 27°) 15-02-1936 Effetto Barkhausen, con l'impiego dell'amplificatore Allocchio-Bacchini e dell'altoparlante elettromagnetico Philips; 28°) 04-03-1936 Teorica; 29°) 06-03-1936 Effetti della corrente elettrica: calorifico, elettrolitico, magnetico; 30°) 08-03-1936 Linee di forza magnetiche generate dalla corrente elettrica, proiezioni, legge di Ohm; 31°) 10-03-1936 Verifica della legge di Ohm: diversa resistività dei metalli, proporzionalità inversa della resistenza alla sezione dei metalli, proporzionalità diretta alla lunghezza, proporzionalità della corrente alla forza elettromotrice; 32°) 12-03-1936 Reostati e cassette di resistenza di vari tipi, variazione della resistenza per effetto della temperatura; 33°) 14-03-1936 Misura della resistenza, ponte Wheatstone, ponte di Kohlrausch, doppio ponte di Thomson; 34°) 17-03-1936 Variazione della resistenza elettrica per effetto della temperatura, variazione della resistenza elettrica per effetto della luce, effetto Joule; 35°) 21-03-1936 Legge di Joule, dilatometro, applicazioni dell'effetto Joule, amperometro a filo caldo e milliamperometro elettromagnetico a cassetta, termoelettricità; 36°) 24-03-1936 Termoelettricità, effetto Peltier: esperienza con pila termoelettrica, esperienza per proiezione; 37°) 26-03-1936 *Elettrolisi*, voltmetro, proiezione da bacinella a facce piane e parallele contenente una soluzione di solfato di potassio colorata con tintura di tornasole, proiezione da bacinella a facce piane e parallele contenente una soluzione di acetato di piombo; 38°) 28-03-1936 Elettrolisi, cellula raddrizzatrice, forza contro elettromotrice di polarizzazione; 39°) 31-03-1936 Teorica; 40°) 02-04-1936 Teorica, inizio vacanze; 41°) 02-05-1936 Diamagnetismo e paramagnetismo, isteresi magnetica mediante tubo di Braun; 42°) 05-05-1936 Misura del campo magnetico con la spirale di Lenard, magneto-ottica, esperienza di Faraday, esperienza di Zeeman-Righi, esperienza di Majorana; 43°) 07-05-1936 Condensatore scomponibile, effetto Kerr; 44°) 09-05-1936 Dimostrazione della regola della mano sinistra, forze pondero motrici fra campo magnetico e corrente, ruota di Barlow, forze pondero motrici fra corrente e corrente, telaio di Ampère, galvanometri; 45°) 12-05-1936 Induzione elettromagnetica; 46°) 14-05-1936 Induzione elettromagnetica, autoinduzione, ponte di Wheatstone con in-

duttanze, extracorrente di chiusura e apertura; 47°) 16-05-1936 Applicazione dell'induzione elettromagnetica, vari rocchetti di Ruhmkorff, scarica oscillatoria, esperienza di Feddersen; 48°) 19-05-1936 Correnti alternate, cerchio di Palmieri, oscillogramma della corrente alternata, della voce, trasformatore, campo magnetico rotante; 49°) 23-05-1936 Risonanza, risonanza a 42 periodi, risonanza a 10000 periodi, esperienza di Tesla; 50°) 26-05-1936 *Propagazione delle onde elettromagnetiche*, esperienza di Hertz, macchina elettrostatica, oscillatore di Righi a 3 scintille, oscillatore a bassa frequenza, lampada oscillatrice, ottica delle oscillazioni elettriche; 51°) 30-05-1936 Proiezione dei carboni di un arco, arco Düddel fischiante, arco Düddel parlante, arco Poulsen, scarica elettrica nei gas, arco soffiato, conducibilità dei gas per ionizzazione, ombre elettriche.

Si dovette trattare di un vero e proprio corso di tipo spettacolare, come sostenne il professor Dario Graffi (Rovigo 1905 – Bologna 1990) allievo all'epoca dei corsi di Fisica della nostra università, poi celebre fisico-matematico. È testimonianza diretta rilasciata ad uno di noi (G.D.) quella in cui il professor Graffi ci disse di aver continuato a seguire le lezioni e le sperimentazioni presentate nelle lezioni di Quirino Majorana, da lui organizzate e coordinate con l'aiuto dei tecnici e dei suoi aiuti ed assistenti, anche dopo aver superato brillantemente i relativi esami di Fisica «per la bellezza delle sperimentazioni e degli insegnamenti in esse contenute». Ulteriore testimonianza in tal senso ci è offerta dall'immagine fotografica d'epoca che riproduce una tipica lezione del professor Majorana (Fig. 10), che doveva preparare le sue spettacolari lezioni in maniera molto accurata. Si veda in tal senso una raccomandazione al tecnico di laboratorio redatta di proprio pugno da Majorana nella 49° lezione (23 maggio 1936) del seguente tenore: «Malgrado i pareri in contrario dei Sig.<sup>ri</sup> Assistenti Tutti questi schemi vanno montati alla lettera» (Fig. 11a).

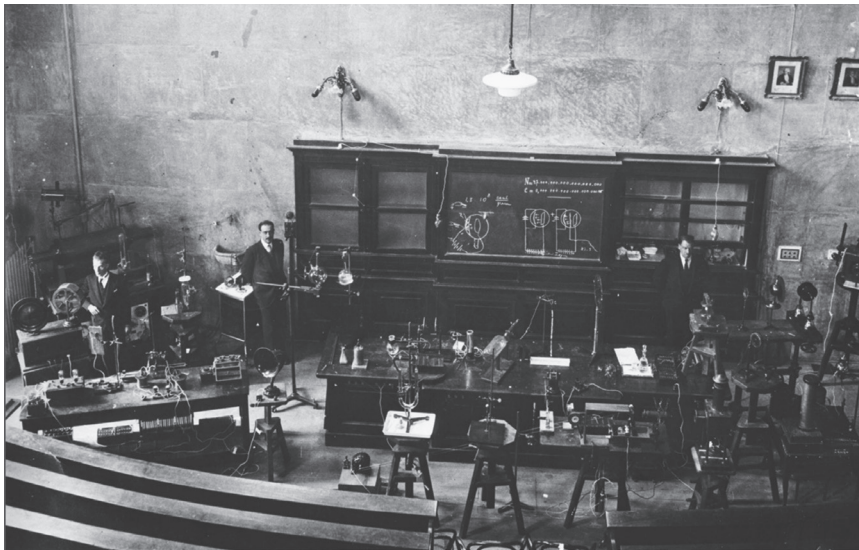


Figura 10. L'Aula Magna dell'Istituto di Fisica di Bologna negli anni Trenta allestita con numerosi apparati sperimentali utilizzati per le lezioni di fisica sperimentale di Quirino Majorana. Si notino sulla sinistra i due più stretti collaboratori di Majorana: Giorgio Todesco ed Orazio Specchia.



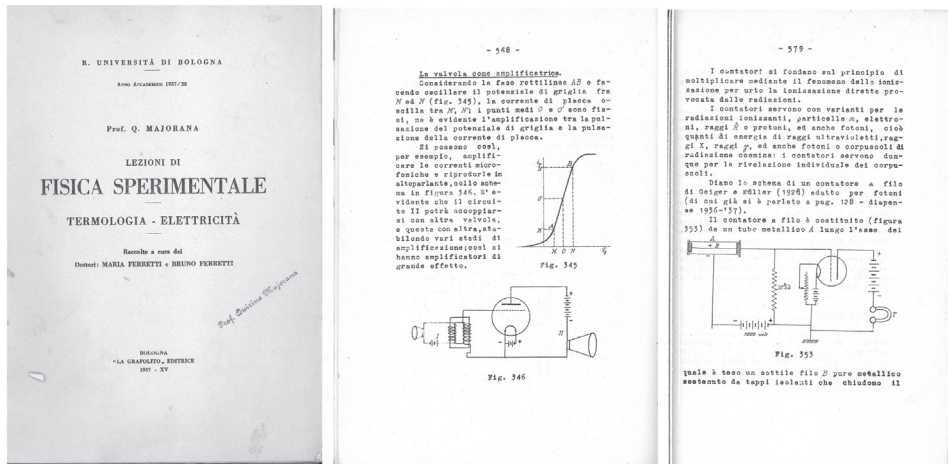


Figura 13. Frontespizio e pagine di testo dalle “Lezioni di Fisica sperimentale” di Q. Majorana edite nel 1937.

Sempre nell’ottica di fornire al lettore una documentazione sui contenuti e le modalità d’insegnamento di un altro fisico del tempo, *Giorgio Todesco* (1897-1958), allievo di Righi e aiuto di Majorana, riportiamo un esempio dei suoi numerosi corsi di lezioni per vari indirizzi di laurea. Tra i suoi allievi, almeno nelle discipline post-laurea che tenne per la *Scuola di Perfezionamento in Radiocomunicazioni*, vi furono diversi ingegneri. Di nuovo offriremo il quadro delle sue lezioni riportando in sintesi i contenuti di un suo corso di *Oscillazioni elettriche* tenuto in qualità di professore incaricato di insegnamento nell’A.A. 1926/27<sup>33</sup>. In questo modo potremo seguire le lezioni del docente quasi “dal vivo e dal vero”, come se fossimo personalmente tra i componenti del suo gruppo di ascolto. In questo caso possediamo un centinaio di fotocopie che riproducono gli appunti e le annotazioni manoscritte che servivano al docente per le sue lezioni, probabilmente appunti destinati ad essere trasformati in un vero e proprio libro di testo. Ecco una sintesi estrema:

Cap. I pp.1-16 *Le equazioni di concatenamento del campo elettromagnetico*. Equazioni di Maxwell-Hertz. Prima relazione fondamentale del campo elettromagnetico. Spostamento magnetico. La circuitazione di una forza magnetica lungo una linea chiusa. Il vettore forza elettrica, il vettore forza magnetica, il vettore spostamento. Caso statico. Regime permanente di corrente. L’energia del campo. Teorema di Poynting. Equazioni di D’Alembert, Operatore di D’Alembert. Onde piane. Onda sferica. Potenziale vettore. Cap. II pp. 17-32 *Introduzione allo studio delle correnti alternative*. Equazioni differenziali. Analogia tra fenomeni elettromagnetici e le equazioni relative ad un sistema elastico sollecitato a tornare alla sua posizione di equilibrio. Equazioni differenzia-

<sup>33</sup> Abbiamo potuto consultare anni orsono una copia dei materiali manoscritti del professor Giorgio Todesco grazie alla cortesia di suo figlio Piero, laureato in Ingegneria e in Fisica, nostro caro amico ora scomparso, che collaborò a lungo con il Museo di Fisica.



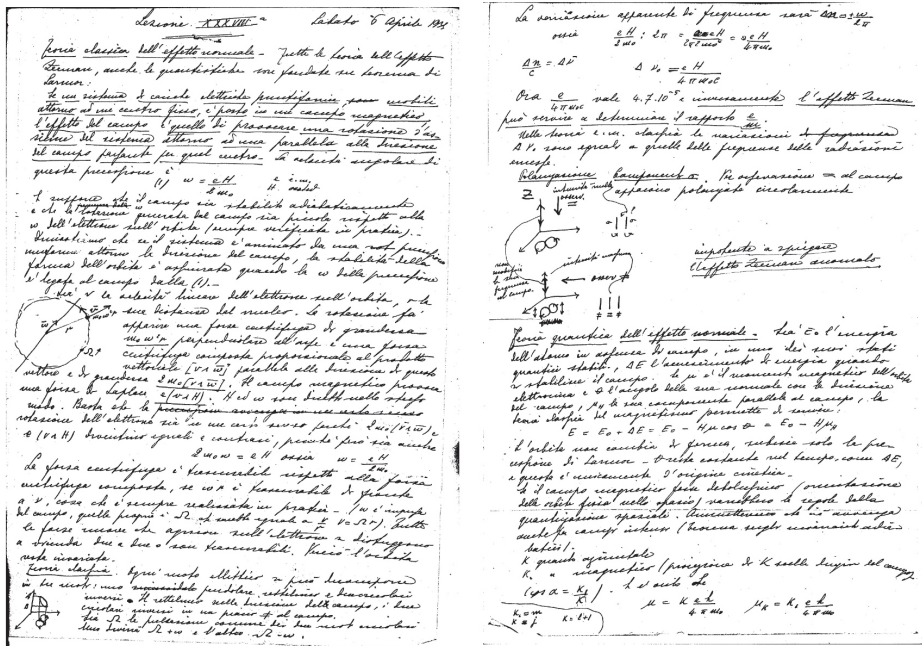


Figura 15. Appunti di G. Todesco per una lezione (la XXXVIII) tenuta in data sabato 6 aprile 1935 in cui si può notare una trattazione quantistica dell'Effetto Zeeman.

costituenti una conduttanza di andata e ritorno. 3. Mutua induzione di due conduttori filiformi paralleli. 4. Self-induzione di un tratto di un conduttore cilindrico rettilineo. 5. Self-induzione di un quadrato di perimetro  $l$ . 6. Induttanza di una spira circolare. 7. Formule più importanti nella pratica: a) Formula di Nagaoka, b) Formula di Brook e Turner, c) Formula di Lord Rayleigh. Self-induzione di una bobina piatta. § 3 Calcolo delle capacità. Condensatori. Capacità elettrostatiche. Tensioni del dielettrico. Perdite in corrente alternata. a. Calcolo delle capacità. b. La rigidità dielettrica negli isolanti. c. Potenza dissipata nel condensatore. Cap. IV (sic!) pp. 99-104 *La risonanza*. § 1 Applicazione di una f. e. m. sinusoidale persistente nel circuito oscillante. Teoria elementare dell'oscillatore di Hertz. Il decremento dell'oscillatore di Hertz. A questo punto le pagine numerate proseguono con dei calcoli e formule fino alla 107, seguono tre pagine non numerate che riportano equazioni e formule. Poi le riproduzioni di due immagini fotografiche, la prima su una veduta d' assieme della disposizione strumentale, che veniva usata probabilmente dallo stesso Giorgio Todesco per alcune delle sue lezioni, la seconda riproduce delle tracce prodotte in camera a bolle da sostanza radioattiva. Sul retro di questa compare un appunto di Giorgio Todesco per una lettera da inviare a Horn (D'Arturo) da Bologna in data 16/07/46. Seguono 4 fogli con l'indicazione di una lezione (la XXXVIII) appartenente sicuramente ad un altro ciclo didattico del docente tenuta in data Sabato 6 aprile 1935. Teoria classica dell'effetto normale. Effetto Zeeman. Polarizzazione. Componenti. Teoria quantica dell'effetto normale. Regola di selezione. Segue un foglio anch'esso non numerato con alcuni calcoli.



### 2.19.5. Considerazioni conclusive

Nel nostro *excursus* abbiamo tentato di offrire un quadro generale sui docenti che impartirono gli insegnamenti di fisica nel corso dei secoli e sulle loro modalità didattiche. Per offrire un quadro sintetico, ma il più possibile informativo e dettagliato, ci siamo soffermati solo su alcuni di loro per i quali attraverso le nostre ricerche abbiamo rintracciato informazioni più dettagliate anche sulla loro metodologia di insegnamento: *Sebastiano Canterzani*, *Augusto Righi*, *Quirino Majorana*, *Giorgio Todesco*. Il quadro che ne è emerso, a nostro parere, offre uno “spaccato” delle modalità didattico-sperimentali che hanno affascinato gli allievi nel corso dei secoli fondato sulla metodologia voluta da Luigi Ferdinando Marsili che aveva improntato, con questo stile “ultramontano” e antiaristotelico, il suo Istituto di Bologna e, nei secoli, le strutture che da esso derivarono. Nell'insegnamento delle scienze fisiche a Bologna venne offerto un concreto approccio sperimentale. Gli allievi assistevano a dimostrazioni, apprendevano l'uso di apparecchi e strumenti di fisica, venivano addestrati, si direbbe, a metodologie misurative, alla verifica delle leggi scientifiche, alla riproduzione di esperimenti, al confronto tra grandi costruzioni teoriche l'una contrapposta all'altra. A giudicare dalle metodologie d'insegnamento in Fisica impiegate da Righi, da Majorana e da Todesco, questo stile si mantenne a lungo. Inevitabilmente anche la ricerca in fisica, nonostante la presenza di ottimi fisici-matematici, era stata vista programmaticamente soprattutto in senso sperimentale. Il “dettato” di Newton venne seguito in maniera rigorosa: *Hypotheses non fingo*, “Non invento ipotesi”, cioè ci si doveva attenere alle più sicure sperimentazioni. A questa prescrizione molti fisici, anche se di formazione matematica (vedi Righi), si erano prevalentemente attenuti per tutto l'Ottocento e per i primi decenni del Novecento, per poi ravvedersi, dopo aver compreso l'importanza dell'invenzione delle ipotesi in fisica e il ruolo della immaginazione creatrice a seguito delle grandi teorie einsteiniane. Ritornando al tema dell'insegnamento della Fisica non si può, tuttavia, non nutrire una certa nostalgia per una didattica concreta e affascinante tale da lasciare sicuramente una traccia duratura nella mente degli allievi e, ancor di più, nelle loro capacità manuali.

Non riteniamo, comunque, di avere esaurito un argomento così complesso quale quello che ci era stato gentilmente affidato dai colleghi Ezio Mesini e Domenico Mirri che si sono assunti il difficile compito di Curatori per la realizzazione di questo volume. Il nostro lavoro infatti potrebbe essere sviluppato in molte altre direzioni. Alcune di queste le abbiamo indicate con qualche riflessione o breve commento, offriamo ora qualche esempio per possibili approfondimenti. Sarebbe necessaria una indagine sistematica sui ricchi materiali nell'Archivio storico della nostra città (non solo su quelli dell'Archivio della nostra Università a cui prevalentemente ci siamo attenuti). Sarebbe indispensabile prendere diretta visione delle modalità con cui venivano condotti gli esami per il superamento disciplinare della materia Fisica. Gli allievi dovevano affrontare solamente prove orali o superare anche la risoluzione di problemi e di domande scritte? Era richiesta anche la realizzazione di una prova concreta dimostrativa delle capacità fisico-ingegneristiche raggiunte? Il “caso” di Augusto Righi – che

realizzò concretamente il suo *Elettrometro ad induzione* nel 1872 per l'ottenimento del Diploma da ingegnere civile e architetto rilasciatogli ufficialmente dal Rettore della Regia Università del tempo professor Cesare Albicini – lo farebbe pensare. Quanti altri esempi in tal senso sono ancora documentabili? Sarebbe indispensabile inoltre una sistematica indagine sui migliori fisici e ingegneri che riuscirono nel corso dei secoli ad emergere per le loro capacità a livello nazionale ed internazionale. Abbiamo fugacemente accennato, per offrire un esempio in tal senso, a Giovan Battista Amici (diplomato ingegnere nel 1808), abbiamo appena riferito di Augusto Righi (e del suo diploma da ingegnere ottenuto nel 1872), abbiamo intravisto la nascita e lo sviluppo di una grande società industriale in seguito all'impegno e alle capacità individuali dell'allievo di Fisica Adriano Cavalieri Ducati, che nel 1924, era riuscito per primo a collegare tramite la radio a *onde corte* (Marconi utilizzava onde lunghe) l'Italia con gli Stati Uniti d'America. La Società Scientifica Radio Brevetti Ducati divenne una delle aziende più importanti d'Italia nei settori elettronico, elettrotecnico e ottico<sup>34</sup>. Adriano Ducati avrebbe meritato una laurea *honoris causa* in Ingegneria, come si tentò di fare una trentina di anni fa, ma la lodevole iniziativa non fu poi sviluppata. Laurea *honoris causa* in ingegneria, invece, che venne più che meritatamente assegnata su proposta della nostra R. Scuola d'applicazione per ingegneri a Guglielmo Marconi (24 marzo 1904) dalla Regia Università degli Studi di Bologna<sup>35</sup>.

Più in generale, per sviluppare ulteriormente il nostro lavoro, sarebbe necessario un approfondimento di ricerca su molti personaggi, a nostro parere, considerati ingiustamente minori, per poter raccogliere e far conoscere notizie specifiche sulle loro principali indagini in campo fisico. Molti altri sarebbero gli esempi su cui riflettere e far riflettere i nostri lettori. Certamente di rilievo è il risultato emerso attraverso la nostra analisi della grande importanza della trasmissione culturale durante le lezioni, quella aperta ai più recenti e avanzati sviluppi delle ricerche scientifiche nei vari settori. Il rapporto tra maestro-allievo tra Augusto Righi e Guglielmo Marconi ne è un chiaro esempio. Restano molti altri problemi a cui accenniamo rapidamente. Le litografie, le dispense, i testi di quegli insegnanti che abbiamo utilizzato, dopo averli recuperati con fatica, saranno conservati? La "letteratura grigia" spesso non è considerata correttamente nella sua importanza. I testi che non abbiamo trovato (e che ci è stato detto non si trovano più) saranno cercati come cosa preziosa da ritrovare? Alcuni sembrano già perduti per sempre. Quale fine hanno fatto molti degli strumenti utilizzati per le lezioni nel corso dei secoli? Che non sia il caso di recuperare culturalmente (se ancora esistenti e con tutte le dovute cautele) quelle strumentazioni che consentono ancora un utilizzo didattico per l'allestimento di esperimenti per poter illustrare efficacemente la fisica agli allievi del giorno d'oggi? Naturalmente questo dovrebbe avvenire non certo accanto ad insegnamenti presentati con gesso e lavagna, o lavagna luminosa (che consideriamo definitivamente tramontati), ma ad

<sup>34</sup> B. Ducati, *Storia della Ducati*, Editografica, Bologna 1991.

<sup>35</sup> G. Dragoni, *Ricordando Guglielmo Marconi nel Cinquantesimo anniversario della morte*, Istituto per Bologna Storica Artistica, Pàtron, Bologna 1987, pp. 165-176.

integrazione e concreto affiancamento all'uso di *slides* in *powerpoint* e/o di più raffinati sistemi informatici quali quelli consentiti dall'uso di *applets* ed altre moderne applicazioni multimediali. Non sarebbe forse augurabile una nuova didattica della fisica che non dimentichi del tutto un passato in cui la concretezza, l'immediatezza, l'uso di apparati sperimentali concreti possa essere di nuovo impiegata utilmente nelle nostre aule? Naturalmente occorrerebbero aule, laboratori, tecnici competenti, insegnanti disponibili e appassionati. La nostra Università se lo potrebbe, meglio dovrebbe, permettere. I nostri allievi lo meriterebbero.

### **Ringraziamenti**

Nella realizzazione di questo nostro lavoro abbiamo potuto consultare nel corso degli anni materiali originali cortesemente messi a disposizione dalle Famiglie Majorana, Righi, Todesco che qui vogliamo ricordare e ringraziare per la loro gentile collaborazione. Così pure abbiamo potuto contare su informazioni raccolte da diversi studiosi operanti nell'ambito della nostra Università, che abbiamo citato nel testo o nelle note. Tra questi uno speciale ringraziamento lo dedichiamo al professor Dino Zanobetti di Ingegneria, alle dottoresse Martina Lodi (collaboratrice anni fa del Museo di Fisica), Daniela Negrini e Chiara Cocchi (della Biblioteca dell'Archivio Storico della nostra Università) e ai loro direttori. Un sincero grazie ai professori Attilio Forino del Dipartimento di Fisica e Astronomia (DIFA) e Sandro Graffi del nostro Dipartimento di Matematica per avere letto e commentato il nostro lavoro. Un sentito ringraziamento al professor Nicola Semprini Cesari (Direttore del DIFA di Bologna) per la cortese disponibilità nei nostri confronti e per averci concesso di pubblicare foto di personaggi e materiali della fisica bolognese del passato. Un ringraziamento, oltre a quello doveroso per il DIFA che ci ospita, alle Strutture che ci hanno consentito di effettuare ricerche nei loro fondi bibliografici ed archivistici. Tra queste ricordiamo: Biblioteca Universitaria, Biblioteca Comunale dell'Archiginnasio, Archivio Storico dell'Università. Un grazie anche a Cristiano Osti della Biblioteca del DIFA. Un grazie, infine, ai curatori del presente volume, i colleghi professori Ezio Mesini e Domenico Mirri, per la fiducia e il tempo concessoci in attesa della stesura finale del nostro lavoro.

### **Bibliografia**

*N.B. Segnaliamo di avere preferito un ordinamento cronologico nella seguente lista di volumi rispetto a quello alfabetico.*

- J.T. Desaguliers, *The Newtonian System of the World, the Best Model of the World*, Westminster, 1728.
- J.T. Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. I, Londra, 1734 e Vol. II, Londra, 1744.
- P. van Musschenbroek, *The Elements of Natural Philosophy*, Nourse, Londra, 1744.
- G.F. Pivati, *Lettera sull'elettricità medica contenente delle esperienze singolari relative alla medicina*, pubblicata sugli Atti dell'Accademia nel 1747.
- G.J.'s Gravesande, *Physices elementa mathematica, experimenti confirmata; Sive Iroductio ad Philosophiam Newtonianam*, Gosse, Ginevra, 1748.

- S. de La Fond, *Leçons de physique expérimentale*, Des Ventes de la Doué, Parigi, 1767.
- Abbé Nollet, *Leçons de Physique expérimentale*, Durand, Parigi, 1769.
- S. de La Fond, *Elemens de physique theorique et expérimentale*, Gueffier, Parigi, 1777.
- T. Cavallo, *A complete treatise on electricity, in theory and practice, with original experiments*, Edward e Charles Dilly, Londra, 1777.
- T. Cavallo, *A treatise on the nature and properties of air and other permanently elastic fluids*, stampato dall'autore, 1781.
- T. Cavallo, *The elements of natural or experimental philosophy*, Cadell e Davies, Londra, 1803.
- G. Moratelli, *Corso elementare di fisica*, Sonzogno, Milano, 1805.
- F. Landi, *Elogio del Cavalier Sebastiano Canterzani*, Atti della Società Italiana delle Scienze, Modena, 1815, p. 3.
- C.-M. Desprets, *Traité Élémentaire de Physique*, Méquignon-Marvis Ed., Parigi, 1836.
- A. Ganot, *Trattato elementare di fisica*, tr. it., G. Gorini, Pagnoni, Milano, 1861.
- A. Battelli, P. Cardani, *Trattato di fisica sperimentale*, 4 voll., Vallardi, 1922.
- Q. Majorana, *Appunti delle Lezioni di Fisica sperimentale*, A.A. 1926-27, raccolti da C. Bortolotti e B. Rossi, litografia, G. Valenti Luzzi, Bologna, 1927.
- G. Dalla Noce, *In Memoria di L. Amaduzzi*, «Nuovo Cimento», VIII, 1, 1931, pp. 1-8.
- Q. Majorana, *Lezioni di Fisica sperimentale* (Termologia-Elettricità), raccolte da M. Ferretti e B. Ferretti, La Grafolito, Bologna, 1937.
- D. Graffi, *Lezioni di fisica tecnica*, Università di Bologna, Ed. G.U.F., Bologna, 1941-42.
- G. Bernardini, *Fisica sperimentale*, Tinarelli, Bologna 1942.
- C. Simeoni, *Storia dell'Università di Bologna. L'età moderna* (II vol.), A. Forni Ed., Bologna, 1940 (ristampa anastatica 1988).
- G. Dragoni, V. Pallotti, *Strumenti, didattica e ricerca: la fisica sperimentale nell'Istituto delle scienze*, pp. 217-225 in AA.VV., *I materiali dell'Istituto delle scienze*, Università degli studi di Bologna, CLUEB, Bologna, 1979.
- M. Conti, *L'insegnamento della fisica nel '700: Le lezioni della "Fisica particolare" di Sebastiano Canterzani*, Tesi di Laurea in Fisica, relatore G. Dragoni, A.A. 1980-81, *Corso di Laurea in Fisica*, Facoltà di Scienze mm. ff. nn., Università degli Studi di Bologna, 1981.
- G. Dragoni, *Benedetto XIV e la scienza fisica. Nella Bologna del Settecento nasce un Papa galileiano-newtoniano*, «Bologna Incontri», XVII, n. 5, Giugno 1986, pp. 27-30.
- O. Capitani (a cura di), *L'Università a Bologna, Personaggi, momenti e luoghi dalle origini al XVI secolo*, Amilcare Pizzi Ed., Milano, 1987.
- W. Tega (a cura di), *Lo Studio e la Città, Bologna 1888-1988*, Nuova Alfa Ed., Bologna, 1987.
- AA.VV., *I luoghi del conoscere, I Laboratori storici e Musei dell'Università di Bologna*, Amilcare Pizzi Ed., Milano, 1988.
- G. Cocchi, *Cento anni di Scuola di Ingegneria a Bologna*, in *L'Università a Bologna. Maestri, studenti e luoghi dal XVI al XX secolo*, a cura di G. P. Brizzi, L. Marini, P. Pombeni, Bologna, Cassa di Risparmio in Bologna, Amilcare Pizzi, Milano, 1988, pp. 195-204.
- L. Bonolis, *Maestri e allievi nella fisica italiana del Novecento, Percorsi della Fisica*, La Goliardica Pavese, Pavia, 1988.
- G. Oldrini, W. Tega (a cura di), *Filosofia e scienze a Bologna tra il 1860 e il 1920*, Nuova Universale Cappelli, Bologna, 1990. Si veda in particolare A. Bertin, A. Vitale, *Augusto Righi e la scuola fisica bolognese*, pp. 207-223.
- D. Milesi, *Ricerca storica sul Generatore di Van de Graaff. Dall'intuizione di Righi all'impiego attuale*, Tesi per il Corso di Laurea in Fisica, relatore G. Dragoni, A.A. 1991-1992, Università degli Studi di Bologna.

- P. Findlen, *Science as a Career in Enlightenment Italy. The Strategies of Laura Bassi*, «Isis», 84, 1993, pp. 441-469.
- G. Dragoni, *Marsigli, Benedict XIV and the Bolognese Institute of Sciences*, in *Renaissance and Revolution*, a cura di J.V. Field, F.A.J.L. James, Cambridge University Press, Cambridge, 1993, pp. 229-237.
- M. Cavazza, *Laura Bassi e il suo gabinetto di fisica sperimentale: realtà e mito*, «Nuncius», 10, 1995, pp. 715-753.
- AA.VV., *Gaudeamus Igitur, Studenti e Goliardia (1888-1923)*, Bononia University Press, Bologna, 1995.
- P. Marazzini, *Nuove radiazioni, quanti e relatività in Italia. 1896-1925*, Percorsi della Fisica, 3, La Goliardica Pavese, Pavia, 1996.
- S. Baravelli, *Ricerca sull'attività scientifica di Lavoro Amaduzzi "Sostituto di Augusto Righi"*, Tesi per il Corso di Laurea in Fisica, relatore G. Dragoni, co-relatore G. B. Porcheddu, A.A. 1995-1996, Università degli Studi di Bologna.
- M.L. Giumanini (a cura di), *Tra disegno e scienza, Gli studenti dell'Accademia di Belle Arti di Bologna (1803-1876)*, Minerva Ed., Bologna, 2002.
- M.L. Giumanini (a cura di), *Archivi degli Studenti. Facoltà di scienze matematiche, fisiche e naturali (1862-1934)*, Archivio Storico, Alma Mater Studiorum, CLUEB, Bologna, 2004.
- P. Marazzini, M. Rossi, *Per una storia della Fisica italiana 1945-1965*, Vol. II. La fisica dei semiconduttori, Percorsi della Fisica, 9, La Goliardica Pavese, Pavia, 2005.
- E. Schettino, *Collezioni strumentarie del Museo di Fisica*, Tipolitografia Print Agency, I Farella, Napoli, 2007.
- M. Cavazza, *Laura Bassi and Giuseppe Veratti: an electric couple during the Enlightenment*, in «Contributions to Science», 2009, 5 (1), pp. 115-128.
- M. Leone, A. Paoletti, N. Robotti, *La Fisica nei "Gabinetti di Fisica" dell'Ottocento: Il caso dell'Università di Genova*, «Giornale di Fisica», vol. 50, 3, 2009, pp. 135-154.
- M. Cavazza, *Il laboratorio di casa Bassi Veratti*, in *Laura Bassi, Emblema e primato nella scienza del Settecento*, a cura di L. Cifarelli, R. Simili, Editrice Compositori, Bologna, 2012, pp. 103-188, cit. p. 113.

## 2.20. RICERCA E DIDATTICA DEI TITOLARI D'INSEGNAMENTI DI FISICA ALLA FACOLTÀ D'INGEGNERIA DALLA FINE DEGLI ANNI CINQUANTA A OGGI

*Antonio Bertin, Gianni Vannini*

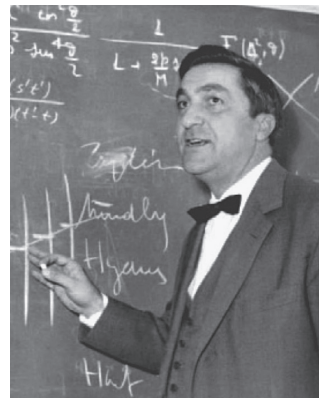
### 2.20.1. Premessa

Negli anni Cinquanta del Novecento la società civile nutriva grande considerazione per le prospettive aperte dalla scoperta dell'energia nucleare. Incoraggiata anche da questa circostanza la *ricerca di base* in Fisica conobbe nuovi orizzonti e si aprì in Europa a un avvenire particolarmente fruttuoso grazie alla nascita di un grande Laboratorio internazionale: il *CERN, Centro Europeo per la Ricerca Nucleare*, istituito nel 1954 fra 12 Stati membri (tra i quali l'Italia) al fine di creare un polo scientifico internazionale mirato a ridare all'Europa il primato nella ricerca in Fisica. In Italia questo evento era stato preceduto dalla costituzione dell'*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN)*, fondato nel 1951 da gruppi delle Università di Roma, Padova, Torino e Milano con il compito di proseguire e sviluppare la tradizione scientifica nazionale e finalità analoghe, in sostanza, a quelle che sarebbero state del *CERN*.

Nel settore della *ricerca applicata*, sempre con riferimento all'energia nucleare, nel 1957 fu istituito l'*EURATOM*, altra organizzazione europea creata allo scopo di coordinare i programmi di ricerca degli Stati membri (tra i quali il nostro Paese) relativi all'energia nucleare ed assicurarne l'uso pacifico. Tale proliferare d'Istituzioni comportò da un lato l'attribuzione d'ingenti finanziamenti alla ricerca in Fisica, dall'altro la nascita di una forte volontà d'innovazione nel vecchio Continente. Questa era anche caratterizzata in Italia dalla predisposizione che i nostri ricercatori nutrivano come eredi del lascito culturale di Enrico Fermi e dall'attrazione che le corrispondenti prospettive esercitavano sugli studenti e giovani laureati in Fisica.

In questo quadro senza precedenti sviluppò la sua *leadership* scientifica, organizzativa e didattica un personaggio dotato di grandi qualità e notevole fascino personale: Giampietro Puppi [1.1]. Vincitore del Concorso per la cattedra di Fisica teorica nel 1950, Puppi fu chiamato all'Università di Bologna nel 1951 e diresse l'Istituto di Fisica *Augusto Righi* della Facoltà di Scienze MM. FF. NN. a partire dal 1954. L'Istituto conobbe allora una nuova fioritura attestandosi sotto il profilo scientifico tra i più forti del Paese e tra quelli meglio inseriti nel confronto internazionale.

Per quanto riguarda la Facoltà d'Ingegneria gli insegnamenti di Fisica erano impartiti per incarico (anche associando gli studenti ai corsi svolti presso

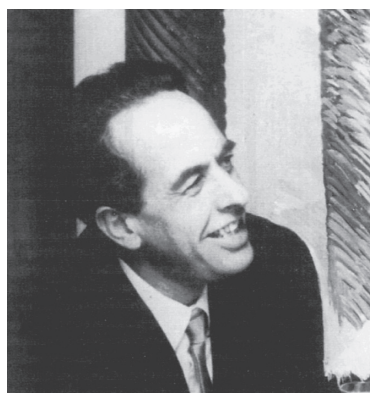


*Figura 1. Giampietro Puppi in un'immagine di repertorio.*

le Facoltà di Scienze MM. FF. NN.) nel primo *biennio* di studi, prevalentemente dedicato alle materie di base, cioè *propedeutico* al successivo *triennio di applicazione* (riservato invece alla formazione ingegneristica con contenuti sia a largo spettro sia specialistici).

Con il riordino degli studi delle Facoltà d'Ingegneria stabilito nel 1960 e la continua crescita della popolazione studentesca divenne stringente la necessità di cattedre assegnate a tali Facoltà per le materie del biennio propedeutico: Giampietro Pupi in quello stesso anno rivolse in materia alla nostra Facoltà la richiesta d'una cattedra per l'insegnamento della Fisica. Questa fu assegnata e ricoperta dal 1963 da Pietro Bassi, primo professore di materie di base ad entrare nell'organico della Facoltà stessa [1.2].

### 2.20.2. Gli insegnamenti



*Figura 2. Pietro Bassi in un'istantanea scattata alla fine degli anni Sessanta.*

Pietro Bassi condivideva con Giampietro Pupi il grande rispetto per l'attività didattica e si adoperò perché, man mano che i corsi di Fisica della Facoltà diventavano più numerosi rispondendo alle necessità didattiche, gli incaricati vi tenessero insegnamenti coerenti con le sue convinzioni e le aspettative della Facoltà. Egli riteneva che in una Facoltà scientifica come Ingegneria la didattica universitaria non potesse essere disgiunta dai metodi e dai risultati che i docenti utilizzavano e producevano nel lavoro di ricerca. Questo legame tra didattica e ricerca scientifica fu la linea portante della politica universitaria sua e della Facoltà, che portò ad assegnare i diversi insegnamenti di

Fisica a sperimentalisti avvezzi a progettare, costruire e impiegare apparati di misura.

La maggior parte dei corsi di Fisica fu rivolta alla Fisica Generale, materia comune a tutti i corsi di laurea nei quali la Facoltà stessa andò articolandosi. Un numero minore d'incarichi, tuttavia, nell'ambito di specifici corsi di laurea, fu dedicato alla Fisica atomica, alla Fisica moderna e a Metodi di Osservazione e Misura. Un impegno notevole, infine, fu rappresentato dalla copertura dei corsi di Fisica Generale tenuti, da quando queste furono aperte, nelle sedi della Facoltà a Cesena, Forlì e Ravenna.

Una prima frazione di valorosi titolari dei corsi di Fisica erano ex-allievi di Giampietro Pupi o provenienti da altra scuola universitaria: nominiamo qui in ordine d'anzianità decrescente Protogene Veronesi, Alessandro Alberigi Quaranta, Franco Verniani, Cesare Moroni, Sergio Focardi.

A partire dalla fine degli anni Sessanta si sostituirono gradualmente o integrarono le loro file, divenendo anche titolari di corsi di Fisica di nuova istituzione, ex-allievi di Pietro Bassi, tra i quali Antonio Bertin, Ettore Verondini, Antonio Vitale, Arnaldo Uguzzoni, Ignazio Massa, Gianni Vannini, poi allievi o collaboratori di questi, come

Mauro Bruno, Franco Malaguti, Maurizio Piccinini, Nicola Semprini Cesari, Stefano De Castro, Domenico Galli, Mauro Villa e Antonio Zoccoli.

La Tabella 1, riassuntiva dei titolari d'insegnamento (inclusi quelli in servizio successivamente alla trasformazione della Facoltà in Scuola d'Ingegneria e Architettura) e dell'ultima qualifica universitaria da loro posseduta nel 2018, attesta il raggiungimento della prima fascia della docenza universitaria da parte cospicua dei nominati,

*Tabella 1. Titolari di insegnamenti di Fisica alla Facoltà d'Ingegneria dopo il 1960 (\*).*

<i>Titolare</i>	<i>Ultimo ruolo universitario (fino al 2018)</i>	<i>A.A. (**)</i>
A. Alberigi Quaranta	Professore ordinario	≤1967
Pietro Bassi	Professore ordinario	1963-1984
Antonio Bertin	Professore ordinario	1967-2014
Sergio Focardi	Professore ordinario	1962/63
Attilio Forino	Professore ordinario	1967/68
Franco Malaguti	Professore ordinario	1979-2010
Ignazio G. Massa	Professore ordinario	1972-2013
Cesare Moroni	Professore ordinario	1956-1997
Maurizio Piccinini	Professore ordinario	2005-2015
Nicola Semprini Cesari	Professore ordinario	1999-2018
Arnaldo Uguzzoni	Professore ordinario	1969-2011
Gianni Vannini	Professore ordinario	1972-2018
Franco Verniani	Professore ordinario	1967-1984
Ettore Verondini	Professore ordinario	1967-2010
Mauro Villa	Professore ordinario	2005-2015
Antonio Vitale	Professore ordinario	1969-2008
Antonio Zoccoli	Professore ordinario	1992-2013
Protogene Veronesi	Professore incaricato	1958-1967
Mauro Bruno	Professore associato	1992-2016
Marco Capponi	Professore associato	1985-2004
Beatrice Fraboni	Professore associato	2013-2015
Domenico Galli	Professore associato	2001-2018
Barbara Lanzoni	Professore associato	2014-2018
Annarita Margiotta	Professore associato	2013-2018
Silvia Pellegrini	Professore associato	2013-2018
Franco Saporetto	Professore associato	1971-1997
Gilda Scioli	Professore associato	2014-2018
Maximiliano Sioli	Professore associato	2012-2018
Stefano Zucchelli	Professore associato	2007-2018
Angelo Carbone	Ricercatore	2011-2018
Stefano De Castro	Ricercatore	1996-2016
Laura Fabbri	Ricercatrice	2008-2018

(\* I titolari nominati nella Tabella hanno sostenuto l'impegno didattico anche nelle Sedi di Cesena, Forlì e Ravenna.

(\*\*) Primo e ultimo anno di servizio (aggiornato al 2018) come titolari di corsi di Fisica presso la Facoltà e/o la Scuola. I periodi intercorrenti subirono per alcuni dei nominati interruzioni relative al periodo di straordinario svolto presso altre Università (Massa, Uguzzoni, Vannini, Vitale), al servizio presso altre Facoltà (Malaguti, Moroni), al congedo per motivi di studio (Bertin) o all'assunzione di diversa titolarità (De Castro).



gran parte dei quali ha rivestito in precedenza il ruolo di professore incaricato e/o professore associato.

L'impegno didattico dei docenti di Fisica è evidenziato anche dalle redazioni di testi universitari particolarmente indirizzati agli studenti di Ingegneria in quanto fondati sulla loro specifica esperienza didattica. Nella Tabella 2 è data una lista dei testi d'appoggio alle lezioni frontali redatti dai titolari dei corsi. Indipendentemente

*Tabella 2. Testi sussidiari redatti dai docenti di Fisica generale della Facoltà.*

<i>Trattazioni istituzionali</i>		
<i>Autori</i>	<i>Titolo</i>	<i>Editore</i>
E. Fuschini, P. Veronesi	<i>Fondamenti di meccanica</i>	CLUEB, Bologna, 1977
A. Bertin, M. Poli, A. Vitale	<i>Fondamenti di meccanica</i>	Esculapio, Bologna, 1996
A. Bertin, M. Poli, A. Vitale	<i>Fondamenti di termodinamica</i>	Esculapio, Bologna, 1997
A. Bertin, N. Semprini Cesari, A. Vitale e A. Zoccoli	<i>Lezioni di elettromagnetismo</i>	Esculapio, Bologna, 2003
C. Moroni	<i>Lezioni di elettromagnetismo e ottica</i>	Pitagora, Bologna, 1996
M. Capponi	<i>Lezioni di Fisica 1</i>	Pitagora, Bologna, 1993
S. Focardi, I. Massa, A. Uguzzoni	<i>Fisica generale. Meccanica</i>	CEA, Milano, 2003
S. Focardi, I. Massa, A. Uguzzoni	<i>Fisica generale. Termodinamica e fluidi.</i>	CEA, Milano, 2003
S. Focardi, I. Massa, A. Uguzzoni	<i>Fisica Generale. Onde e ottica.</i>	CEA, Milano, 2003
S. Focardi, I. Massa, A. Uguzzoni	<i>Fisica Generale 2. Elettromagnetismo</i>	CEA, Milano 2003
G. Vannini	<i>Gettys Fisica 1. Meccanica e termodinamica</i>	McGraw-Hill, 2011 Education, Milano, 2011
G. Vannini	<i>Gettys Fisica 1. Meccanica</i>	McGraw-Hill Education, Milano
<i>Eserciziari</i>		
<i>Autori</i>	<i>Titolo</i>	<i>Editore</i>
D. Brini, O. Rimondi, P. Veronesi	<i>Guida alla Risoluzione dei Problemi di Fisica (2 volumi)</i>	Pàtron, Bologna, 1969
S. Focardi	<i>Problemi di Fisica Generale. Meccanica, onde elastiche, termodinamica</i>	CEA, Milano, 1982
S. Focardi	<i>Problemi di Fisica Generale. Elettricità, magnetismo, ottica</i>	CEA, Milano, 1978
M. Bruno, M. D'Agostino, M.L. Fiandri	<i>Esercizi di fisica 1. Calcolo vettoriale, cinematica, dinamica e termodinamica</i>	CLUEB, Bologna, 1992
M. Bruno, M. D'Agostino, R. Santoro	<i>Esercizi di Fisica. Elettromagnetismo.</i>	CEA, Milano, 2004
M. Villa, A. Uguzzoni	<i>Esercizi di fisica 1. Meccanica. Come risolvere i problemi.</i>	CEA, Milano, 2016
A. Bertin, S. De Castro, N. Semprini Cesari, A. Vitale e A. Zoccoli	<i>Problemi d'Esame di Fisica Generale</i>	Esculapio, Bologna, 2005

dall'adozione come base d'insegnamento da parte dei singoli, tale lavoro ha messo a disposizione degli studenti un ampio ventaglio di trattazioni, da quelle a carattere tradizionale a quelle d'impostazione più moderna e innovatrice.

### 2.20.3. La presenza nelle istituzioni

La difficoltà di conciliare ingenti responsabilità didattiche e impegno in ricerche di frontiera non impedì a diversi titolari d'insegnamento, tra quelli ricordati nella Tabella 1, d'assumere nel tempo responsabilità direttive alle quali venivano chiamati per il loro risalto nell'arena scientifica nazionale e internazionale. Ne menzioniamo una scelta in quanto segue, convenzionalmente riduttiva, procedendo con l'ordine alfabetico degli interessati e rilevando che la loro presenza istituzionale si raccordò in tal modo a quelle già ricordate di Giampietro Puppi e Pietro Bassi.

ANTONIO BERTIN: Presidente della III Commissione scientifica nazionale dell'*INFN*. Rappresentante italiano in Comitati scientifici del *CERN* e del Consiglio della Ricerca Europeo (*ERC*) con sede a Bruxelles.

MARCO CAPPONI: Presidente dell'*ARSTUD* (Azienda per il diritto allo studio universitario); Membro della Giunta d'Ateneo dell'Università di Bologna.

IGNAZIO GIACOMO MASSA: Vice-Presidente della Facoltà d'Ingegneria; Presidente dell'Osservatorio della Ricerca dell'Università di Bologna.

NICOLA SEMPRINI-CESARI: Direttore del Dipartimento di Fisica e Astronomia; Membro del Consiglio d'Amministrazione della Fondazione Alma Mater dell'Università di Bologna.

GIANNI VANNINI: Direttore del Dipartimento di Fisica dell'Università di Trieste; Membro della Giunta del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna.

ETTORE VERONDINI: Direttore del Laboratorio di Ingegneria nucleare di Montecuccolino e successivamente del Dipartimento di Fisica; Pro-rettore Vicario dell'Università di Bologna.

MAURO VILLA: Membro della Commissione Permanente per i Problemi Giuridici ed Amministrativi della Facoltà di Ingegneria e dell'Osservatorio della Ricerca dell'Università di Bologna per il raggruppamento 02-Scienze Fisiche.

ANTONIO VITALE: Direttore della Sezione di Bologna dell'*INFN*. Membro del Consiglio d'Amministrazione dell'*ENEA*.

ANTONIO ZOCCOLI: Direttore della Sezione di Bologna dell'*INFN*. Membro della Giunta Esecutiva e Presidente dell'*INFN*.

### 2.20.4. La ricerca

La Fisica nucleare e delle Particelle elementari *di base* ebbe grande rilievo per tutta la seconda metà del Novecento grazie allo strumento delle *macchine acceleratrici* (o

*acceleratori*) di particelle subatomiche, utilizzate come sonde della materia aventi capacità di penetrazione associate alla loro energia. L'impostazione adottata all'Istituto di Fisica di Bologna, mantenuta nell'odierno Dipartimento di Fisica, tuttavia, fu di aprirsi anche ad altri settori come la Fisica nucleare applicata, il Calcolo, l'Astrofisica e la Geofisica.

Dal punto di vista culturale e tecnologico, con radici specifiche nella nostra Facoltà d'Ingegneria, una realizzazione particolarmente significativa fu la messa in opera del *Laboratorio di Ingegneria Nucleare di Montecuccolino*, costituito con lo scopo di sviluppare le ricerche nel campo della Fisica e Ingegneria dei reattori nucleari, delle tecniche nucleari, della radioprotezione ed essere di supporto al *corso di laurea in Ingegneria Nucleare* ed alla *Scuola di Specializzazione in Ingegneria e Tecniche Nucleari*.

La Fisica bolognese realizzò anche, tramite la guida illuminata e creativa di Marcello Ceccarelli (1927-1984) il Radiotelescopio *Croce del Nord* (1964) tuttora in funzione presso Medicina, destinato a indagare la mappa dell'Universo attraverso la rivelazione e lo studio delle onde elettromagnetiche emesse dai corpi celesti.

Se a queste importanti iniziative si aggiunge l'istituzione nell'area bolognese d'importanti strutture votate allo sviluppo del Calcolo e dell'Informatica (il Centro di Calcolo della Facoltà d'Ingegneria, quello dell'allora *CNEN*, quello dell'*INFN*, il *CNAF*, il *CINECA*) ci si rende conto del perché le scelte dell'Istituto non prevedero l'installazione a Bologna di macchine acceleratrici di dimensioni competitive con quelle dei Laboratori nazionali e internazionali.

Le potenzialità della Sezione di Bologna dell'*INFN* e la crescita della scuola in Fisica nucleare e delle Particelle elementari costituirono tuttavia una spinta all'impegno nella ricerca di frontiera prevalentemente svolta nei Laboratori dotati di questo strumento.

Un contributo tecnologico fondamentale in questa direzione, sostenuto da Giampietro Puppi, fu rappresentato dalla *camera a bolle* nazionale a idrogeno liquido [4.1] costruita a Bologna tra il 1956 e il 1958 e poi impiegata in esperimenti al Sincrociclotrone (*SC*) del *CERN* e all'Elettrosincrotrone (*ES*) dei Laboratori Nazionali di Frascati dell'*INFN*. L'operazione, condotta in collaborazione tra cinque Sezioni dell'*INFN* (Bologna, Padova, Pisa, Roma e Trieste) con la direzione di Pietro Bassi permise *per la prima volta in Europa* l'impiego dello strumento in esperimenti condotti ad acceleratori di particelle come lo *SC* e l'*ES* sopra nominati, meritando all'Istituto bolognese e a Bassi stesso l'apprezzamento internazionale e un particolare risalto nella Scuola italiana di Fisica.

In continuità con queste brillanti affermazioni, Pietro Bassi trasmise ai suoi allievi l'indicazione di orientarsi su ricerche che riguardassero problemi fondamentali o tematiche di frontiera della Fisica contemporanea. Sensibili a queste indicazioni essi le svilupparono sia nel settore della Fisica dei Nuclei che in quello delle Particelle elementari, con l'obiettivo comune di ampliare la conoscenza disinteressata delle leggi fondamentali della natura e giungendo anche a confrontarsi con il settore delle misure di grande precisione. Seguire questo percorso, inoltre, significò in svariate occasioni sviluppare strumentazione avanzata e impegnare gli interessati anche in direzione tecnologico-applicativa.

### ***Il Laboratorio di Ingegneria Nucleare di Montecuccolino***

Nella pagina Web del Dipartimento d'Ingegneria industriale dell'Università di Bologna si legge oggi:

Il Centro di Montecuccolino è sorto all'inizio degli anni '60 dalla collaborazione fra la Scuola di Specializzazione in Ingegneria Nucleare dell'Università di Bologna, il *CNEN* [Comitato nazionale per l'Energia Nucleare confluito nell'*ENEA* nel 1982, N.d.A.] e l'*Agip Nucleare*, società del Gruppo *ENI*. Oggi svolge attività diversificate che, accanto a quelle classiche sulla sicurezza e la fisica dei reattori, comprendono altri aspetti come la termofluidodinamica computazionale, la radioprotezione e la fisica dei plasmi.

Tale presentazione certifica la permanente vitalità della struttura nata più di mezzo secolo fa [4.2], quando le prospettive dell'impiego pacifico dell'energia nucleare erano diverse da quelle attuali e l'Italia era (con quasi 4 miliardi di kWh) la terza nazione produttrice mondiale di energia elettrica mediante il nucleare.

È interessante rivisitare la nascita e le prime realizzazioni di questa struttura che testimoniano l'interesse dei vertici della Fisica bolognese e della Facoltà d'Ingegneria per gli sviluppi applicativi e d'interesse civile delle corrispondenti conoscenze. Le origini risalgono alla convergenza d'iniziative dell'allora Preside di Facoltà Paolo Dore (1892-1969), di Giampietro Puppi e di un'altra personalità scientifica di statura internazionale, Bruno Ferretti (1913-2010), ordinario di Fisica Teorica all'Università di Bologna dal 1958 e primo Direttore della Divisione di Fisica teorica del *CERN* tra il 1957 e il 1959.

Le basi della vicenda furono stabilite nel 1957 con l'avvio della Scuola di Specializzazione in Ingegneria Nucleare, seguita nel 1960 dall'istituzione del corso di laurea in Ingegneria Nucleare, il cui Statuto fu approvato nel 1964 [4.3]. In quest'arco di tempo, però, si era verificata una serie di eventi di alto profilo scientifico e organizzativo.

Nel 1960 fu realizzato in località sui colli bolognesi il Laboratorio d'Ingegneria Nucleare di Montecuccolino (ufficialmente inaugurato nel 1963) ed entro il 1962 un gruppo di giovanissimi ricercatori (ingegneri nucleari e fisici, neolaureati e laureandi), guidati da Bruno Ferretti, progettò e vi mise in opera un reattore nucleare sperimentale (nelle due fasi essenziali di *sottocriticità* e *criticità*, cioè accensione). Lo strumento (denominato *RB-1*) era studiato per essere una sorgente di neutroni ma anche un dispositivo rivolto allo studio e caratterizzazione di materiali costituenti reattori nucleari di potenza.

Questa straordinaria prestazione fu accompagnata dal coinvolgimento dell'*Agip Nucleare* (società che già si occupava dello sviluppo di elementi di combustibile nucleare) che nel 1964 mise in funzione il reattore *RB-2*, anch'esso mirato all'addestramento di giovani ricercatori e tecnici del settore nucleare.

Nel 1971, infine, venne ad aggiungersi ai primi due un terzo reattore (*RB-3*), acquisito dal *CNEN* ed installato nel Laboratorio per essere utilizzato a *potenza zero* com'e-



Figura 3. Il Laboratorio di Ingegneria Nucleare di Montecuccolino. A destra, la sala del reattore RB-1; a sinistra, la sala del reattore RB-2.

del Laboratorio. Si trattava, com'è noto, di un'operazione assai complessa, per ragioni sia tecniche che burocratiche. L'Agip Nucleare, a quel punto, decise di abbandonare ogni attività a Montecuccolino cedendo all'Università il reattore RB-2, diversamente dall'ENEA, che collaborò attivamente a tutte le fasi di smantellamento e alle iniziative nel frattempo intraprese sfruttando le licenze ancora in possesso del Laboratorio.

L'ENEA infatti trasferì a Montecuccolino tutte le sue attività di radioprotezione e collaborò attivamente alla costruzione di un laboratorio per la datazione con il metodo del radiocarbonio ( $^{14}\text{C}$ ) e all'installazione di una sorgente (*plasma focus*) per la produzione di raggi X, ancor oggi utilizzata per studiare gli effetti dell'irraggiamento su cellule tumorali. Queste attività si affiancarono allo studio teorico della progettazione neutronica, mai interrotta.

Quando Verondini si dimise, essendo stato eletto nel 1988 alla direzione del Dipartimento di Fisica, la presenza dei fisici universitari si ridusse notevolmente. Oggi il Laboratorio è stato incorporato nel Dipartimento di Ingegneria Industriale e svolge le attività citate all'inizio del presente paragrafo.

Facendo un passo indietro è importante ricordare che la costruzione dei reattori di Montecuccolino fu anche motrice della realizzazione del Centro di Calcolo della Facoltà d'Ingegneria, basato sull'acquisizione (1958) di un (all'epoca) potente calcolatore elettronico IBM-650 che rappresentò per un certo tempo un polo d'attrazione anche per ricercatori di altre Università e Istituzioni. Esso fu realizzato sotto la responsabilità di Ferrante Pierantoni (1933-2012), l'ingegnere allora neolaureato il quale, dando attuazione alle idee di Bruno Ferretti, diresse la progettazione, la costruzione ed il raggiungimento della prima criticità del reattore RB-1.

Queste realizzazioni influenzarono a loro volta l'orientamento del CNEN a dotarsi di mezzi di calcolo più potenti dell'IBM-650, con la conseguente nascita a Bologna del Centro di Calcolo del CNEN, dotato inizialmente (1960) del calcolatore IBM-704 e in seguito del più moderno IBM-7094/7040. Durante la direzione di Ezio Clementel (1918-1979), professore di Fisica Nucleare all'Università di Bologna dal 1961 e poi Presidente (1972-1977) del CNEN, il nuovo Centro di Calcolo funzionò come strumento di ricerca utilizzato da diverse Istituzioni universitarie per sviluppare le competenze relative allo sviluppo e all'impiego civile dell'energia nucleare.

ra sufficiente per procedere alle ricerche d'interesse e come del resto era stato impiegato RB-1.

Prendendo atto dell'esito del referendum sul nucleare del 1987, tuttavia, la Facoltà di Ingegneria decise di bonificare il sito di Montecuccolino per poterlo destinare ad altre attività.

Il cosiddetto *decommissioning* fu affidato a Ettore Verondini, nel frattempo divenuto Direttore

La sua importanza sul piano nazionale confermò le potenzialità della sede di Bologna per ospitare strutture di calcolo sempre più potenti ed efficaci, come quelle dell'attuale *CINECA* (costituito nel 1969 come Consorzio Interuniversitario per il Calcolo Automatico dell'Italia Nord Orientale).

### ***Le simmetrie nei nuclei e l'interazione nucleone-nucleone***

Nel 1963, quando Pietro Bassi prese servizio come professore ordinario nella nostra Facoltà, costituì un gruppo di ricerca che rivolse la sua attenzione al campo delle indagini sperimentali sulle interazioni fondamentali. Due furono le linee di ricerca che egli avviò subito dopo il suo arrivo a Bologna: un'indagine sull'invarianza delle interazioni nucleari *forti* (responsabili della stabilità del nucleo atomico) rispetto alla trasformazione di *parità* (inversione delle coordinate spaziali) e una sull'indipendenza dalla carica elettrica nell'interazione forte nucleone-nucleone. Entrambe queste indagini toccano un problema fondamentale della ricerca in Fisica: le proprietà di simmetria della natura. La simmetria rispetto all'operazione di parità implica che, se un fenomeno naturale è possibile, anche la sua immagine speculare rappresenta un evento che può verificarsi in natura. L'indipendenza dalla carica elettrica dell'interazione forte implica la simmetria rispetto allo scambio fra *protone* e *neutrone*, formalmente distinti dal *numero quantico d'isospin* (o *spin isotopico*) come stati diversi di un'unica particella, il *nucleone*, costituente dotato di massa del nucleo atomico.

La prima indagine, in collaborazione con un gruppo del *CCR-EURATOM* di Ispra, studiò la reazione di cattura neutronica da parte del  $^7\text{Be}$  osservando l'eventuale produzione di due particelle *alfa* (nuclei di  $^4\text{He}$ ) che non può avvenire se la parità è conservata. I risultati posero un limite superiore all'intensità di una possibile interazione forte che violasse la parità [4.4]. Tale limite fu superato soltanto dieci anni dopo.

La seconda riguardò direttamente l'interazione fra due nucleoni cercando di stabilire se l'interazione nucleare fra due neutroni sia la stessa di quella fra due protoni e fra un neutrone e un protone, cioè, detto in termini tecnici, se l'interazione fra due nucleoni conserva l'*isospin*. Furono condotti due esperimenti, il primo presso i Laboratori Nazionali di Legnaro (*LNL*) dell'*INFN* e il secondo presso un acceleratore *Cockroft-Walton* installato nei sotterranei dell'Istituto di Fisica dell'Università di Bologna. Il secondo esperimento permise un'ottima valutazione dell'indipendenza dalla carica dell'interazione nucleare e fu condotto da Ettore Verondini come responsabile e Ignazio Massa, Cesare Moroni, Arnaldo Uguzzoni, Gianni Vannini e Antonio Vitale. Gli interessanti risultati [4.5] furono ampiamente discussi in un articolo di rassegna di Ettore Verondini [4.6].

### ***Le ricerche con fasci di muoni***

#### *a) Studi sulle interazioni deboli*

Il fronte più importante della sperimentazione effettuata in questo campo riguarda l'indagine sulle costanti fondamentali delle *interazioni nucleari deboli*, vale a dire le leggi che regolano un importante settore della radioattività e in campo ma-

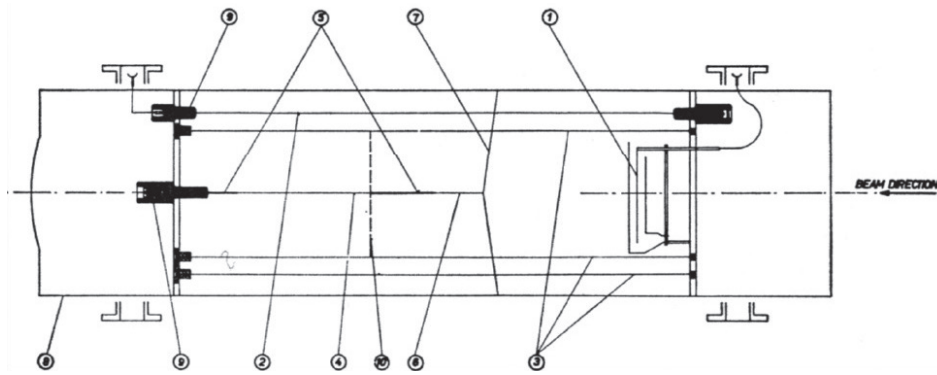


Figura 4. Schema semplificato del bersaglio d'idrogeno gassoso "senza pareti" [4.8].

croscopico, ad esempio, la stabilità della combustione solare. Il *muone* (simbolo  $\mu$ ), un fratello pesante dell'elettrone appartenente [come l'ancor più massiccio *tau* (simbolo  $\tau$ ) e i neutrini] al mondo *leptonico* e soggetto a disintegrazione spontanea (o *decadimento*), divenne protagonista delle ricerche in Particelle elementari dopo un celebre esperimento [4.7] che lo riconobbe come partecipe delle *interazioni nucleari deboli* (oltre che di quelle elettromagnetiche e gravitazionali) e pertanto come particella distinta dal *pione* (o mesone di Yukawa) mediatore invece delle già nominate interazioni nucleari *forti*.

Aggregazioni diverse di fisici bolognesi appartenenti alla Facoltà d'Ingegneria, allievi del professor Bassi, portarono a termine studi sul comportamento *debole* di questa particella in un arco temporale di circa trent'anni (da metà degli anni Sessanta a metà degli anni Novanta del secolo scorso) utilizzando fasci di muoni rilasciati da macchine acceleratrici quali lo SC del CERN e l'ALS (*Accélérateur Linéaire de Saclay*) del CEA (*Commissariat à l'Énergie Atomique*) a Saclay (Parigi).

I gruppi che vi si succedettero studiarono le proprietà del muone con particolare riferimento ai processi di cattura nucleare da parte di nuclei leggeri. Il corrispondente percorso ebbe origine dallo studio sulla reazione di *cattura nucleare del muone da parte di un protone* (simbolo  $p$ ) in un bersaglio d'idrogeno gassoso, portato a termine tra il 1965 e il 1967 da una Collaborazione CERN-Bologna (responsabile per Bologna: Alessandro Alberigi Quaranta).

Questo esperimento, considerato all'epoca come forse il più difficile portato a termine allo SC (macchina acceleratrice interessata) fu fondato su progetto e costruzione di un contenitore di gas ad alta pressione reso operativamente senza pareti [4.8] da una struttura di fili tesi in prossimità delle pareti stesse e tenuti a voltaggio sufficientemente elevato perché con il gas stesso funzionassero come rivelatori proporzionali. L'esperimento fu poi seguito, utilizzando lo stesso strumento, dallo studio della reazione analoga in deuterio gassoso.

Misure di generazione successiva in idrogeno e deuterio liquidi, condotte a Saclay da una collaborazione Saclay-Bologna-CERN (responsabile per Bologna: Antonio

Vitale) nel corso degli anni Ottanta produssero anche una determinazione della vita media per decadimento spontaneo del muone libero [4.9] accurata a livello di  $1.8 \times 10^{-5}$ .

Questo risultato permise di raggiungere per la prima volta la determinazione della costante di Fermi  $G_F$  (che stabilisce la metrica delle interazioni deboli con ruolo analogo a quello della carica dell'elettrone per quelle elettromagnetiche) con la precisione di  $2.5 \times 10^{-5}$  che rimase imbattuta per un quarto di secolo come il risultato conosciuto più accurato ottenuto nel settore.

La vasta letteratura generata da questa attività mediante pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali è documentata in due lavori di rassegna di Antonio Bertin e Antonio Vitale ([4.10], [4,11]).

#### *b) Studi sulle proprietà atomico-molecolari di sistemi muonici*

Dopo che, all'inizio degli anni Settanta, ebbe luogo la partecipazione a titolo personale di Antonio Bertin e Antonio Vitale (allora professori incaricati presso la Facoltà) a una Collaborazione CERN-Pisa-Bologna nella quale fu adottata per la prima volta la *spettroscopia laser di atomi muonici* tramite l'accoppiamento di un fascio di luce *laser* con un fascio di particelle [4.12], essi stessi proposero studi sperimentali di problematiche emerse in collegamento a quelli sulle interazioni deboli del muone. Tali ricerche furono da loro condotte sia al CERN (insieme a Ignazio Massa, Maurizio Piccinini e Gianni Vannini) che a Saclay (con Marco Capponi e Maurizio Piccinini) e al Rutherford-Appleton Laboratory (RAL) situato a Reading (Oxford, UK) con Maurizio Piccinini e Antonio Zoccoli.

L'attività più continuativa su questo secondo filone di Fisica dei muoni fu quella portata a termine al CERN (responsabile: Antonio Bertin) con riguardo alla fisica degli atomi *muonici* (nei quali un muone si sostituisce a un elettrone formando sistemi dotati di particolari proprietà). La problematica delle interazioni degli atomi muonici d'idrogeno ( $\mu p$ ) e deuterio ( $\mu d$ ) con la materia fu affrontata allora secondo due direzioni: misure delle loro sezioni d'urto nel processo di diffusione nella materia e processi di trasferimento del muone ad elementi più pesanti.

Caratteristica della letteratura prodotta nell'occasione in questo campo fu l'accompagnamento dei risultati sperimentali con una robusta attività d'analisi teorico-fenomenologica. I risultati d'interesse e i nuovi sviluppi delle problematiche trattate nelle due direzioni sopra ricordate, tra l'altro, furono ampiamente ripresi negli articoli di rassegna citati come *Riferimenti* [4.11] e [4.13].

#### *c) Studi sulla catalisi muonica della fusione nucleare*

La fusione (o sintesi) nucleare fra due nuclei atomici dell'elemento idrogeno (*protoni*) e dei suoi isotopi deuterio [i cui nuclei sono chiamati *deutoni*, simbolo (*d*)] e trizio (i cui nuclei, detti *tritoni*, sono indicati con la lettera *t*) è un ben noto processo che libera energia. Esso deve combattere, però, la repulsione elettrostatica, poiché i nuclei, avendo carica elettrica dello stesso segno, si respingono. Un muone negativo fermato in una miscela di idrogeno e/o dei suoi isotopi forma *ioni molecolari* [del tipo ( $p\mu p$ ), ( $d\mu d$ ), ( $d\mu t$ )] nei quali il legame coulombiano è fornito dal muone anziché



dall'ordinario elettrone. Tale legame è tanto più forte quanto più grande è la massa della particella che lo produce e negli ioni molecolari muonici il corrispondente avvicinamento *catalizza* il processo di fusione nucleare, liberando il muone che può legarsi in altri ioni molecolari proseguendo il processo fino alla sua scomparsa per decadimento o cattura nucleare.

Successivamente alla sua scoperta (1957) il fenomeno fu pertanto oggetto di notevole attenzione, sia teorica che sperimentale, per i possibili risvolti legati alla produzione d'energia, nonostante fosse subito chiaro che, anche a causa della sua instabilità, un muone fermato in idrogeno (o idrogeno deuterato o deuterio puro) poteva catalizzare un numero di fusioni di gran lunga insufficienti a compensare il costo energetico della sua stessa produzione: tale bilancio negativo sbarrava la strada all'impiego industriale dell'azione catalitica del muone nei confronti della fusione nucleare.

Un altro motivo di perdita nel ciclo di catalisi è la possibilità che, liberato dopo una reazione di fusione tra due isotopi dell'idrogeno, il muone si attacchi al nucleo di elio prodotto nella fusione di due di questi, e vi scompaia per decadimento o cattura nucleare da parte dell'elio. Anche nella sintesi nucleare deuterio-trizio catalizzata nello ione molecolare  $d\mu t$  il corrispondente parametro di attaccamento (*sticking*) all'elio, pur sensibilmente più basso che negli altri nominati più sopra, risulta un ostacolo non indifferente.

Negli anni Settanta, tuttavia, l'interesse per il fenomeno si riaccese grazie agli studi degli scienziati sovietici dei Laboratori del Joint Institute for Nuclear Research (*JINR*) di Dubna (presso Mosca) e di Gatchina presso Leningrado (oggi San Pietroburgo). Previsioni e misure indicavano un importante incremento del numero di fusioni nucleari catalizzabili da un singolo muone se questo era rallentato in miscele di deuterio e trizio, con interessanti osservazioni sulla dipendenza dalla temperatura dell'importanza del processo.

Con l'inizio degli anni Ottanta le ricerche sperimentali ripresero anche ai laboratori *LAMPF* (Los Alamos Meson Physics Facility) di Los Alamos negli Stati Uniti e allo *PSI* (Paul Scherrer Institute) di Villigen presso Zurigo.

Il gruppo di Bologna, che al *CEA* di Saclay aveva proposto e ottenuto che si portasse a termine lo studio della catalisi muonica della fusione nello ione molecolare  $d\mu d$ , contribuì in seguito allo studio del *costo energetico della produzione di un muone* partendo da misure condotte (responsabili per Bologna: Antonio Bertin e Antonio Vitale) al *CERN* sulla produzione di *pioni* (il *pione* o mesone  $\pi$  è la particella il cui *decadimento* produce il muone) e al *RAL* sulla determinazione del coefficiente di *sticking* nella fusione dello ione molecolare di deuterio-trizio  $d\mu t$ .

Antonio Bertin e Antonio Vitale riferirono dello stato dell'arte sul fronte internazionale in un lavoro di rassegna [4.14]. I risultati delle ricerche in proposito dell'intera comunità internazionale, non ancora incoraggianti ai fini della produzione industriale d'energia, tornarono a diminuirne l'interesse quando si diffusero le speranze sul controverso fenomeno della *fusione nucleare fredda* del quale si dirà nel seguito.

### ***Studio sulla produzione di particelle nell'interazione protone-protone ad altissime energie***

Uno dei temi più rilevanti e discussi alla fine degli anni Sessanta nei laboratori di Fisica delle Alte Energie riguardava le modalità di produzione di particelle elementari positive e negative nelle interazioni fra particelle in funzione dell'energia a disposizione. Diventò, quindi, importante portare a termine misure di produzione negli urti fra nucleoni a energie sempre più alte. Fra gli altri argomenti era di grande interesse lo studio della produzione di antiparticelle, di antinuclei e di eventuali *monopoli magnetici* in funzione dell'energia alla quale avvengono gli urti. Ne nacque una gara su scala planetaria per costruire *facility* che fornissero energie a disposizione le più alte possibili.

Nel 1970 il *CERN* rese disponibile un particolare tipo di acceleratore costituito da due anelli intersecantesi in cui venivano accumulati protoni di alta energia. I due anelli si intersecavano in vari punti in modo tale che i protoni circolanti potessero scontrarsi fra di loro. Tale *facility*, chiamato *Intersecting Storage Rings (ISR)*, permetteva di studiare l'interazione protone-protone ad energie molto più alte di qualunque altro acceleratore allora in funzione, arrivando fino a 100 volte quelle raggiungibili mediante un acceleratore a bersaglio fisso.

Gianni Vannini si unì allora a un gruppo di fisici bolognesi che aveva costituito una Collaborazione con un gruppo statunitense (*Argonne National Laboratory e Randall Laboratory of Physics, Michigan*) per condurre una serie di misure agli *ISR*. Per una serie di circostanze Vannini stesso partecipò come unico ricercatore italiano alle misure che produssero la prima pubblicazione di dati raccolti presso tale nuovo acceleratore [4.15].

In seguito s'istituì una nuova Collaborazione, alla quale partecipò anche Antonio Bertin, che produsse agli *ISR* molti risultati sulla produzione di particelle elementari ancor oggi citati in letteratura [4.16]. È di particolare rilievo la misura sulla produzione di monopoli magnetici che portò alla determinazione di un limite al processo in questione [4.17].

### ***Ricerche sui meccanismi di reazioni nucleari e sui comportamenti della materia nucleare***

A partire dai primi anni Settanta diverse sinergie di fisici della Facoltà di Ingegneria s'impegnarono in ricerche sperimentali dedicate allo studio del comportamento dei nuclei atomici con particolare riguardo a quello delle loro aggregazioni in materia nucleare. Tale studio si sviluppò seguendo nelle grandi linee due direzioni di ricerca.

#### *a) Misure di tempi di reazioni nucleari*

Uno dei temi classici della Fisica Nucleare consiste nello studio della formazione e del decadimento di sistemi nucleari eccitati. In tale ambito rientrano sia il decadimento radioattivo di particolari isotopi sia il decadimento di sistemi formati nelle interazioni fra particelle e nuclei, cioè in particolari reazioni nucleari. Il parametro fondamentale che caratterizza le reazioni nucleari è il cosiddetto *tempo di reazione*,

cioè il ritardo intercorrente fra la formazione di un nuovo sistema nucleare e il suo decadimento. La misura di tali tempi è, quindi, di capitale importanza per ottenere informazioni sulle interazioni nucleari e per comprendere i comportamenti della materia nucleare. Queste motivazioni di carattere generale e fondamentale portarono a progettare e portare a compimento esperimenti che avevano lo scopo di misurare tempi di reazioni nucleari. In questo sforzo sperimentale furono adottati nuovi metodi, nuove tecniche e tecnologie innovative d'avanguardia.

All'inizio degli anni Settanta Franco Malaguti, Ignazio Massa, Cesare Moroni, Arnaldo Uguzzoni e Ettore Verondini si dedicarono allo studio sperimentale degli effetti di orientamento degli assi cristallini di alcuni monocristalli sulle distribuzioni angolari dei prodotti di reazioni nucleari. Ebbe così origine una serie di ricerche riguardanti misure di tempi di reazioni nucleari mediante la tecnica del *blocking* cristallino. I risultati di tali misure (tempi misurati dell'ordine di  $10^{-18}$ - $10^{-16}$  s), ottenuti principalmente presso i *Laboratori di Harwell* (UK) permisero di dare una descrizione teorica della complicata sequenza di decadimento di nuclei con alta energia di eccitazione.

Verso la fine degli anni Settanta un'altra tecnica sperimentale atta a misurare tempi di reazione nucleari fu, per la prima volta, messa a punto da Ignazio Massa, Cesare Moroni e Gianni Vannini. Tale tecnica, detta della *bremsstrahlung*, si basa sul fatto che nella formazione di un nucleo composto eccitato una particella carica (ad esempio un protone) colpisce ed entra in un nucleo (ad esempio di  $^{12}\text{C}$ ) fermandosi al suo interno; il sistema così formato è altamente eccitato e decade in un tempo molto breve e, quindi, la particella carica che lo aveva formato viene riemessa. In tal caso la particella carica prima è rallentata e poi accelerata e, poiché ogni particella carica con accelerazione diversa da zero produce un'emissione di onde elettromagnetiche, si ha l'emissione di un raggio *gamma* all'istante della formazione del nucleo composto e di un altro raggio *gamma* all'istante del suo decadimento. Il secondo raggio *gamma* sarà ritardato rispetto al primo del tempo di vita del sistema composto, costituendo con questo due onde elettromagnetiche sfasate che, quindi, interferiranno.

I tre docenti della Facoltà effettuarono una serie di misure presso il *Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL)* dell'*INFN* e studiarono lo spettro gamma esistente nella reazione nucleare ( $p+^{12}\text{C}$ ) e dalla struttura del termine di interferenza ricavarono informazioni sui tempi di ritardo dovuti alla formazione del nucleo composto. Con questa tecnica furono misurati tempi nucleari dell'ordine di  $10^{-20}$  s [4.18]. Tali risultati costituiscono i più piccoli valori di tempo mai misurati, record tuttora imbattuto. L'analisi teorica di questi importanti risultati fu poi generalizzata da Arnaldo Uguzzoni e Gianni Vannini. L'ampia mole di letteratura generata dai risultati pionieristici ottenuti dai fisici della Facoltà in questo ambito è documentata da un lavoro di rassegna di Ignazio Massa e Gianni Vannini [4.19].

Alla fine degli anni Ottanta, partendo dalle esperienze sulle interazioni fra ioni pesanti e sulle misure di tempi nucleari, Gianni Vannini ed Ettore Verondini (ai quali in un secondo tempo si aggiunse Franco Malaguti) proposero una serie di misure per ottenere informazioni sullo sviluppo temporale dei processi che avvengono nelle inte-

razioni fra nuclei pesanti. Si costituì una Collaborazione fra le Università di Bologna, Milano, Padova, Trieste e i *LNL* dell'*INFN* che, finanziata dall'*INFN*, portò alla misura di tempi di reazioni nucleari in varie interazioni fra nuclei pesanti dell'ordine di  $10^{-16}$  s [4.20]. Questa linea di ricerca si sviluppò ulteriormente in collaborazione con un gruppo di fisici dell'Istituto di Fisica Nucleare dell'Università di Stato di Mosca che portò, da un lato, a misure di vite medie di nuclei molto pesanti effettuate presso il Ciclotrone di Mosca [4.21], e, dall'altro, allo sviluppo di un nuovo metodo originale per misure di vite medie nucleari nell'intervallo temporale  $10^{-15}$ - $10^{-10}$  s [4.22].

#### *b) Interazioni nucleo-nucleo*

Fino alla fine degli anni Settanta la materia nucleare (i nuclei atomici) era stata indagata utilizzando particelle, come ad esempio elettroni, protoni e neutroni, come sonde che, entrando nel nucleo atomico, interagivano con i suoi componenti dando informazioni sulle interazioni presenti. Un altro aspetto fondamentale della Fisica Nucleare che occorre affrontare era lo studio dei nuclei come *materia* nucleare: come si comporta la materia nucleare quando viene sollecitata da compressioni, decompressioni e aumenti di temperatura? Per indagare questo problema cominciarono a essere costruiti *acceleratori per ioni pesanti*, che produssero fasci di nuclei anche molto pesanti (fino all'Uranio) che potevano andare a colpire bersagli costituiti da altri nuclei.

A partire dai primi anni Ottanta in Italia e nel mondo cominciarono a essere disponibili tali acceleratori e si cominciarono a studiare i meccanismi di reazione nell'interazione nucleo-nucleo progettando e costruendo nuovi tipi di rivelatori adatti alla rivelazione di nuclei pesanti. Con tale tipo di strumentazione, presso l'acceleratore Tandem dei *LNL* dell'*INFN* si avviarono alcuni esperimenti proposti da Ignazio Massa e Gianni Vannini in collaborazione con fisici dei Laboratori stessi, dell'Università di Padova e del *CNRS* di Strasburgo. Tali esperimenti continuarono con una serie di misure presso l'acceleratore *Tandem* dei Laboratori *CNRS* a Strasburgo. Di particolare rilievo furono i risultati sulla produzione di tre o più frammenti [4.23], e, in collaborazione con l'Università e la Sezione *INFN* di Trieste, lo studio di risonanze di tipo molecolare [4.24].

A partire dai primi anni Novanta Gianni Vannini insieme a Mauro Bruno e ad alcuni ricercatori del Dipartimento di Fisica ha promosso e partecipato a una Collaborazione fra le Università, le Sezioni *INFN* di Bologna, Trieste, Catania e Milano e i Laboratori Nazionali di *GANIL* (Caen, Francia). Scopo della Collaborazione fu la costruzione di un apparato innovativo e complesso atto a osservare un fenomeno chiamato *multiframmentazione*, in cui un sistema formato nell'urto nucleo-nucleo decade producendo molti frammenti, cioè nuclei leggeri.

L'apparato fu utilizzato presso i Ciclotroni accoppiati di *GANIL* producendo interessanti risultati sulla formazione di sistemi nucleari altamente eccitati. Nel 1993 due diversi gruppi di fisici della Michigan State University (*MSU*) richiesero che l'apparato stesso fosse trasportato negli Stati Uniti presso il Ciclotrone Superconduttore della *MSU* per dare vita a una serie di esperimenti in collaborazione. Dopo il trasporto e l'installazione, le misure di varie interazioni nucleo-nucleo hanno portato a risulta-

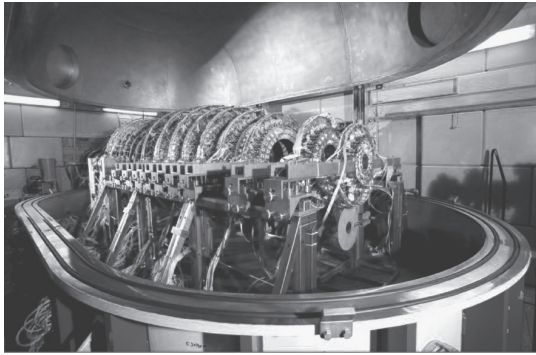


Figura 5. Il rivelatore CHIMERA.

studio di processi sia statistici che dinamici nel caso della produzione di molti frammenti nucleari [4.26].

Dal 1996 fino ai giorni nostri, Mauro Bruno, Michela d'Agostino (ricercatrice della Facoltà di Ingegneria) e Gianni Vannini hanno continuato a condurre ricerche sperimentali in collaborazioni internazionali presso i *LNS*, i *LNL* e i Laboratori di *GANIL* misurando i prodotti di reazione nell'urto nucleo-nucleo. Presso i *LNS* dell'*INFN* sono stati portati a termine studi sperimentali delle caratteristiche termodinamiche della materia nucleare utilizzando un apparato innovativo (*CHIMERA*) completamente progettato e costruito presso tali laboratori.

Nell'ambito delle indagini sulla materia nucleare e sui suoi comportamenti come materia composta da nucleoni, di particolare importanza è risultato lo studio dell'*Equazione di Stato della materia nucleare* che ha portato anche ad individuare per la prima volta una transizione di fase di tale materia del tipo liquido-vapore [4.27].

### **La sperimentazione con i mega-apparati**

Verso la fine degli anni Ottanta il gruppo che aveva lavorato autonomamente al *CERN* sentì l'attrazione verso Collaborazioni più cospicue di quelle che gli erano consuete ed aprì una stagione di partecipazione ad esperimenti condotti con equipaggi più numerosi e obbiettivi diversi e complementari a quelli cui s'era dedicato fino allora. I fisici coinvolti della Facoltà d'Ingegneria e della Scuola d'Ingegneria e Architettura pervennero in tal modo a partecipare ad esperimenti dotati delle strutture di rivelazione più grandi e complesse mai realizzate e aventi come obbiettivi l'esplorazione sempre più approfondita delle leggi basilari che governano il microcosmo.

#### *a) L'esperimento OBELIX*

L'ormai piena consapevolezza del fatto che i costituenti elementari della materia nucleare sono i *quark* (*q*) e i *gluoni* (*g*) [partecipi con i *quark* dell'interazione nucleare forte (o *adronica*) ma di questa mediatori] aveva in parte aggiornato il linguaggio della Fisica delle Particelle elementari e confermato l'interesse per lo studio sperimentale dell'interazione forte, della teoria che la descrive [la *cromodinamica quantistica* (*QCD*)] e delle sue potenzialità. La sperimentazione aveva acquisito familiarità

ti importanti per la comprensione del meccanismo della multiframmentazione [4.25]. Nel 1995 l'apparato fu portato a Catania presso il Ciclotrone Superconduttore dei Laboratori Nazionali del Sud (*LNS*) dell'*INFN*, dove si avviarono diversi esperimenti e Collaborazioni internazionali. Di particolare rilievo risultò la misura della Temperatura dei sistemi nucleari che frammentano e lo

con l'impiego di fasci di *antiparticelle* (ciascuna dotata della stessa massa della particella corrispondente ma di carica elettrica o altri *numeri quantici* di segno opposto).

Uno degli aspetti più caratteristici della *QCD* consiste nella previsione secondo la quale gli stessi mediatori dell'interazione forte possono dar luogo a stati legati. Nel quadro dello studio del regime alle basse energie delle interazioni forti s'inserì la fisica dell'annichilazione protone-antiprotone a riposo che permetteva uno studio assai accurato del complesso di stati legati eccitati (o risonanze) *quark-antiquark*. Tra di questi avrebbe dovuto trovarsi il ricercatissimo stato legato di soli gluoni ( $gg$ ) ancor oggi non chiaramente identificato come stato puro (non mescolato, cioè, con stati legati *quark-antiquark*).

In questo contesto presero piede studi sperimentali sempre più importanti di *spettroscopia mesonica*, ai quali afferì buona parte dell'impegno dell'esperimento *OBELIX* effettuato al *CERN* dalla più ampia Collaborazione per la ricerca in Fisica adronica finanziata dall'*INFN* nell'ultima decade del Novecento. Oltre al gruppo di Bologna (responsabili: Antonio Bertin e Antonio Vitale) vi furono coinvolti gruppi italiani dei Laboratori Nazionali di Legnaro e Frascati dell'*INFN*, di numerose Sedi universitarie (Cagliari, Padova, Pavia, Torino, Trieste e Udine) e del *JINR* di Dubna per un totale di autori vicino al centinaio.

L'esperimento fu portato a termine impegnando una parte rilevante degli anni Novanta all'anello di accumulazione di *antiprotoni* di bassa energia *LEAR* mediante l'impiego di spettrometri a grande angolo per l'osservazione di prodotti neutri e carichi successivi all'annichilazione di antiprotoni e antineutroni su nucleoni e nuclei.

Tra i risultati più significativi dell'imponente produzione scientifica dell'impresa figura l'individuazione di un segnale avente le caratteristiche previste per lo stato fondamentale del *gluonio* ( $gg$ ) [4.28].

Il contributo strumentale del gruppo di Bologna fu la costruzione e la gestione del calorimetro elettromagnetico [4.29], parte più esterna e impegnativa dell'apparato di rivelazione dell'esperimento.

#### b) L'esperimento *HERA-B*

Negli anni Novanta la ricerca del completamento del cosiddetto *modello standard* delle interazioni fondamentali si spinse verso lo studio delle caratteristiche dei *mesoni B*, ed in particolare verso quel meccanismo, chiamato *violazione della simmetria CP*, che spiegherebbe perché il nostro universo è costituito principalmente di materia e non di parti uguali di materia e antimateria.

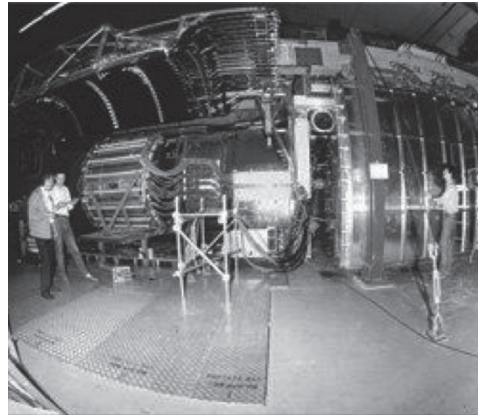


Figura 6. Il rivelatore *OBELIX* durante un'operazione di manutenzione.

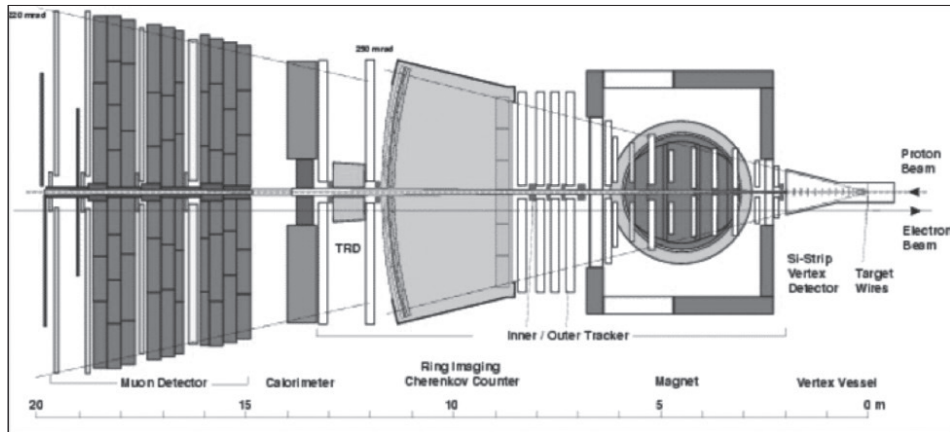


Figura 7. Schema del rivelatore HERA-B con indicazione delle dimensioni.

Mirando principalmente a questo obiettivo fu progettato l'esperimento *HERA-B* sul fascio di protoni dell'acceleratore *HERA* al Laboratorio *DESY* di Amburgo. La collaborazione fu costituita da più di 300 ricercatori di numerosi Paesi tra i quali Italia, Germania, Francia, Spagna, Olanda, Danimarca, Svizzera, Russia, Ucraina, Grecia e Stati Uniti d'America.

L'esperimento fu progettato alla frontiera tecnologica del momento e si rivelò un fertile terreno di sviluppo di tutte le tecnologie utilizzate con profitto negli esperimenti condotti all'acceleratore *LHC* del *CERN* quindici anni dopo. Ad esempio le tecniche di *trigger multilivello*, con componenti in parte *hardware* e in parte *software* su grandi *farm online* di analisi, furono sviluppate per la prima volta in *HERA-B*.

Per problemi tecnici di diverso tipo, tuttavia, l'esperimento studiò solo parzialmente la fisica dei mesoni *B*. Ciononostante i dati raccolti furono un fertile terreno di studio per la fisica dei mesoni *open e hidden charm*, *D*, *J/Ψ*,  $\chi_c$  [4.30] e consentirono il significativo miglioramento dei modelli di produzione di tali particelle in ambiente adronico.

Le misure di sezione d'urto di produzione di *quark b* [4.31], inoltre, hanno permesso la progettazione accurata di misure sulla fisica dei *quark b* ad *LHC*.

Il Gruppo di Bologna (Responsabili: Maurizio Piccinini e Antonio Zoccoli), costituito dai docenti della Facoltà A. Bertin, S. De Castro, D. Galli, N. Semprini-Cesari, M. Piccinini, M. Villa, A. Vitale e A. Zoccoli e da personale dell'*INFN*, ha avuto la responsabilità e la gestione del Calorimetro elettromagnetico dell'esperimento [4.32], realizzato con tecnologia *Shashlik* e collocato nella struttura del rivelatore come si vede nella Figura più sopra riprodotta.

### c) L'esperimento *LHCb*

Come s'è detto, uno dei problemi che tuttora sfugge alle previsioni del *modello standard* delle Particelle elementari risiede nell'*asimmetria cosmica*, consistente nella prevalenza

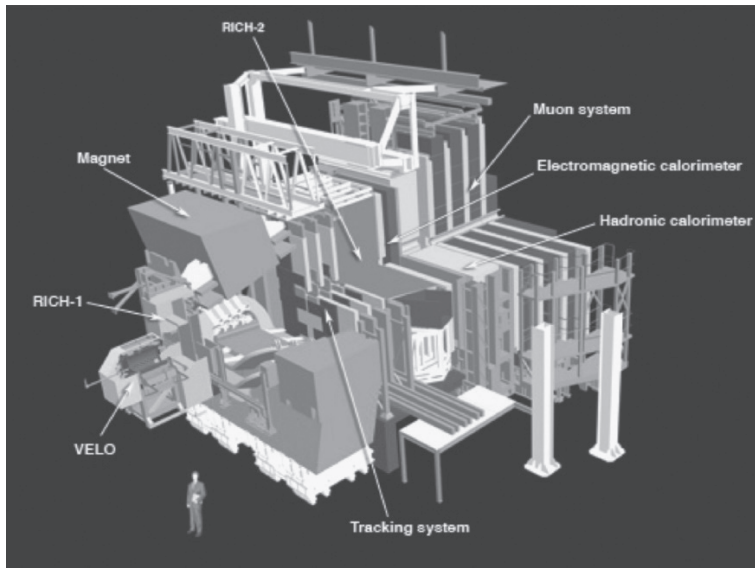


Figura 8.  
Disegno  
del rivelatore  
dell'Esperimento  
LHCb.

della materia sull'anti-materia nell'Universo attuale, la quale potrebbe essere spiegata con una violazione della *simmetria CP*.

Questa tematica, insieme alla ricerca di nuove particelle come *stati virtuali* (che permetterebbero d'explorare energie molto più elevate di quelle rese disponibili dall'acceleratore) costituisce uno degli obiettivi principali dell'esperimento *LHCb* in corso al *CERN* presso la macchina *LHC* (*Grande collisore di adroni*, nel caso specifico *protoni*, due fasci dei quali vi vengono fatti scontrare con energia nel centro di massa fino a  $14 \text{ TeV}$ , livello energetico mai raggiunto in precedenza a macchine acceleratrici di particelle).

Un'idea delle dimensioni e costituzione del rivelatore impiegato nell'esperimento è data dalla Figura riportata nel seguito. Approvato nel 1998 e strumento di un'importante raccolta dati nei due principali periodi di misura (*run*) 2010-2011 e 2015-2018, *LHCb* impegna una Collaborazione internazionale di circa 800 ricercatori provenienti da 76 Istituti scientifici di 17 nazioni.

La partecipazione bolognese, della quale è attualmente responsabile Domenico Galli e ha visto nominare come *Physics Coordinator* di *LHCb* il suo collega di gruppo Vincenzo Vagnoni (ricercatore *INFN*), vede la partecipazione di 13 persone, tre delle quali (Angelo Carbone, Domenico Galli, Stefano Zucchelli) docenti alla nostra Scuola di Ingegneria e Architettura.

Il gruppo ha dato contributi sostanziali al sistema di calcolo e raccolta dati dell'esperimento, concretatasi in pubblicazioni di notevole significato conoscitivo, tra le quali la prima evidenza di una violazione della simmetria *CP* nel decadimento di un barione [4.33] e una misura di precisione della cosiddetta universalità leptonica nelle interazioni deboli [4.34]. Dopo un potenziamento del rivelatore da completarsi entro il 2020, è prevista la continuazione dell'esperimento fino al 2029.



#### d) L'esperimento ATLAS

Già sul finire del secolo scorso era chiaro che il *modello standard* richiedeva una conferma importante: la presenza o meno del cosiddetto *bosone di Higgs*, che avrebbe potuto risolvere alcuni problemi teorici delle interazioni ad alta energia e la genesi della massa delle particelle elementari. La corrispondente ricerca fu affidata alla realizzazione al CERN dell'acceleratore LHC.

Per la ricerca del *bosone di Higgs* si sono rivelati necessari i più grandi apparati sperimentali mai costruiti per lo studio delle particelle. Il più grande di tutti è il rivelatore ATLAS [4.35] al CERN, collocato in un punto di collisione dei due fasci, a 100 m sotto terra. L'apparato, lungo 44 metri e alto 25, concentra il meglio della tecnologia mondiale in fatto di rivelatori, elettronica e raccolta dati. La Collaborazione è costituita da oltre 170 Istituzioni e da circa 3000 fisici di tutto il mondo. L'esperimento ha iniziato a prendere dati nel 2010 ed ha un programma di aggiornamento continuo almeno fino al 2030.

Nel 2012 ATLAS ha annunciato la scoperta del *bosone di Higgs* [4.36] in diversi canali di decadimento. Le proprietà di questo componente del *modello standard* sono state studiate estensivamente e sono ben compatibili con quanto atteso dalla teoria e con i vincoli imposti dalle misure indirette effettuate tramite esperimenti precedenti. La scoperta ha valso il premio Nobel per la Fisica del 2013 a François Englert e Peter W. Higgs, tra i primi a postulare l'esistenza dell'elusivo bosone.

Oltre allo studio del *Bosone di Higgs*, la Collaborazione è interessata a diverse tematiche che spaziano dal *modello standard* ai *quark top, bottom e charm* e a ricerche di *nuova Fisica* (oltre, cioè, il modello standard).

Il gruppo di Bologna è entrato nella collaborazione ATLAS nel 2005 (Responsabile: Antonio Zoccoli) progettando e realizzando in tempi ristretti il *luminometro* dell'esperimento. Questo è di uno dei pochi rivelatori in ATLAS in grado di misurare con continuità le interazioni protone-protone (che si susseguono ogni 25 ns) e di fornire la misura accurata della *luminosità* dell'acceleratore LHC, parametro di fondamentale importanza la cui precisione condiziona le principali misure.

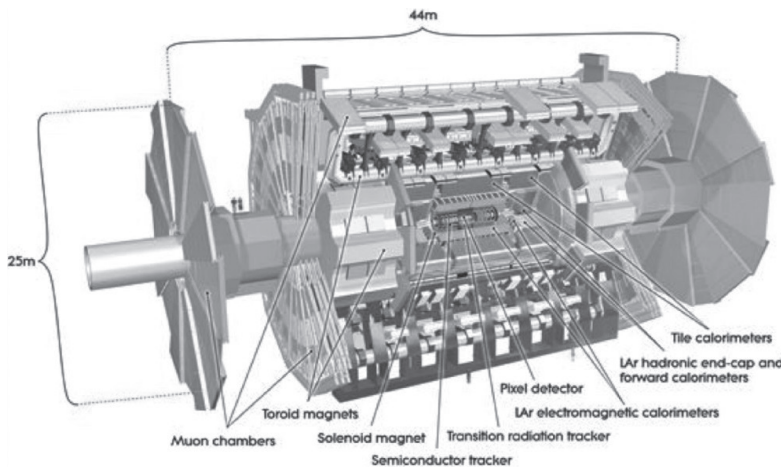


Figura 9.  
Schema del rivelatore ATLAS con indicazione delle dimensioni.

Il gruppo ha esteso il suo interesse anche al *rivelatore di muoni* di cui ora cura la gestione. Esso è costituito da quasi 30 persone tra docenti e ricercatori dell'*Alma Mater* (A. Bertin, S. De Castro, L. Fabbri, P. Faccioli, N. Semprini-Cesari, L. Rinaldi, M. Sioli, M. Villa, A. Vitale e A. Zoccoli), ricercatori *INFN*, assegnisti e dottorandi, ha la responsabilità completa del luminometro nonché della gestione e delle prestazioni del rivelatore di muoni. Sul fronte delle analisi dei dati il gruppo ha prodotto diverse pubblicazioni nell'ambito della fisica del *quark top*, della produzione associata di *top* e *bosone di Higgs*, del *modello standard* e della ricerca di nuova Fisica. Ha inoltre prodotto diverse pubblicazioni di natura strumentale sulla luminosità, sul luminometro e sul rivelatore di muoni [4.37].

### **Misure di sezioni d'urto di reazioni nucleari indotte da neutroni**

All'inizio degli anni 2000, il *CERN* su iniziativa di Carlo Rubbia aprontò una nuova *facility* (chiamata *n-ToF*) che permette tuttora di avere a disposizione un fascio di neutroni (*n*) pulsato e molto intenso. Il tasso di produzione di neutroni era di 3 ordini di grandezza superiore a quello delle *facility* allora esistenti e con energie da 1 eV a 1 GeV. Tale fascio, la cui composizione energetica è determinata mediante la tecnica del tempo di volo, dopo vari miglioramenti è tuttora disponibile con caratteristiche d'intensità istantanea e precisione energetica che lo rendono unico al mondo.

Gianni Vannini fa parte di un gruppo italiano, finanziato dall'*INFN*, che ha formato una Collaborazione internazionale composta da 40 diverse Istituzioni. Questa ha proposto e tuttora propone sequenze di misure di sezioni d'urto di reazioni indotte da neutroni. Tali sezioni d'urto sono di vitale importanza per numerosi studi in campi molto diversi, quali *la tecnologia nucleare, l'astrofisica e la fisica nucleare fondamentale*.

La costruzione di tale *facility* è connessa all'idea di Rubbia di studiare la possibilità di produrre energia dal nucleo atomico in modo nuovo, sicuro e pulito. L'*Energy Amplifier* da lui proposto è un esempio di *Accelerator Driven System (ADS)* cioè un reattore nucleare a fissione in cui si utilizza il ciclo del Torio: poiché la fissione del Torio

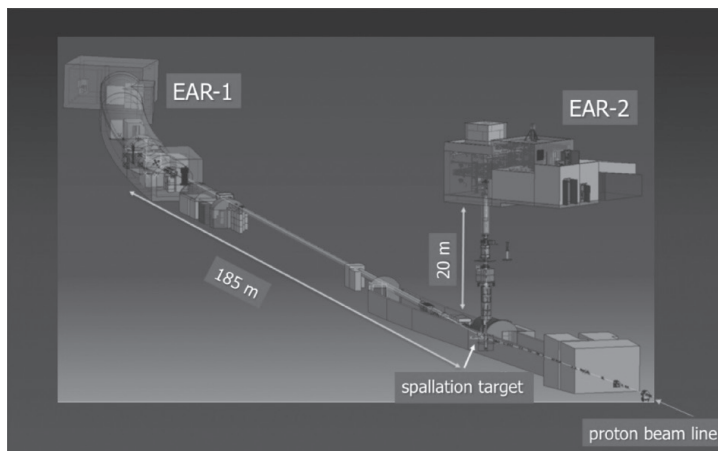


Figura 10. Schema e dimensioni dell'apparato *n\_TOF* al *CERN*.

non rilascia un numero di neutroni sufficiente per mantenere una reazione a catena, è necessario un acceleratore che produca i neutroni necessari per guidare le reazioni.

Per poter progettare e costruire un *ADS* è necessario conoscere tutte le sezioni d'urto delle reazioni nucleari coinvolte nei vari processi; *n-ToF* è proprio la *facility* adatta per misurare le sezioni d'urto delle reazioni che avvengono in un reattore nucleare e per queste ragioni un notevole numero di esperimenti sono stati massicciamente finanziati dall'Unione Europea (programma *EURATOM*) con particolare riguardo alle implicazioni tecnologiche di un *ADS* (misure di sezioni d'urto neutroniche su materiali strutturali e raffreddanti dei reattori, su materiali fissionanti e sui prodotti di fissione).

Il gruppo italiano di cui fa parte Gianni Vannini ha partecipato a tutti gli esperimenti condotti finora e ne ha proposto un notevole numero [4.38]. Di rilievo sono state alcune misure riguardanti l'astrofisica nucleare e la fisica fondamentale. Merita speciale menzione quella che ha permesso una valutazione dell'età dell'Universo mediante un *orologio* costituito da particolari isotopi radioattivi [4.39] e l'esperimento che ha permesso di studiare il problema astrofisico noto come il *Problema Cosmologico del Litio* [4.40].

Senza entrare nei dettagli è interessante ricordare che quest'ultimo problema è stato indagato mediante la reazione ( $n+{}^7\text{Be}$ ) in un ampio intervallo energetico e che tale reazione fu studiata al reattore di Ispra con neutroni termici, nel 1963, da Pietro Bassi, il quale ottenne un valore della sezione d'urto all'energia termica completamente compatibile con quelli che son stati ottenuti da *n-ToF* 53 anni dopo.

### ***Sperimentazione senza impiego di macchine acceleratrici***

#### *a) Studio sul potere risolutivo dei rivelatori a stato solido*

Nell'esposizione che precede si è dato correntemente rilievo alla realizzazione di apparecchiature di rivelazione volta a volta associate a un determinato ciclo di misure. Vale la pena di ricordare che, a partire dall'inizio degli anni Sessanta, prese rilievo crescente nella Fisica dei Nuclei e delle Particelle elementari l'impiego dei rivelatori a semiconduttore che utilizzano come materiale sensibile opportuni dispositivi al silicio o al germanio.

In previsione di questa espansione e in seguito a problemi incontrati da Pietro Bassi e colleghi nella citata sperimentazione a Ispra, Antonio Bertin e Gianni Vannini portarono a termine una misura sistematica sul comportamento del potere risolutivo di rivelatori al silicio sotto il disturbo di un fondo intenso di raggi gamma che ne stabilì i limiti d'utilizzo in funzione della corrispondente intensità, dello spessore sensibile e della resistività del semiconduttore impiegato [4.41].

#### *b) Studi sulle caratteristiche dei frammenti di fissione*

Un tuffo nei primordi della Fisica nucleare, stimolato dall'ancor recente attività di Pietro Bassi al *CCR EURATOM* di Ispra, fu effettuato nel corso degli anni Settanta da un gruppo i cui membri erano variamente impegnati anche al *CERN*.

L'esperimento corrispondente, svolto da A. Bertin, M. Bruno, G. Vannini e A. Vitale in collaborazione con Mario Forte del *CCR EURATOM* [4.42] e mirato tra l'altro a costituire un *database* preliminare all'imminente diffusione degli acceleratori di ioni pesanti, era apparentemente rivolto al passato sia per la tematica (studio della perdita di energia nella materia di frammenti di fissione di massa assegnata) sia perché era basato sull'impiego di una sorgente radioattiva ( $^{252}\text{Cf}$ , soggetto a fissione spontanea); esso richiese tuttavia lo sviluppo di un originale apparato di rivelazione [4.43]. La basilarità della misura è attestata dal riferimento che i suoi risultati rappresentano anche decenni dopo per l'informazione sulla perdita di energia di ioni pesanti che attraversano la materia. La peculiarità dell'apparato sperimentale permise inoltre di ottenere le distribuzioni energetiche dei vari prodotti di fissione anticipando le misure di fissione indotta da neutroni che oggi sono condotte con successo al *CERN* (ad esempio nel citato esperimento  $n\_ToF$ ) e in altri Laboratori internazionali.



*Figura 11. Da destra nella foto Gianni Vannini, Antonio Bertin e Antonio Vitale in un'istantanea scattata da Ignazio Massa all'epoca delle misure sulle caratteristiche dei frammenti di fissione.*

*c) Ricerche sulla fusione fredda ai laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN*  
La ricerca di vie alternative alla catalisi della sintesi nucleare vide nel 1989 una fiammata d'entusiasmo rivolta alle possibilità che l'indispensabile avvicinamento dei nuclei partecipanti potesse essere facilitata dalle particolari proprietà di alcuni elementi (come il palladio e il titanio) di assorbire nuclei d'idrogeno e dei suoi isotopi portandoli a condizioni di densità superiori a quelle naturali.

Dopo la prima osservazione all'Università di Brigham Young (Provo, Utah, USA) da parte di Steven E. Jones e coll. [4.44] dell'emissione di neutroni attribuibile alla *fusione di deutoni* successiva all'immissione elettrolitica di deuterio in titanio e palladio, il gruppo di Bologna già impegnato nelle ricerche sulla catalisi muonica effettuò in collaborazione con quello di Jones (responsabili: Antonio Bertin e Antonio Vitale) una ricerca analoga con apparecchiatura schermata nei confronti della radiazione cosmica dai quasi 1400 metri di roccia sovrastanti il Laboratorio Nazionale del Gran Sasso dell'*INFN*.

Il risultato di questa misura [4.45] confermò in termini qualitativi i risultati di Jones e colleghi; tuttavia esso si rivelò non riproducibile nei tentativi seguenti, culminati nell'adozione ed impiego di un'apparecchiatura innovatrice per la spettrometria di neutroni [4.46], dotata di elevata efficienza nella discriminazione del fondo e realizzata a Bologna con la collaborazione di un gruppo del *JINR* di Dubna.

### 2.20.5. Considerazioni conclusive

La rassegna qui presentata sull'attività didattica e sulla ricerca condotte negli ultimi 55 anni dai fisici della Facoltà d'Ingegneria e dell'attuale *Scuola d'Ingegneria e Architettura* dell'Università di Bologna invita a riprendere e sottolineare due aspetti principali.

Il primo riguarda la linea culturale che tutti i docenti susseguiti negli insegnamenti di Fisica hanno seguito e tuttora seguono. Tale linea, tracciata da Pietro Bassi a partire dal 1963, consiste nel mantenere costantemente uno stretto legame fra didattica universitaria e ricerca scientifica. I docenti di Fisica da un lato hanno profuso il loro impegno sia negli insegnamenti di base, frequentati da un grande numero di studenti, sia in corsi specialistici, appoggiandolo anche alla stesura di libri di testo particolarmente indirizzati agli studenti di Facoltà scientifiche e tecnologiche. Dall'altro essi hanno partecipato e dato impulso determinante a un notevole numero di ricerche di frontiera, assumendo importanti responsabilità a livello nazionale e internazionale e ottenendo risultati di grande rilievo scientifico. Alcuni di loro, in virtù delle capacità concretamente dimostrate, sono stati chiamati a sostenere responsabilità direttive e gestionali nelle Collaborazioni internazionali nonché nelle Istituzioni Universitarie e in Enti di Ricerca.

Il secondo aspetto è rassicurante nei confronti dell'inevitabile *turn-over* dei capofila di ambedue queste attività. Il lascito di Pietro Bassi e dei Padri fondatori della Facoltà è rispettato nelle due direzioni: gli attuali docenti provengono, come gli allievi di prima generazione di Pietro Bassi, Bruno Ferretti e Giampietro Puppi, dalla medesima scuola di Fisica. Facendone proprie le indicazioni essi assicurano le due caratteristiche che, conservandone la vitalità, sono a monte dell'insegnamento più formativo e della ricerca scientifica più impegnativa: la continuità e il futuro.

#### **Ringraziamenti**

Gli autori sono grati ai molti colleghi che hanno contribuito alla costruzione del presente lavoro con la loro disponibilità a discussioni e reperimento d'informazioni. In particolare essi desiderano ringraziare Franco Casali, Domenico Galli, Nicola Semprini Cesari, Ettore Verondini, Mauro Villa e Antonio Zoccoli.

Gli autori considerano il presente intervento come un tributo all'impegno scientifico e all'illuminato insegnamento dell'intero gruppo di docenti di Fisica citati nelle pagine che precedono, riservando un grato ricordo agli straordinari Maestri Alessandro Alberigi Quaranta, Pietro Bassi, Bruno Ferretti, Giampietro Puppi, Protogene Veronesi e un pensiero affettuoso e fraterno a Franco Malaguti e Antonio Vitale prematuramente scomparsi.

#### **Riferimenti**

##### *Premessa*

[1.1] Tra le altre cariche, Giampietro Puppi (1917-2006) fu Vice Presidente dell'*INFN*, rappresentante del Ministero della Ricerca nel Consiglio dell'*INFN*, Direttore della Ricerca

al *CERN*, membro del *Council* del *CERN*, Presidente dell'Organizzazione Europea della Ricerca Spaziale e co-fondatore dell'Agenzia Spaziale Europea. Ebbe anche posizioni di grande prestigio presso il Consiglio Nazionale delle Ricerche e fu membro del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione.

- [1.2] Pietro Bassi (1922-1984) tenne a Bologna la cattedra di Fisica Sperimentale presso la Facoltà di Scienze MM.FF.NN. fino al 1963, anno in cui fu chiamato a ricoprire la cattedra di Fisica presso la Facoltà d'Ingegneria; dal 1964 al 1978 fu Direttore della Scuola di Specializzazione in Ingegneria e Tecniche Nucleari dell'Università di Bologna, e dal 1964 al 1980 del Laboratorio di Ingegneria Nucleare di Montecuccolino. Fu membro dell'Accademia delle Scienze di Bologna e dell'Accademia Peloritana di Messina, nonché del Comitato Ordinatore della Facoltà di Scienze dell'Università Cattolica di Brescia. Fece anche parte della Giunta Esecutiva dell'*INFN* (1966-1970).

#### *La ricerca*

- [4.1] Strumento egemone, all'epoca, per condurre a termine esperimenti mediante tecniche *visualizzanti*, basate cioè sulla ricostruzione di eventi fisici attraverso lo studio delle tracce che i prodotti delle interazioni tra particelle elementari lasciano nella materia.

#### *Il Laboratorio di Ingegneria Nucleare di Montecuccolino*

- [4.2] Un'interessante ricostruzione dei primordi del Laboratorio di Montecuccolino, alla quale dobbiamo parte importante della presente informazione in materia, è contenuta nell'articolo di Franco Casali [*Dal CP-1 (Chicago Pile -1) al RB-1 (Reattore Bologna 1): un'avventura tutta italiana*] pubblicato sul *Giornale di Fisica*, 58 (2017) 247.
- [4.3] Si veda anche il contributo di Leonardo Marchetti (*L'opera nella Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Bologna*) al volume *Litinerario scientifico e l'insegnamento di Pietro Bassi, fisico*, a cura di Antonio Bertin, Ettore Verondini e Antonio Vitale, Università di Bologna, 1985, pp. 11-13.

#### *Le simmetrie nei nuclei e l'interazione nucleone-nucleone*

- [4.4] P. Bassi, B. Ferretti, G. Venturini, et al., *The reaction  ${}^7\text{Be}(n,\alpha){}^4\text{He}$  and Parity Conservation in Strong Interactions*, *Il Nuovo Cimento*, 28 (1963) 1049.
- [4.5] E. Fuschini, C. Maroni, I. Massa, A. Uguzzoni, G. Vannini, E. Verondini and A. Vitale, *The neutron-neutron Scattering Length from reaction with Tritium Targets*, *Nuclear Physics*, A 109 (1968) 465.
- [4.6] E. Verondini, *The neutron-neutron Scattering Length*, *Rivista del Nuovo Cimento*, 1 (1971) 33.

#### *Le ricerche con fasci di muoni*

- [4.7] M. Conversi, E. Pancini and O. Piccioni, *Physical Review*, 68 (1945) 232; 71 (1947) 209.
- [4.8] A. Alberigi Quaranta, A. Bertin, G. Matone, F. Palmonari, A. Placci, P. Dalpiaz, and E. Zavattini, *A Special System of Proportional Counters to be Used as a High Pressure Gas Target without Walls*, *Nuclear Instruments and Methods*, 55 (1967) 273.
- [4.9] G. Bardin, J. Duclos, A. Magnon, J. Martino, A. Bertin, M. Capponi, M. Piccinini and A. Vitale, *A New Measurement of the Positive Muon Lifetime*, *Physics Letters* 137 B, 1135 (1984).
- [4.10] A. Bertin and A. Vitale, *Pure Leptonic Weak Processes*, *Rivista del Nuovo Cimento* 7, n. 7 (1984), pp. 64.

- [4.11] A. Bertin and A. Vitale, *Strangeness Conserving Semi-Leptonic Weak Processes*, Rivista del Nuovo Cimento 7, n.8 (1984), pp. 63.
- [4.12] A. Bertin, G. Carboni, A. Placci, E. Zavattini, U. Gastaldi, G. Gorini, G. Neri, O. Pitzurra, E. Polacco, G. Torelli, G. Stefanini, A. Vitale, J. Duclos, and J. Picard, *A New Method to Induce Transitions in Muonic Atoms Using a High-Power Tunable Dye Laser Coupled to a Stopping Muon Beam*, Il Nuovo Cimento, 23B (1974) 489.
- [4.13] A. Bertin, A. Vitale and A. Placci, *Atomic and Molecular Processes Involving Hydrogen and Deuterium Muonic Systems in Matter. Formation and Elastic Scattering of  $\mu p$  and  $\mu d$  Muonic Atoms*, Rivista del Nuovo Cimento, 5 (1975), pp. 423-497.
- [4.14] A. Bertin and A. Vitale, *Experimental Frontiers in Muon-Catalyzed Fusion*, Atti del Corso CXVI 1992 della Scuola Internazionale di Fisica "Enrico Fermi" di Varenna (*Status and Perspectives of Nuclear Energy: Fission and Fusion*), pp. 449-469.

*Studio sulla produzione di particelle nell'interazione protone-protone ad altissime energie*

- [4.15] L.G. Ratner, R.J. Ellis, G. Vannini, B.A. Babcock, A.D. Krisch and J.B. Roberts, *Proton-Proton Inelastic Scattering at Very High Energy*, Phys. Rev. Letters, 27 (1971) 68.
- [4.16] P. Capiluppi, G. Giacomelli, A.M. Rossi, G. Vannini, A. Bertin, A. Bussière and R.J. Ellis, *Charged Particle Production in Proton-Proton Inclusive Reactions at Very High Energies*, Nucl. Phys., B79 (1974)189; A.M. Rossi, G. Vannini, A. Bussière, E. Albini, D. D'Alessandro and G. Giacomelli, *Experimental Study of the Energy Dependence in Proton-Proton Inclusive Reactions*, Nucl. Phys., B84 (1975) 269.
- [4.17] G. Giacomelli, A.M. Rossi, G. Vannini, A. Bussière, G. Baroni, S. Di Liberto, S. Petrerà and G. Romano, *Search for Magnetic Monopoles at the CERN-ISR with Plastic Detectors*, Il Nuovo Cimento, A28 (1975) 21.

*Ricerche sui meccanismi di reazioni nucleari e sui comportamenti della materia nucleare*

- [4.18] C. Maroni, I. Massa and G. Vannini, *Nuclear reaction time delays of  $10^{-20}$  sec through a Measurement of Bremsstrahlung Spectra in low Energy  $p^{-12}C$  Resonant Scattering*, Nuclear Physics, A 273 (1976) 429.
- [4.19] I. Massa and G. Vannini, *Recent advances in nuclear-decay-time measurements*, La Rivista del Nuovo Cimento, 5 (1982).
- [4.20] E. Fuschini, F. Malaguti, S. Ostuni, E. Verondini, G. Vannini, A. Bracco, I. Iori, A. Moroni, E. Fioretto, R. A. Ricci, P. Boccaccio, L. Vannucci, A. D'Arrigo, G. Giardina, and A. Taccone, *Measurements of Mean Reaction Times for Fusion- Fission and Fusion-Evaporation Processes*, Phys.Rev., C 46 (1992) R25.
- [4.21] D.O. Eremenko, V.O. Kordyukevich, S.Yu. Platonov, O.V. Fotina, O.A. Yuminov, G. Giardina, F. Malaguti, and G. Vannini, *Lifetime measurement of fissionable nuclei produced in the development of neutron emission (III). Lifetime of protoactinium isotopes*, Nuclear Physics, A 589 (1995) 395.
- [4.22] O.A. Yuminov, D.O. Eremenko, N.V. Eremin, M. Egorova, V.O. Kordyukevich, O.V. Fotina, F. Malaguti, A. D'Arrigo, G. Giardina, A. Taccone, G. Vannini, A. Moroni, R.A. Ricci and L. Vannucci, *A Novel Experimental Technique of Nuclear Lifetime Measurements*, Nuclear Instruments and Methods, B 95 (1995) 543.
- [4.23] P. Boccaccio, L. Vannucci, M. Bettolo, L. Lavagnini, G. Vannini, I. Massa, R.A. Ricci, I. Iori, G. Guillaume, J.P. Coffin, P. Fintz, and F. Rami, *Transition Dissipative Mechanisms in the Fission-like Fragmentation of Medium-mass Nuclear Systems*, Phys. Rev., C 38 (1988), 2108.

- [4.24] U. Abbondando, G. Vannini, M. Bettiolo, P. Boccaccio, L. Vannucci, R.A. Ricci, M. Bruno, M. D'Agostino, P. Milazzo, and N. Cindro, *Search for Quasi- molecular Resonances in the  $^{62}\text{Ni}(^{32}\text{S}, ^{32}\text{S})^{62}\text{Ni}$  Reaction*, Il nuovo Cimento, A106 (1993) 541.
- [4.25] M. D'Agostino, G. J. Kunde, P. M. Milazzo, J. D. Dinius, M. Bruno, N. Colonna, M.L. Fiandri, C. K. Gelbke, T. Glasmacher, F. Gramegna, D. O. Handzy, W.C. Hsi, M. Huang, M. A. Lisa, W. G. Lynch, P. F. Mastinu, C. P. Montoya, A. Moroni, G. F. Peaslee, L. Phair, R. Rui, C. Schwarz, M. B. Tsang, G. Vannini, and C. Williams, *Multifragmentation in  $E/A=35$  MeV collisions: evidence for a Coulomb driven breakup?*, Phys. Rev. Letters, 75 (1995) 4373.
- [4.26] H. Xi, M.B. Tsang, M.J.Huang, W.G. Linch, D. Dinius, S.J. Gaff, G.K. Gelbke, T. Glasmacher, G.J. Kunde, L. Martin, C.P. Montoya, M. Azzano, G.V. Margagliotti, P.M. Milazzo, R. Rui, G. Vannini, L. Celano, N. Colonna, G. Tagliente, M. D'Agostino, M. Bruno, M.L. Fiandri, F. Gramegna, A. Ferrero, I. Iori, A. Moroni, F. Petruzzelli and P.F. Mastinu, *Nuclear temperature measurements with Helium isotopes*, Phys. Letters, B 431 (1988) 8.
- [4.27] M. D'Agostino, F. Gulminelli, Ph. Chomaz, M. Bruno, F. Cannata, R. Bougault, F. Gramegna, I. Iori, L. Le Neindre, G.V. Margagliotti, A. Moroni and G. Vannini, *Negative heat capacity in the critical region of nuclear fragmentation: an experimental evidence of the liquid-gas phase transition*, Phys. Letters, B 473 (2000) 219.

*La sperimentazione con i mega-apparati*

- [4.28] Si veda ad esempio *The OBELIX Collaboration*, A. Bertin, et al., *Spin-parity analysis of the final state  $\pi^+\pi^-\pi^0$  from proton-antiproton annihilation at rest in hydrogen targets at three densities*, Physics Letters, 408 B (1997) 476.
- [4.29] S. Affatato, G. Artusi, G. Avoni, O. Baglioni, A. Bertin, M. Bruschi, D. Bulgarelli, M. Capponi, I. D'Antone, S. De Castro, D. Galli, U. Marconi, I. Massa, M. Morganti, G. Paolucci, M. Piccinini, M. Poli, N. Semprini-Cesari, R. Spighi, S. Tuffanelli, S. Vecchi, M. Villa, A. Vitale, S. Zagaro, G. Zavattini and A. Zoccoli, *The Electromagnetic Calorimeter for the OBELIX Experiment*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 325 A (1993) 417.
- [4.30] I. Abt et al., (The HERA-B Collaboration), *Production of the Charmonium States  $\chi_{c1}$  and  $\chi_{c2}$  in Proton-Nucleus Interactions at  $s=41.6\text{GeV}$* , Physical Review, D 79 (2009) c(1)012001.
- [4.31] I. Abt et al., (The HERA-B Collaboration), *Improved Measurement of the  $bb_{bar}$  Production Cross Section in 920 GeV Fixed-Target Proton-Nucleus Collisions*. Physical Review, D73 (2006) (5)052005.
- [4.32] G. Avoni, C. Baldanza, A. Bertin, B. Bobchenko, M. Bruschi, I. D'Antone, S. De Castro, L. Fabbri, P. Faccioli, J. Flammer, B. Giacobbe, Yu Gilitsky, P. Giovannini, A. Golutvin, O. Goutchine, I. Lax, I. Massa, I. Machikhiliyan, S. Meneghini, Yu. Mikhailov, E. Novikov, M. Piccinini, M. Rizzi, V. Rusinov, C. Sbarra, A. Sbrizzi, N. Semprini Cesari, S. Shuvalov, A. Soldatov, R. Spighi, E. Tarkovsky, M. Villa, A. Vitale, A. Zoccoli and M. Zuffa, *The electromagnetic calorimeter of the HERA-B experiment*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 580 (2007)(3) 1209.
- [4.33] R. Aaij et al. (LHCb Collaboration), *Measurement of matter-antimatter differences in beauty baryon decays*, Nature Physics, 13 (2017) 391.
- [4.34] R. Aaij et al. (LHCb Collaboration), *Test of lepton universality with  $B^0 \rightarrow K^{\pm} \ell^+ \ell^-$  decays*, Journal of High Energy Physics, 08 (2017) 55.



- [4.35] G. Aad et al., *The ATLAS experiment at the CERN Large Hadron Collider*, Journal of Instrumentation, 3 (2008)(8).
- [4.36] G. Aad et al., *Observation of a New Particle in the Search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC*, Physics Letters, B 716 (2012) (1): pp. 1-29.
- [4.37] G. Aad et al., *Luminosity Determination in pp Collisions at sqrt(s)=7 TeV using the ATLAS Detector at the LHC*, European Physical Journal, C 71 (2011) 1630.

*Misure di sezioni d'urto di reazioni nucleari indotte da neutroni*

- [4.38] Per una rassegna comprensiva di questi risultati si veda ad esempio: F. Gunsing et al., *Nuclear data activities at the n\_TOF facility at CERN*, European Physical Journal Plus, 131 (2016) 371.
- [4.39] M. Mosconi et al., *Nuclear Physics for the Rel/Os clock*, Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, 35 (2008) 014015.
- [4.40] M. Barbagallo et al., *Be-7(n,alfa)He-4 reaction and the Cosmological Lithium Problem: measurement of the cross section in a wide energy range at n\_TOF at CERN*, Phys. Rev. Letters, 117 (2016) 152701.

*Sperimentazione senza impiego di macchine acceleratrici*

- [4.41] A Bertin and G. Vannini, *Measurement of the Transient Effects of a Gamma- Flux on the Energy Resolution of Surface-Barrier Silicon Detectors*, IEEE Transactions on Nuclear Science, NS-17, N. 2. (1970) 40.
- [4.42] M. Forte, A. Bertin, M. Bruno, G.Vannini and A. Vitale, *Experiental Study on the Energy Loss in Argon of <sup>252</sup>Cf Fission Fragments*, Physical Review, B 14 (1976) 956.
- [4.43] M. Forte, A. Bertin, M. Bruno, G.Vannini and A. Vitale, *A Mass-Selecting Apparatus to Measure the Energy Loss of Fission Fragments in Argon*, Nuclear Instruments and Methods, 108 (1973) 525.
- [4.44] S.E. Jones, E.P. Palmer, J.B. Czirr, D.L. Decker, G.L. Jensen, J.M. Thorne, S.F. Taylor and J. Rafelski, *Observation of cold nuclear fusion in condensed matter*, Nature, 338 (1989) 737.
- [4.45] A. Bertin, M. Bruschi, M. Capponi, S. De Castro, U. Marconi, C. Moroni, M. Piccinini, N. Semprini-Cesari, A. Trombini, A. Vitale, A. Zoccoli, S.E. Jones, J.B. Czirr, G.L. Jensen and E. F. Palmer, *Experimental Evidence of Cold Nuclear Fusion in a Measurement under the Gran Sasso Massif*, Il Nuovo Cimento, 101A (1989) 997.
- [4.46] A. Bertin, M. Bruschi, V.M. Bystritsky, M. Capponi, B. Cereda, I. D'Antone, S. De Castro, D. Galli, B. Giacobbe, U. Marconi, I. Massa, C. Moroni, M. Piccinini, M. Poli, N. Semprini-Cesari, R. Spighi, V.A. Stolupin, S. Vecchi, A. Vezzani, M. Villa, A. Vitale, J. Wozniak, G. Zavattini and A. Zoccoli, *Performance of a Coincidence Neutron Spectrometer with Double Pulse-shape Discriminatnion*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 337 (1994) 445.

## 2.21. IL RUOLO DELL'ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI NELLA FORMAZIONE DELL'INGEGNERE.

### STORIA DI UNA ESPERIENZA DIDATTICA E UMANA

*Alessandro Freddi*

#### 2.21.1. Introduzione

Ritengo che il corso di Analisi Sperimentale delle Tensioni da me tenuto per molti anni presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna sia un esempio atipico di formazione sul metodo sperimentale.

Il corso infatti era costituito da una parte di lezioni frontali e da una ampia componente di esperienze di laboratorio, con molte ore dedicate all'attività diretta degli studenti. Il corso di insegnamento era opzionale, tranne per pochi anni nei quali era inserito come corso obbligatorio. Nei primi anni gli studenti non erano solo gli appartenenti al corso di laurea di Ingegneria Meccanica; in omaggio alla condivisione della disciplina in più Settori scientifico-disciplinari, anche studenti di altri corsi di laurea potevano scegliere questo corso, ravvisandovi l'opportunità di partecipare in modo attivo a una formazione sperimentale. La condivisione del corso di insegnamento a più Settori era un'eccellente soluzione dei primi anni, frutto di un pensiero multidisciplinare che, purtroppo, non ha avuto seguito, essendo stata ritenuta prevalente l'opportunità di una specializzazione all'interno di ciascun settore, o comunque gestiti all'interno di corsi dello stesso Dipartimento, con una mentalità di "unicuique suum", applicata rigorosamente.

La prima ispirazione al progetto di un corso di insegnamento con forte spazio di apprendimento sperimentale era dovuta all'esperienza che avevo fatto come studente, nel corso di insegnamento di Misure Elettriche. In questo corso erano previste esercitazioni settimanali di Laboratorio per le quali ciascuno studente doveva consegnare una relazione, corretta poi dal docente. All'esame orale era necessario ripetere una di queste prove con stesura della relativa relazione, la cui valutazione positiva permetteva di accedere alla parte orale dell'esame. I colleghi del corso di laurea in Ingegneria Elettrica mi hanno riferito che l'aumento del numero di studenti rese successivamente difficile mantenere nel tempo questa utile tradizione.

Per le Esercitazioni di Analisi Sperimentale delle Tensioni fu essenziale il contributo di diversi colleghi e amici che liberamente (credendo nell'utilità del metodo sperimentale) collaborarono per mantenere un livello alto di attività di Laboratorio, anche con la ripetizione della stessa Esercitazione a piccoli gruppi di studenti, al fine di consentire a tutti una interazione efficace con le risorse sperimentali<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Per questo motivo sarò sempre grato ai colleghi e ai tecnici che collaborarono a questo impegno, tra i quali, in particolare i professori L. Cristofolini, G. Olmi e i tecnici laureati ingegneri A. Dal Bianco, V. Ciavatti e il tecnico Rubini.

		Applications	Statics	HC Fatigue	LC Fatigue	Fracture Mech	Biomechanics
Inverse Approach	Methods						
	Strain gauges						
	Photoelasticity						
	Holographic Interferometry						
	DIC						
	Reliability Assessment						

Figura 1. Schema del corso di Analisi Sperimentale delle Tensioni.

Gli studenti ricambiarono questa attenzione con un impegno personale elevato e con la preparazione di relazioni molto accurate. Tutto ciò favorì una esperienza di relazione umana tra ricercatori e anche tra ricercatori e studenti.

Gli argomenti delle lezioni erano limitati solo ai metodi principali di analisi, le Esercitazioni invece erano arricchite dai casi che impegnavano il Laboratorio allo sviluppo di metodi e di attività di consulenza per Enti scientifici e industriali.

Lo schema didattico seguito è illustrato nella Fig. 1. Le righe della matrice rappresentano i metodi sperimentali con l'impiego di Estensimetri elettrici (Strain gauges), Fotoelasticità (Photoelasticity), Interferometria olografica (Holographic Interferometry, solo negli anni di impiego di un laser argon), Correlazione Digitale di Immagine (DIC, semplicemente illustrata con applicazioni di biomeccanica nei laboratori degli Ospedali Ortopedici Rizzoli).

Le colonne della matrice mostrano le aree di applicazione dei metodi sperimentali citati: Statica (Statics), Fatica ad alto numero di cicli (HF), Fatica a basso numero di cicli (LC), Meccanica della Frattura (Fracture Mechanics) e Biomeccanica (Biomechanics). I dettagli dei metodi e delle applicazioni sono riportati in [11].

### 2.21.2. Il fondamento teorico dell'Analisi Sperimentale delle Tensioni

La prima preoccupazione per un corso che non aveva tradizione nella Facoltà fu l'esame del suo fondamento culturale e applicativo. Il corso non trattava espressamente la teoria della misura, già oggetto di altri corsi, ma si limitava a richiamare i concetti generali di errore sperimentale, sensibilità, precisione e accuratezza dei risultati.

Nel corso degli anni, però, questo argomento di interpretazione statistica dell'esperimento fu arricchito da un contributo importante: il progetto dell'esperimento (DOE).

L'approfondimento del metodo avvenne mediante un Corso di aggiornamento svolto presso l'Istituto di Tecnologia del Massachusetts (MIT) di Boston, che seguì nei primi anni Novanta con il professor Cristofolini. Dopo alcuni anni, dietro mia indicazione, fu seguito anche dal dottor Olmi e fu integrato dallo studio di trattati classici [2, 17]. L'apprendimento di questo metodo influenzò le esercitazioni e le lezioni.

ni con esempi di applicazione di analisi della varianza, test delle ipotesi e superfici di risposta [10]. Questa esperienza elevò la qualità teorica del corso e, soprattutto, si diffuse come standard della attività sperimentale anche tra altri ricercatori dell'Istituto, divenuto nel tempo Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Aeronautica e Nucleare.

L'insegnamento era dunque un corso di Analisi e non di Misure. È ovvio che il dato di partenza era la misura, in genere di deformazione, ma il vero scopo finale era la conoscenza delle conseguenze di stati di tensione e di deformazione sulla struttura. Su questo punto fu illuminante la prolusione a una Conferenza nazionale svoltasi a Bologna nei primi anni Settanta [1] tenuta dal professor Lucio Lazzarino della Facoltà di Ingegneria di Pisa. Una sua breve osservazione molto lucida fece giustizia di punti di vista accademici ampiamente superati dalla realtà e costituì l'“ubi consistam” della ricerca collegata a un corso di *Analisi Sperimentale delle Tensioni*:

...poiché ciò che interessa in ultima analisi non è la conoscenza dello stato di tensione ma una attendibile previsione, sulla base di questa informazione, del comportamento dell'elemento strutturale...

### 2.21.3. Misura delle deformazioni e Analisi delle Tensioni nei modelli fisici

L'Analisi delle tensioni di una struttura soggetta a carichi esterni o a stati di deformazione esterni o interni (autotensioni) rappresenta lo scopo primo del metodo sperimentale. Per i motivi citati, fin dalla creazione della prima Associazione Scientifica Italiana di riferimento (AIAS) [1] si ritenne che fosse più corretto parlare di sollecitazioni piuttosto che di tensioni e di deformazioni e di non legare l'analisi solo ai metodi sperimentali tradizionali, essendo i nuovi metodi numerici (che nascevano in quegli anni) a metà strada tra i metodi sperimentali e quelli teorici.

Partecipai come socio fondatore a quell'evento del 1971 che si tenne presso il Centro Sperimentale Metallurgico (CSM), poi rinominato Centro Sviluppo Materiali Spa, una società privata che sviluppa ricerca industriale sui materiali e sulle tecnologie applicative, con sede a Castel Romano (Roma). Il padrino fu il professor Ludwig Meyer della City University di Londra<sup>2</sup>.

#### **Misure analogiche e misure dirette**

La Fig. 2 riassume le principali tecniche di misura delle deformazioni. La prima immagine presenta in sintesi alcuni dei sensori (estensimetri o misuratori di deformazione) usati nel Laboratorio dell'Istituto (poi Dipartimento). Gli estensimetri indicati sono a resistenza elettrica e a semiconduttore e quindi richiedono un circuito

<sup>2</sup> L'Assemblea che diede vita ufficiale all'Associazione fu preceduta, nel settembre 1970, da un incontro preparatorio organizzato presso l'Istituto di Meccanica Applicata alle Macchine della Facoltà di Ingegneria di Bologna. A quell'incontro erano presenti tra gli altri i professori L. Lazzarino, E. Funaioli, G. Bartolozzi. Ospiti invitati erano il professor H. Fessler della Scuola di Ingegneria di Nottingham e il professor A. Kuske della Technische Hochschule di Stoccarda.

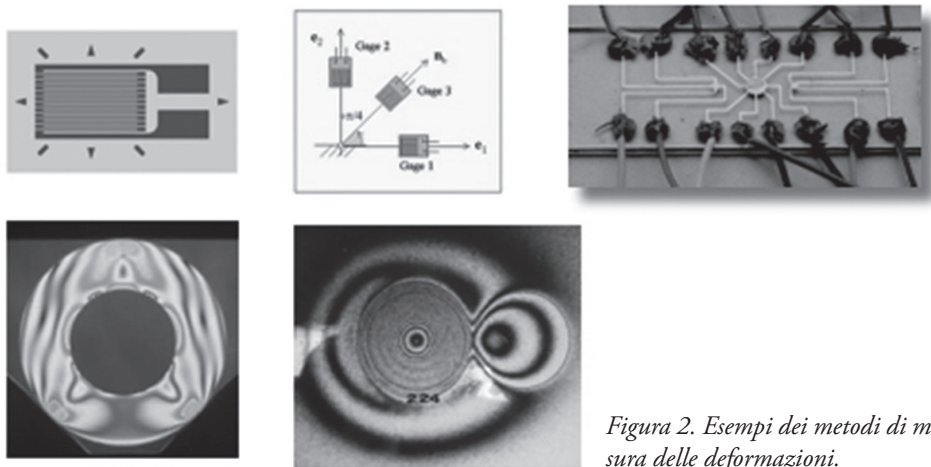
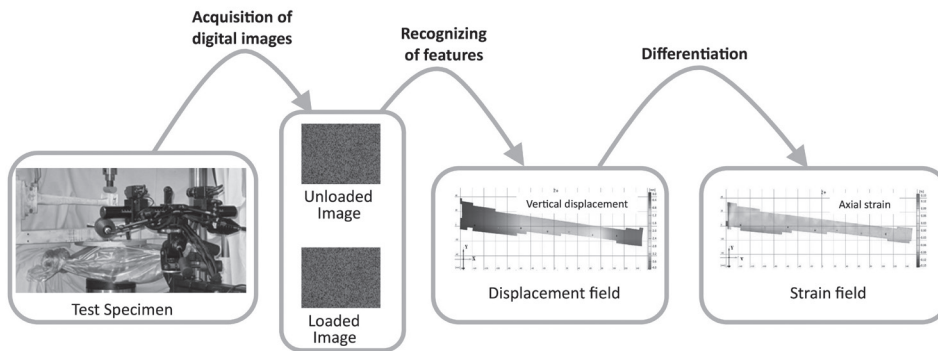


Figura 2. Esempi dei metodi di misura delle deformazioni.



di alimentazione e uno di misura e sono idonei alla misura di deformazioni alla superficie di corpi caricati. Essi danno però una misura dello stato di deformazione mediata dalla misura di una variazione di resistenza di un conduttore [11].

La stessa Figura 2 presenta, nella seconda riga, esempi di applicazioni di misure fotoelastiche piane e olografiche su difetti tridimensionali. Il metodo fotoelastico, in particolare, è basato sulla misura indiretta di uno stato di birifrangenza in un modello in resina trasparente. Non è quindi una misura diretta dello stato di deformazione. In terza riga sono riportate misure eseguite con il principio della Correlazione Digitale di Immagine (DIC), un metodo che sembra avere le potenzialità per sostituire i vecchi metodi per misure a tutto campo, su superfici piane o curve di corpi caricati. Esso si basa sulla misura diretta degli spostamenti di punti in superficie [11]. Il metodo è stato ed è in particolare applicato dal professor Luca Cristofolini a problemi di biomeccanica.

Un altro metodo è basato sulla misura diretta della deformazione del reticolo cristallino e richiede quindi l'uso dei raggi X.

Altri infine, basati su altri principi fisici, sono stati introdotti e applicati in casi particolari (per es. il metodo delle vernici fragili), per scopi essenzialmente illustrativi.

### ***Studio dei recipienti a pressione***

Le applicazioni iniziali dell'Analisi delle Tensioni nel Laboratorio di Meccanica Applicata alle Macchine, prima della fondazione dell'Istituto di Progetti di Macchine e Tecnologie Meccaniche diretto dal professor Giorgio Bartolozzi, riguardarono lo studio di strutture tridimensionali complesse di recipienti a pressione sollecitate in campo elastico, mediante l'applicazione della fotoelasticità tridimensionale e degli estensimetri elettrici su modelli. Il metodo fotoelastico, allora unico per determinare con approssimazione accettabile gli stati di tensione in tutti i punti di corpi tridimensionali, fu il primo metodo sperimentale di rilievo che entrò in uso nel Laboratorio appena costituito.

Allora ero neo assistente (attuale ricercatore) di Costruzione di Macchine, e fui incoraggiato dal Direttore professor Ettore Funaioli a creare questo Laboratorio grazie anche all'interessamento dei professori Gino Morandi e Fausto Caboni, con l'uso di una porzione del Laboratorio di Macchine.

In anni precedenti all'inizio dell'attività sperimentale cui ho accennato il professor Fausto Caboni aveva costruito un polariscopio destinato a prove fotoelastiche. Questo strumento costituì il primo esempio di interesse sperimentale nella cosiddetta "Meccanica fredda" fino alla decisione del professor Ettore Funaioli di promuovere una attività di ricerca specifica<sup>3</sup>. Sviluppai la conoscenza e la pratica sull'argomento mediante soggiorni estivi presso l'Istituto di Fotoelasticità diretto dal professor Ernst Mönch della Università Tecnica di Monaco. Presso questo Istituto seguii con il collega professor Gustavo Favretti un Corso organizzato in modo eccellente dal dottor Elmar Ficker, che ho avuto modo di incontrare successivamente per molti anni in convegni sulla disciplina e di apprezzare le sue doti scientifiche e umane; ma il docente che mi fu realmente Maestro e mentore per l'apprendimento della Fotoelasticità fu il professor Albrecht Kuske, durante un mio soggiorno di oltre due mesi presso l'Istituto di "Modellstatik" della Technische Hochschule di Stoccarda.

### *Fotoelasticità tridimensionale*

L'uso di questo metodo era riservato a geometrie tridimensionali complesse che non potevano essere analizzate con altri metodi. Il metodo estensimetrico era limitato a stati superficiali e la modellazione numerica era ai primordi. Una evoluzione era tuttavia in atto, favorita dalle potenzialità crescenti dei calcolatori e dei programmi dedicati. Un quadro sintetico dell'evoluzione del ruolo del metodo sperimentale applicato allo studio delle strutture si può desumere dallo schema organizzativo, riportato in nota, della Technische Hochschule di Stoccarda che aveva ispirato le mie ricerche. Esso rifletteva una tendenza mondiale di passaggio dai modelli fisici ai modelli numerici<sup>4</sup>. Nella stessa occasione dello stage in Germania imparai l'uso degli

<sup>3</sup> Negli anni successivi si scoprì in Facoltà un altro strumento del genere costituito da una serie di lenti e una lampada ad arco, poco più di un cimelio di molti anni prima, che fu ceduto al Laboratorio in comodato dal professor G. Poggi.

<sup>4</sup> Nel 1957 il professor Fritz Leonhardt, insigne progettista di strutture civili, fondò presso la Technische Hochschule di Stoccarda l'Istituto per la Fotoelasticità e le Misure su modelli, estendendo il vecchio Laboratorio nato per la Fotoelasticità. Successivamente, nel 1960 Robert Müller divenne direttore

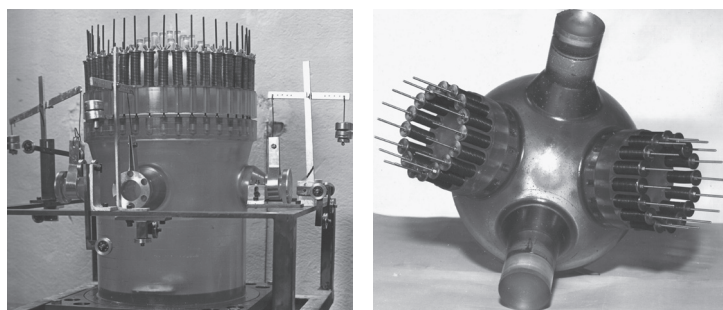


Figura 3. Esempi di modelli in resina epossidica per prove fotoelastiche: reattore e testata per generatore di vapore per applicazioni nucleari.

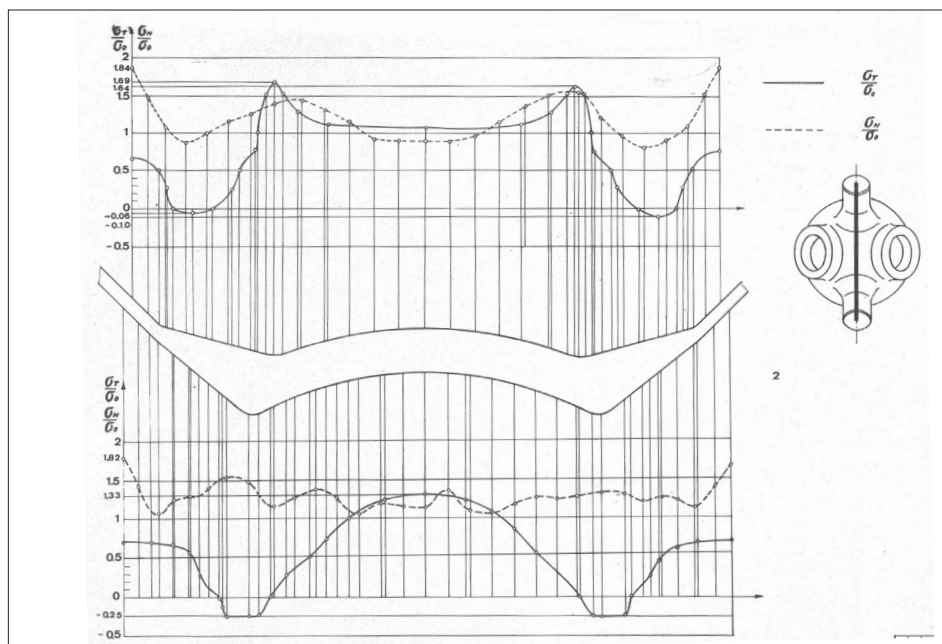


Figura 4. Esempio di analisi delle tensioni in un piano diametrale di un modello di testata in resina epossidica per generatore di vapore.

Estensimetri elettrici e delle relative attrezzature, usati ampiamente su modelli in plexiglas di padiglioni per stadi e strutture sportive.

Questa esperienza ebbe un riflesso diretto sulle esercitazioni di Laboratorio [6]. Diversi laureandi sostennero, con le loro Tesi di Laurea in Analisi sperimentale delle Tensioni, le ricerche che l'Istituto sviluppò per la progettazione di recipienti a pressione per impianti nucleari (Figg. 3 e 4) [7], [9].

Una volta introdotto in Laboratorio, altri ricercatori dell'Istituto applicarono il metodo a problemi diversi.

---

dell'Istituto che rinominò Institut für Modellstatik (*Istituto di Statica dei modelli*). Infine, al suo pensionamento nel 1993, l'Istituto fu smembrato e la cattedra rinominata con il nome di Informationsverarbeitung im konstruktiven Ingenieurbau (*Elaborazione informatica nell'Ingegneria strutturale*) [20].

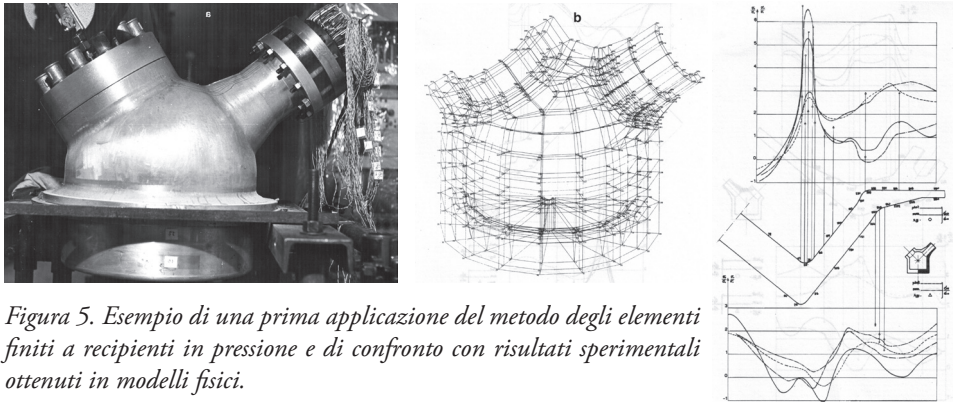


Figura 5. Esempio di una prima applicazione del metodo degli elementi finiti a recipienti in pressione e di confronto con risultati sperimentali ottenuti in modelli fisici.

### Estensimetria elettrica

È il metodo di misura delle deformazioni che si contrappone al metodo fotoelastico, poiché dà una misura solo in punti selezionati del corpo e non richiede l'uso di modelli in scala. Proprio per questo motivo il metodo è sopravvissuto al primo che è stato rimpiazzato dai modelli numerici. Con evidente svantaggio rispetto al primo, il metodo estensimetrico richiede la preconoscenza e quindi la preselezione dei punti più significativi nei quali incollare gli estensimetri, un cablaggio complesso e un sistema di acquisizione raffinato che supporti il ricercatore nelle fasi di misura e di elaborazione dei dati.

In Laboratorio le ricerche si orientarono all'applicazione dei due metodi, il primo, il metodo fotoelastico, a modelli in resina, idoneo alle analisi a tutto campo, cioè su ampie superfici o in punti interni del modello<sup>5</sup>. Il secondo, il metodo estensimetrico, è viceversa idoneo alla misura punto per punto delle deformazioni superficiali, nelle zone a più alta concentrazione delle deformazioni e quindi delle tensioni. In conclusione, è evidente la complementarità dei due metodi e l'opportunità di usarli entrambi, quando la complessità del problema lo giustifica.

Il superamento delle applicazioni a modelli fisici avvenne con l'introduzione dei modelli numerici agli elementi finiti (Fig. 5) [3]<sup>6</sup>.

L'impiego dei modelli in scala ebbe altri effetti collaterali favorevoli alla qualificazione del Laboratorio: favorì l'approfondimento delle leggi di similitudine e della tecnologia di produzione dei modelli in conchiglie di acciaio e in lega di alluminio, richiedendo una accurata preparazione delle forme e lo studio delle catene delle tolleranze geometriche e delle tolleranze di superficie.

<sup>5</sup> Il metodo ottico presuppone un legame lineare tra tensioni e deformazioni.

<sup>6</sup> Le tecniche fotoelastiche, superate in applicazioni di questo tipo, rimarrà tuttavia di notevole utilità illustrativa didattica e di controllo di simulazioni complesse.



#### 2.21.4. L'Analisi Sperimentale delle Tensioni nello studio del comportamento dei materiali

Anche riconoscendo il grande sviluppo e l'importanza dei metodi di simulazione, il metodo sperimentale rimane fondamentale per la verifica dei risultati numerici (almeno in molti casi complessi) e per lo studio del comportamento meccanico dei materiali, tipico campo di indagine di natura sperimentale.

Uno dei problemi che impegnò il Laboratorio nei primi anni di funzionamento fu una consulenza da parte dell'ente ENEA per conto di una attività con ANSALDO ASGEN, relativa a problemi di sicurezza strutturale delle grandi macchine elettriche, con particolare riferimento alla resistenza meccanica del rotore a oscillazioni di natura torsionale.

Questo problema destò l'interesse di diversi ricercatori degli Istituti di Meccanica Applicata alle Macchine e di Progetti di Macchine e Tecnologia Meccanica (quest'ultimo era nato in quegli anni per volontà del professor G. Bartolozzi) e richiese un approfondimento della scienza della Meccanica della frattura, come possibile strumento per chiarire e modellare la fase finale di un processo di fatica a basso numero di cicli (LCF) o ad alta deformazione, dei collari dei rotori. Erano quindi problemi strutturali connessi con la resistenza dei materiali.

Questa ampia ricerca che si sviluppò in più anni (dagli anni Settanta agli anni Novanta) sollecitò diversi filoni di studio che possono essere riassunti nello schema seguente:

- Simulazione del comportamento di più difetti interagenti fino alla generazione di un difetto critico.
- Determinazione dei valori critici di tenacità a frattura dei materiali dei rotori, in aria e in ambiente.
- Costruzione di un'attrezzatura per prove di Meccanica della frattura, per provini compatti (CT) di notevole spessore (150 mm), per la misura della tenacità dei materiali.
- Confronto tra i valori teorici del fattore di intensità degli sforzi e i parametri di tenacità del materiale.

Tale attività richiese una serie di azioni che portarono a risultati conclusivi per il dimensionamento e la valutazione di sicurezza di questi grandi componenti strutturali.

Al fine di mostrare qualche risultato di queste ricerche sul comportamento a rottura dei materiali è bene distinguere tre modelli dal punto di vista del legame tra le tensioni e le deformazioni:

1. Comportamento lineare elastico;
2. Comportamento non lineare;
3. Comportamento a carichi di urto.

##### **Comportamento lineare elastico**

La proporzione diretta tra la forza applicata e la deformazione è il modello più semplice. Esso è valido, in linea generale, per valori ridotti di stati di deformazione. L'origine storica risale alla legge di Robert Hooke (1635-1703) il quale pubblicò per primo

uno studio sul comportamento di proporzione diretta tra la forza applicata e la deformazione. La pubblicazione del 1676<sup>7</sup> è intitolata *True Theory of Elasticity or Springiness*. La legge fu rivelata solo alcuni anni dopo in una seconda pubblicazione: *De Potentia Restitutiva, or a Spring*, nella forma: “ut tensio, sic vis” (*tale l'estensione, così la forza*).

Questa legge, che nella sua generalità e semplicità vale per ogni materiale, è il primo riferimento per lo studio di materiali e di strutture soggette a carichi.

Sebbene molto semplice, questa relazione introduce a un nuovo problema quando è applicata non genericamente a un materiale ma a una struttura caricata. Nella Fig. 6 è riportata la rappresentazione moderna di questa relazione, che assume forme diverse in dipendenza del numero di cause (per es. forze) e del numero di effetti (per es. deformazioni).

Lo schema, con un numero di effetti diverso da quello delle cause, evidenzia il fondamento di ogni ricerca sperimentale, sempre riconducibile a un *problema inverso*.

Questo aspetto che non attrasse la mia attenzione nei primi anni, richiese tutta la cura che meritava quando fu applicato al progetto di trasduttori di forza e fu risolto soltanto tempo dopo con l'introduzione di metodi di regolarizzazione in grado di affrontare problemi inversi non totalmente determinati.

### Applicazione a strutture

L'identificazione delle forze è un problema sempre attuale, parte del problema inverso di determinazione delle cause<sup>8</sup>.

Nella pratica del Laboratorio di Analisi sperimentale i problemi di identificazione si sono inseriti relativamente tardi, sollecitati da alcuni casi pratici che hanno evidenziato il loro importante contenuto concettuale. La Fig. 7 illustra un caso: la determinazione delle forze e dei momenti trasmessi da una attrezzatura sportiva. Sperimentalmente si deve risalire dalla misura di sei parametri di deformazione alla determinazione delle tre forze e dei tre momenti trasmessi. Il progetto di un trasduttore di forza a sei gradi di libertà è un problema di natura inversa rappresentato in uno degli schemi visti nella Fig. 6. Il problema può essere staticamente determinato

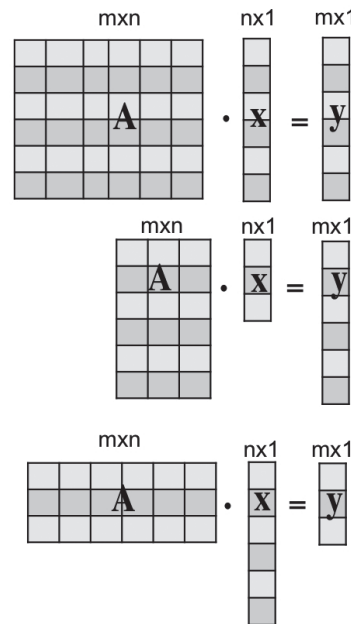


Figura 6. La legge di Hooke per più variabili: schemi di problemi inversi. Solo il primo caso è ben posto, il secondo ha un numero degli effetti maggiore del numero delle cause e il terzo ha un numero di effetti minore del numero delle cause.

<sup>7</sup> Il testo riporta la sua scoperta in forma di anagramma, al fine di proteggere l'originalità e la paternità dell'idea.

<sup>8</sup> In molti casi la ricerca delle cause di effetti noti è più importante della ricerca degli effetti di cause note.

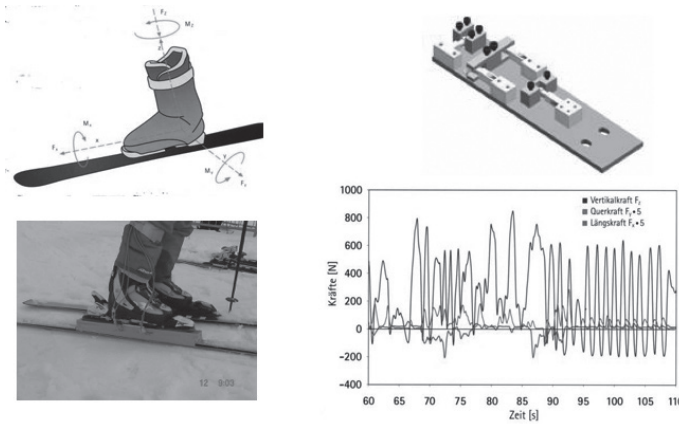


Figura 7. Problema inverso: andamento delle 6 azioni trasmesse dallo sci allo scarponne.

come nella prima sottofigura a) o staticamente indeterminato quando il numero delle misure è inferiore al numero delle variabili che si desidera conoscere [11].

### Studio della fatica oligociclica

Ho affrontato questo aspetto quando sviluppai alcune ricerche di Meccanica della frattura allo studio della fatica oligociclica<sup>9</sup> in grandi macchine elettriche. In questa ipotesi il legame tra tensioni e deformazioni non è lineare, essendo rappresentato graficamente da cicli di isteresi (Fig. 8). Questi comportamenti di non linearità sono stati (e continuano ad essere per i nuovi materiali) altrettanti campi di indagine e di applicazione dei metodi sperimentali di analisi delle tensioni.

Un comportamento speciale si evidenzia, in particolare, nella fase estrema di collasso, ben diversa nel caso di relazione di proporzione o di non proporzione (e di isteresi) tra le tensioni e le deformazioni (Fig. 8). In questo caso si parla di comportamento fragile o duttile.

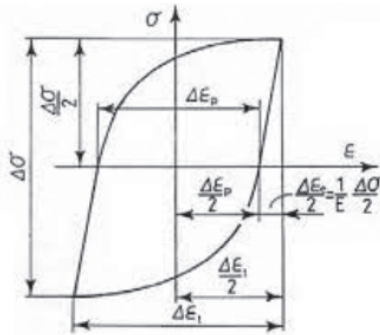


Figura 8. Ciclo di isteresi tra tensione e deformazione nel caso di sollecitazione alternata oltre il limite elastico.

Duttilità e fragilità sono proprietà non solo del materiale (composizione chimica ed eventuale trattamento termo-meccanico), ma anche del livello delle tensioni applicate. Lo dimostra un esperimento di sollecitazioni con torsioni alterne costanti ed elevate fino a rottura, condotto su provini cilindrici cavi e pieni come è indicato nelle Figg. 9 e 10.

Una torsione alterna con tensioni in campo elastico genera una frattura controllata da tensioni normali che sono massime nella direzione a 45 gradi rispetto all'asse, mentre un

<sup>9</sup> La fatica nei materiali è un processo di modificazione progressiva, localizzata e permanente che si sviluppa nel materiale quando è soggetto a tensioni e deformazioni variabili nel tempo in aree localizzate e che, dopo un numero sufficiente di cicli, può concludersi con fessurazioni o con la completa rottura del componente (ASTM).

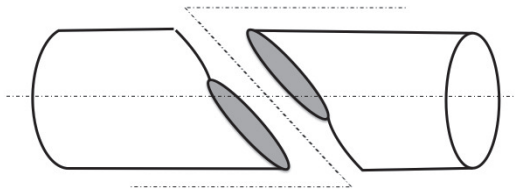


Figura 9. Frattura statica o a fatica ma a basso carico.

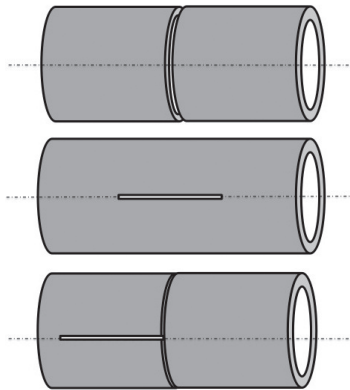
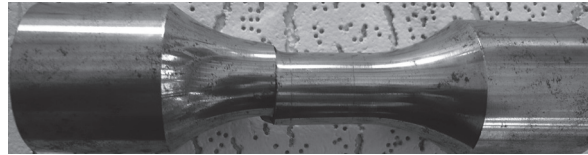


Figura 10. Quando si supera il limite elastico la direzione della frattura è guidata dalle tensioni tangenziali.



torsione con tensioni oltre il limite elastico è responsabile di una frattura in direzione della massima tensione tangenziale.

### **Comportamento a rottura al variare dello spessore**

L'influenza dello spessore del corpo caricato sul comportamento duttile o fragile del materiale è evidenziato dai risultati di una prova di propagazione di una fessura su provini compatti (CT). Nel primo caso, di provino di grande spessore, la rottura è fragile e non è accompagnata da deformazioni plastiche. Nel caso di prova di propagazione in corpi di spessore minore si generano viceversa ampie zone plastiche in forma di ali a 45 gradi rispetto alla superficie media di frattura. La Figura 11 mostra come, lo stesso materiale si comporta in modo diverso a rottura in dipendenza dello spessore.

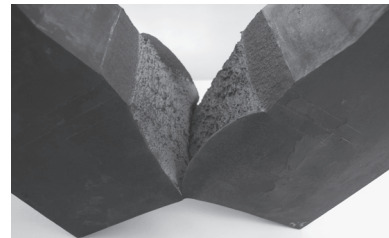
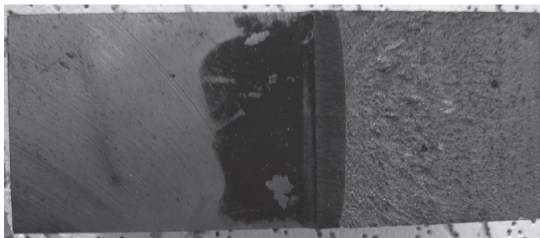


Figura 11. Superfici di frattura in provini a forte spessore (comportamento fragile) e di piccolo spessore (comportamento duttile con ali a 45 gradi).

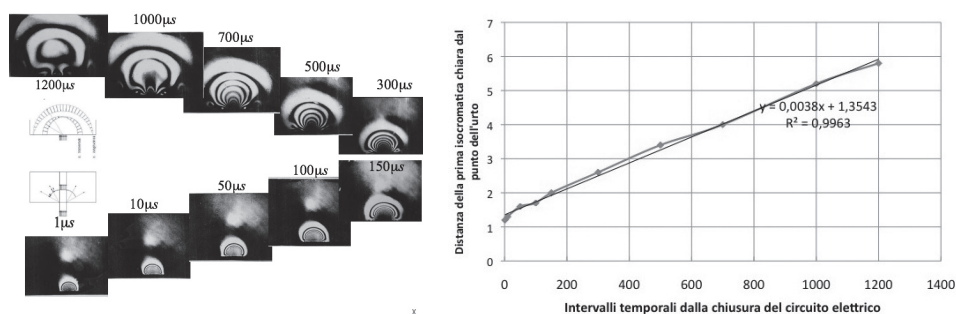


Figura 12. Visualizzazione di stati di tensione e di onda in materiali a basso modulo elastico mediante il metodo fotoelastico in lastre piane soggette a un carico dinamico di breve durata lungo uno dei bordi. I tempi indicati in microsecondi sono i tempi di visualizzazione dell'immagine a partire dall'istante dell'urto. A destra le velocità della distribuzione delle tensioni.

### Comportamento del materiale in caso di azioni di urto

Durante la permanenza nel Laboratorio della T.H. di Stoccarda avevo partecipato a esperienze di visualizzazione di onde d'urto con il metodo fotoelastico. Ripetei la prova nel nostro Laboratorio, con l'aiuto del collega Alberto Burchiani, professore presso l'Istituto di Misure elettriche, utilizzando materiali a basso modulo elastico (Gomme poliuretatiche trasparenti Hysol 4000), (Fig. 12). Con questo materiale la velocità dell'onda d'urto risulta ridotta, perché legata alla radice quadrata del rapporto tra modulo elastico e densità  $\sqrt{E/\rho}$  e quindi più facilmente visualizzabile con attrezzature auto-costruite, più semplici di quelle utilizzate nel Laboratorio straniero. Fu immediato riconoscere, dal confronto con altre immagini di urto in materiali a più alto modulo elastico, che la distribuzione delle onde d'urto dipende dal modulo elastico del materiale impiegato nella simulazione.

Il risultato didatticamente più interessante è il seguente: la velocità teorica dell'onda d'urto è raggiunta solo dai punti del fronte con tensione tendente a zero, mentre la velocità di distribuzione delle tensioni è sensibilmente più bassa perché richiede uno spostamento del materiale. Si deve infatti distinguere tra la velocità dell'onda e la velocità di compressione (in questo caso) del materiale che subisce l'urto<sup>10</sup>.

La Figura 12 a destra illustra questo concetto. Solo la prima perturbazione per tensione di compressione nulla (isocromatica di ordine zero) si propaga con una velocità, in figura data dal termine 0.0038 mm/sec, cioè pari alla velocità teorica

<sup>10</sup> Einstein e Infeld hanno proposto una sorta di esperimento mentale, molto efficace per comprendere il concetto delle onde d'urto: «Il vento che passa sopra un campo di grano genera un'onda che si sparge per tutto il campo. Dobbiamo distinguere ancora fra il movimento dell'onda e il movimento delle singole piante, che subiscono soltanto piccole oscillazioni [...]. Le particelle che costituiscono il mezzo eseguono soltanto piccole vibrazioni, ma l'intero movimento è quello di un'onda progressiva. La cosa essenzialmente nuova qui è che per la prima volta consideriamo il movimento di qualcosa che non sia materia, ma di energia propagata attraverso la materia». Si hanno onde d'urto quando si ha trasporto di una perturbazione nello spazio senza un trasporto di materia [13, 14, 15, 16, 19], [5].

dell'onda d'urto. Si visualizza anche il tempo in cui le tensioni si diffondono nel mezzo e poi si annullano se il carico non persiste.

Questo è un esperimento estremamente utile per l'apprendimento della differenza tra carichi statici e carichi dinamici. Nei primi istanti il volume di materiale della lastra che sopporta il carico è molto limitato: solo una piccola porzione della struttura sopporta il carico e giustifica le fratture iniziali di corpi che subiscono anche un limitato carico dinamico.

### 2.21.5. La sperimentazione nelle reali condizioni di servizio

È la forma più diretta ed efficace di sperimentazione perché tiene conto, oltre che delle variabili principali (che controllano il fenomeno), anche delle variabili aleatorie dovute alla variabilità dell'ambiente, generalmente escluse da una sperimentazione in Laboratorio. Tipicamente questi studi riguardano il fenomeno della fatica dei materiali che si sviluppa nel tempo.

#### ***Un precedente storico***

Il primo esempio paradigmatico di ricerca *in campo* (o *dal vivo come si può dire*) che aprì la strada ad altre ricerche da considerarsi le più caratteristiche dell'ingegneria è dovuto ad August Wöhler, un ingegnere tedesco che affrontò per primo, in modo sistematico il problema della fatica degli assali ferroviari [8]<sup>11</sup>.

#### *Problema inverso: identificazione delle forze agenti sugli assali*

Possiamo sintetizzare la procedura di Wöhler per lo studio della fatica su una struttura nel suo ambiente reale (gli assali ferroviari) nelle fasi seguenti.

- Sceglie una reale condizione di carico (nel caso esaminato si trattava di assali ferroviari montati su carrozze in moto in una tratta considerata rappresentativa del percorso delle ferrovie tedesche).

- Progetta e installa un sistema di misura delle deformazioni che si manifestano negli assali, (misura di deformazioni di flessione e di torsione), (Fig. 13). Dati i limiti dell'evoluzione tecnica di quel momento storico i dispositivi di misura sono davvero ingegnosi e speciali (Fig. 14).

- Esegue misure delle deformazioni dal vivo durante il moto delle carrozze. Le misure comprendono sia la stima delle tensioni longitudinali dovute alla flessione rotante (con l'aggiunta di picchi generati dalle flessioni di piani delle ruote dovute alle irregolarità dei binari) che la stima delle tensioni torsionali dovute alla rotazione relativa delle due ruote.

<sup>11</sup> Dal 1847 è Sovrintendente capo del materiale rotabile della Bassa Slesia-Brandeburgo a Francoforte sull'Oder. Nel 1852 ha un incarico dal Ministero del Commercio prussiano per indagare le cause di frattura degli assali ferroviari, lavoro che occuperà Wöhler per oltre due decenni. Nel 1854 è nominato Direttore della neonata Ferrovia Imperiale con sede presso il Consiglio d'amministrazione a Strasburgo. Successivamente è a Berlino presso il BAM per lo studio della affidabilità dei materiali.

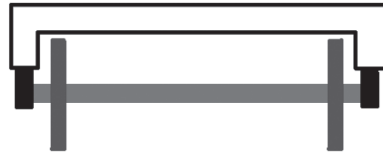
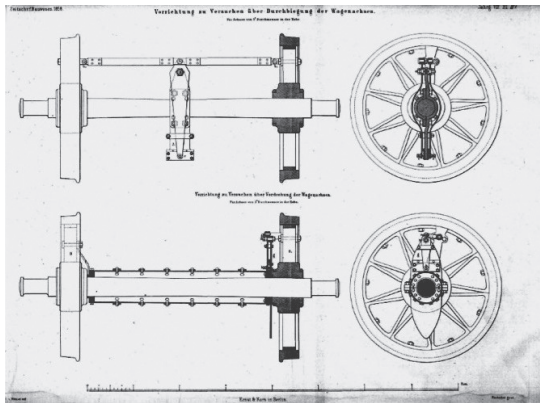


Figura 13. Progetto dell'attrezzatura introdotta da Wöhler per la misura e la registrazione dei momenti flettenti e torsionali di un assale ferroviario.

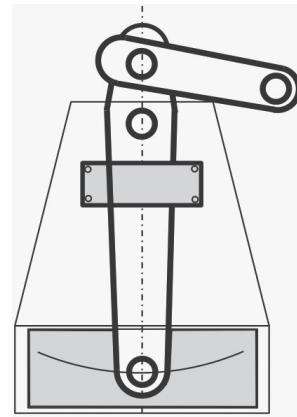
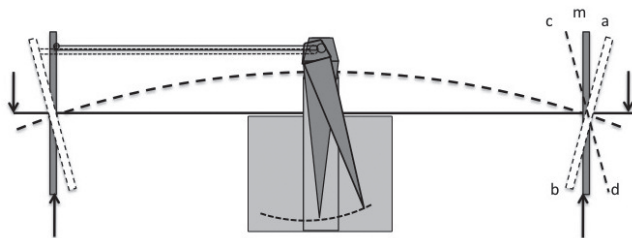


Figura 14. Dispositivo di registrazione: una punta produce una traccia su una piastra di zinco, proporzionale alla deformazione.

- Sviluppa una fase di prove in Laboratorio su assali identici a quelli sperimentati, per risalire dalle deformazioni misurate alle forze in gioco: un tipico problema *inverso*.

*Problema diretto: calcolo delle tensioni e delle deformazioni degli assali, note le forze*

Determinate in questo modo le forze, Wöhler procede alla soluzione del problema diretto, cioè alla determinazione delle tensioni limiti tollerabili dai componenti strutturali e quindi dai materiali. Per ottenere questi risultati:

- Applica le forze misurate in vivo ai componenti scelti;
- Determina le tensioni limite (il limite di fatica) per quei componenti;
- Ricava leggi fenomenologiche generalizzabili per altri materiali da costruzione alternativi. Su questo aspetto Wöhler ha modo di valutare i limiti degli acciai da costruzione, in quegli anni ancora molto critici.

### **Un caso analogo nel nostro Laboratorio**

Una delle ricerche *in campo* richiesta al nostro Laboratorio fu il dimensionamento di un telaio motociclistico. Collaborarono i colleghi D. Crococo e G. Olmi (Fig. 15).

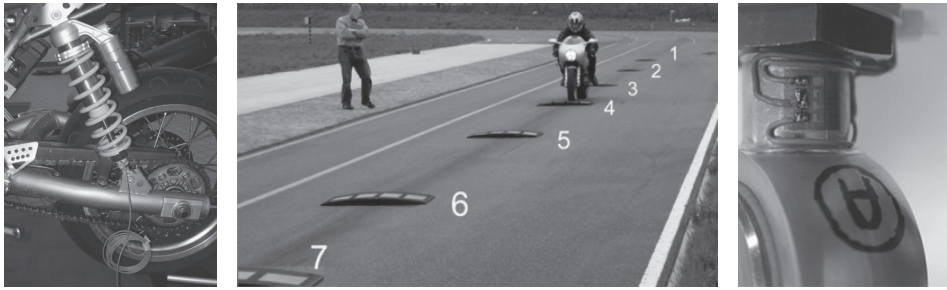


Figura 15. Esempio di esperimento in campo per l'identificazione delle forze agenti su un telaio motociclistico.

Anche in questo caso il problema, al pari dell'altro prima presentato, è articolato in due parti: un problema inverso di *identificazione* delle forze e un problema diretto di determinazione delle tensioni (o delle deformazioni) dovute a queste forze.

*Problema inverso: identificazione delle forze agenti sul telaio*

Il risultato fu raggiunto strumentando con una cella estensimetrica l'estremo dell'ammortizzatore. Facendo poi percorrere al motoveicolo un percorso misto costituito da tratti rettilinei e da dissuasori (rappresentativo di un uso medio del veicolo), è possibile stimare o identificare le forze trasmesse al telaio.

*Problema diretto: calcolo delle tensioni e delle deformazioni del telaio*

Una volta identificate le forze *effettive* dalla prova su una pista segue la soluzione classica del problema diretto, costituita dal calcolo delle tensioni e delle deformazioni con un modello numerico del telaio (Fig. 16).

Anche in questa fase si può osservare l'analogia di questo modo di procedere con quello seguito da Wöhler. L'unica differenza sta nell'uso di un modello numerico al posto di un modello teorico.

**La pianificazione e il controllo statistico dei dati**

Come si è visto, la pianificazione statistica degli esperimenti, introdotta nelle fasi più mature di funzionamento del Laboratorio ha il grande vantaggio di inquadrare la sperimentazione nell'ambito dello studio di risultati non deterministici ma statistici,

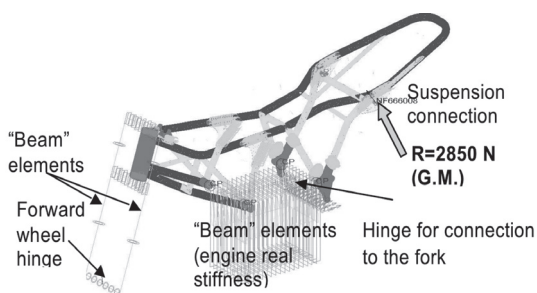


Figura 16. Calcolo delle tensioni nel telaio dovute alle forze identificate nell'esperimento.



quali effettivamente sono le prove in campo o anche quelle di Laboratorio. In particolare, la statistica consente l'analisi critica dei tre aspetti seguenti:

1. Gli esperimenti possono essere usati in modo errato, se si ignora l'effetto dei fattori che non sono controllati come libera scelta (o non sono noti e sono assimilabili a effetti indesiderati). Globalmente essi danno origine all'errore sperimentale. Il vantaggio del *progetto dell'esperimento* risiede proprio nella possibilità di valutare con l'analisi della varianza il peso dell'errore sperimentale.

2. I dati raramente rivelano il legame causale con l'interazione di più fattori. Le superfici di risposta, quando le variabili sono continue, offrono un metodo per valutare il legame tra i fattori e gli effetti, senza trascurare il ruolo delle interazioni.

3. Infine è corretto chiedersi se gli esperimenti in Laboratorio riproducono fedelmente le relazioni tra le variabili che si manifestano in campo. Questo accade solo se l'ambiente di prova è simile all'ambiente nel quale i risultati della prova sono utilizzati. Il rapporto segnale rumore è un parametro efficace per valutare questo aspetto [10].

### 2.21.6. La costruzione di attrezzature sperimentali

Le sperimentazioni dal vivo richiedono spesso lo sviluppo di nuovi dispositivi ad hoc e di attrezzature di prova non convenzionali. Questo è uno degli effetti collaterali positivi dello studio dell'analisi sperimentale delle tensioni: la necessità di disporre di attrezzature che, spesso, devono essere progettate e costruite perché non presenti sul mercato, a costi compatibili con le risorse della ricerca. Due esempi sono rappresentati nelle Figg. 17 e 18 e mostrano alcune attrezzature (che progettai con colleghi) e che, malgrado le loro dimensioni rilevanti, furono costruite in officine artigianali della regione.

Le attrezzature presentate nella Fig. 18 furono progettate e costruite rispettivamente per eseguire prove di torsione su provini cilindrici di acciaio (fino a 50 mm di diametro), per prove a fatica a basso numero di cicli per turbine e per prove su avvolgimenti a temperatura criogenica; queste ricerche furono commissionate al nostro Laboratorio da Ansaldo ASGEN di Genova (ora Ansaldo Energia). Nell'ambito di consulenze per la stessa ditta negli ultimi anni della mia attività condussi con il col-

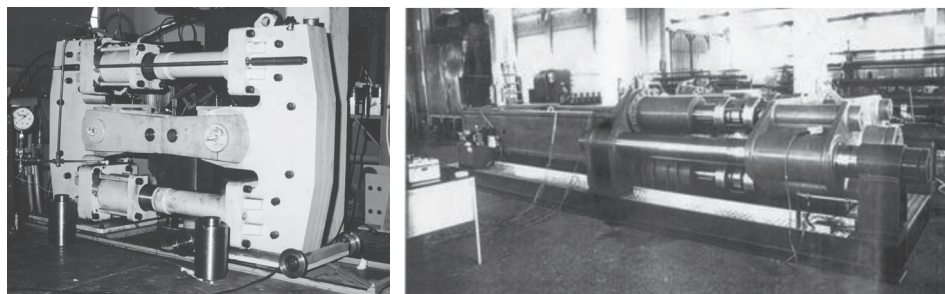


Figura 17. Esempi di attrezzature progettate e costruite localmente per prove di frattura di provini compatti (CT) e di resistenza su tubi per perforazioni petrolifere.

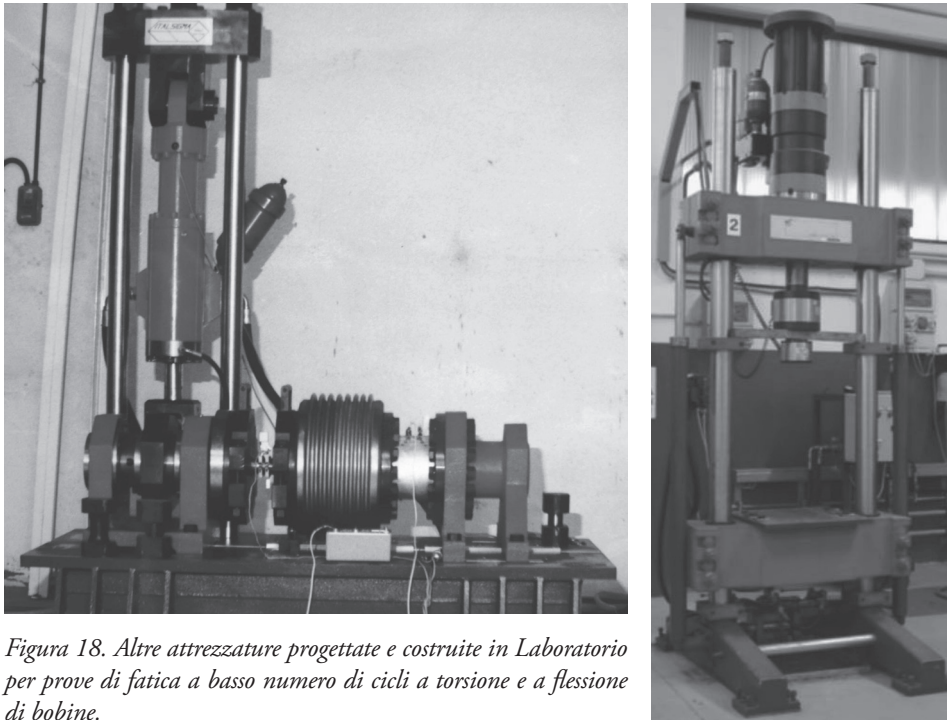


Figura 18. Altre attrezzature progettate e costruite in Laboratorio per prove di fatica a basso numero di cicli a torsione e a flessione di bobine.

lega Olmi prove di caratterizzazione di acciai per rotor di alternatori e per turbine. Da queste sperimentazioni deducemmo valutazioni di carattere affidabilistico (cioè dimensionamenti basati su stime statistiche dei dati) [11]. In particolare, per risolvere il problema di allineamento del provino nelle prove di trazione/compressione studiammo una attrezzatura descritta in [10], vedi Fig. 19. La soluzione del problema venne da un suggerimento del professor Funaioli espresso molti anni prima: un

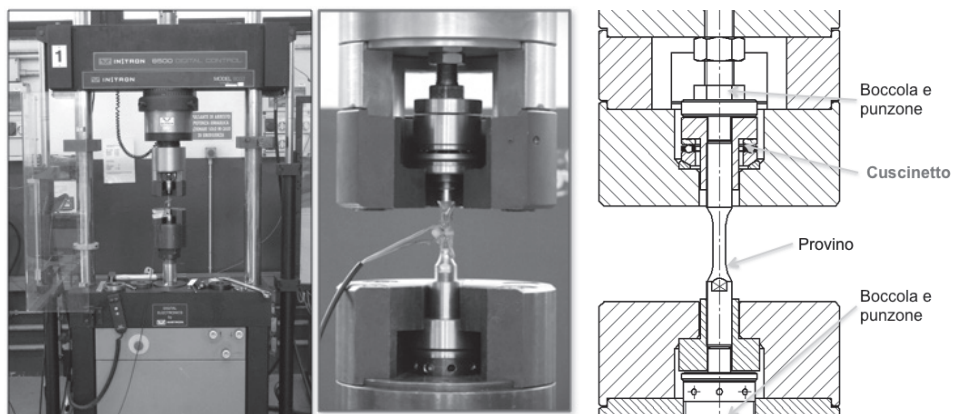


Figura 19. Altro esempio di attrezzatura auto-costruite per allineare il carico al provino.

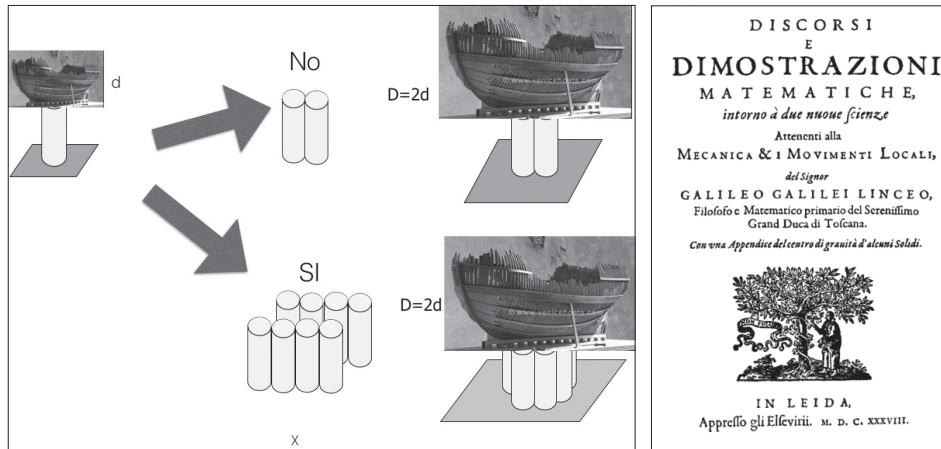


Figura 20: a) La legge dei modelli schematizzata dall'esempio di Galileo Galilei. Uno scafo di dimensioni doppie di uno più piccolo non richiede un numero doppio dei sostegni ma otto sostegni perché il suo peso cresce con legge cubica ( $2^3=8$ ); b) Frontespizio del libro: "Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze" (1638).

anello rovesciato di un cuscinetto assiale crea la slitta necessaria per consentire l'aggiustamento automatico dell'afferraggio e consentire, quindi, il superamento degli effetti derivati da piccoli errori di costruzione della stessa attrezzatura di prove.

### **Conclusioni: cenni di epistemologia delle Scienze tecniche**

Le leggi di similitudine per la statica assieme al comportamento a rottura a flessione di una trave incastrata sono scoperte di Galileo Galilei (1564-1642), riportate nel libro *Le due nuove Scienze*, dato alle stampe nel 1638.

Nel libro citato le leggi di similitudine sono illustrate in modo intuitivo e si rende evidente, con artifici retorici e logici, la differenza tra una legge geometrica e una legge fisica (Fig. 20). Il cuore della dimostrazione si basa su una osservazione relativa alle dimensioni dei sostegni dei fasciami delle navi in costruzione, presenti nell'Arsenale di Venezia: questi non vengono scelti in relazione di similitudine geometrica con le dimensioni di una nave più piccola, ma in relazione alla struttura reale della nave, il cui peso, all'aumentare delle dimensioni, cresce con legge cubica, mentre la resistenza degli appoggi cresce con legge quadratica (Fig. 20).

Col tempo le leggi sui modelli verranno estese dalla statica ad altre scienze e saranno di grande utilità per condurre studi sui modelli e applicare i risultati a casi reali: costituiranno quindi un pilastro della sperimentazione.

Einstein, nella sua autobiografia, commenta il ruolo di Galileo osservando la complementarità delle asserzioni galileiane con le analisi matematiche di Newton. La conclusione di Galileo è su base logica, priva di formalizzazione matematica<sup>12</sup>; si

<sup>12</sup> Solo dopo diversi anni sarà possibile scrivere in formule matematiche, cioè in lingue completamente simboliche.

deve riconoscere a Newton il fondamentale passaggio alla trattazione matematica e l'unificazione dei fenomeni di astronomia e di meccanica. I *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687) sono la sintesi estrema tra osservazioni, esperimenti e dimostrazioni matematiche e delineano un nuovo sistema del mondo [12]. Inoltre, Einstein stabilisce un parallelo tra il ruolo nella scienza della coppia Galileo Galilei e Isaac Newton con quella di Michael Faraday e James Maxwell [4]:

...the Faraday-Maxwell pair had a similar resemblance to the Galileo-Newton pair: the first in each pair intuitively captured the possible relationships, while the second formulated them exactly, and applied them quantitatively...

Questa citazione trova riferimento in altri sviluppi delle scienze tecniche e rappresenta il modo in cui una teoria si afferma e viene applicata.

È interessante osservare che la legge di similitudine fisica dei modelli nasce da una osservazione (nella filosofia della scienza si parlerebbe di studio osservazionale) di una pratica tecnica, la pratica della costruzione delle navi in un grande cantiere.

L'osservazione di Einstein giustifica una riflessione di carattere epistemologico (Fig. 21). La *Scienza fisica* è nata quando gli studi osservazionali di carattere intuitivo «intuitively captured» hanno incrociato la modellazione matematica «applied them quantitatively».

La creazione di artefatti, cioè la tecnica, ha spesso avuto una vita indipendente dalla scienza fisica, essendo per un lungo periodo basata solo su pratiche acquisite e via via perfezionate. La vera *Scienza tecnica* è nata quando si è avuto la piena intersezione tra le tre categorie dell'osservazione, della struttura matematica e della pratica tecnica, cioè *dell'osservare, dello strutturare e del fare*. La Fig. 21 mostra la prima intersezione tra l'osservazione e la matematica: essa origina la scienza fisica. La scienza tecnica (indicata anche con il nome di tecnologia) nasce soltanto quando la scienza fisica si interseca con la pratica tecnica (Fig. 22).

La ricerca sperimentale svolta presso un Laboratorio rappresenta solo una porzione delle Scienze tecniche e un ulteriore sottoinsieme degli studi sulle strutture meccaniche. Tuttavia è molto difficile immaginare una ricerca nell'ambito delle strutture che prescindano dalla ricerca sperimentale, almeno nella fase di controllo e di verifica. Un aspetto che va comunque rilevato è la lentezza di una ricerca sperimentale rispetto a una ricerca teorica di pari difficoltà. Il Laboratorio richiede molto tempo di progettazione, allestimento di attrezzature e analisi dei risultati.

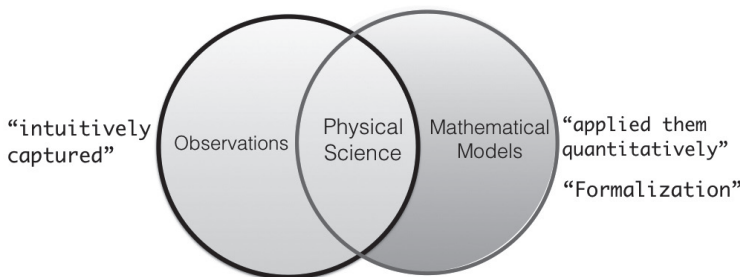


Figura 21. La nascita della Scienza fisica come intersezione di due categorie.

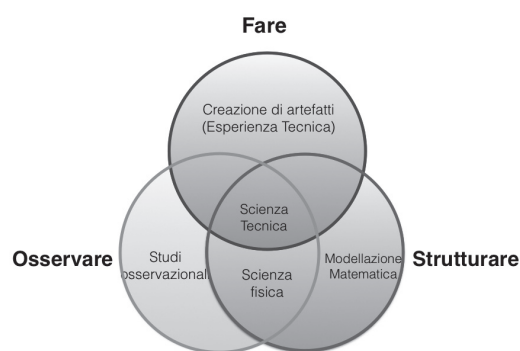


Figura 22. La nascita della Scienza tecnica alla intersezione di tre categorie.

Il lavoro sperimentale è lento, le pubblicazioni non frequenti, complete solo alla fine di campagne di prova. Questo mondo appare superato dalla modernità e dagli strumenti che ora sono a disposizione, come il computer e internet. Si vedano i commenti nel saggio di G. Pacchioni che interpreta questo passaggio da una *Slow Research* a una *Fast Research* [18]<sup>13</sup>.

## Riferimenti bibliografici

- [1] (1971) AIAS. URL <http://www.aiasnet.it>
- [2] Berger P. (1994). Experimental design: is it important? Lecture handout, MIT Boston Summer Professional Program, <http://professional.mit.edu/programs/short-programs/design-and-analysis-experiments>.
- [3] Curioni S., Freddi A., Garro A. (1971). Experimental and theoretical stress analysis in a nuclear steam generator head. In: Jaeger TA (ed.) Proceeding of 1st Int. Conf. on Struct. Mechan. in Reactor Technology, Berlin, Reactor Pressure Vessels, vol. 4, pp. 1-3.
- [4] Einstein A. (1949). Autobiographical Notes. Philosopher-Scientist, ed. P.A. Schilpp (Evanston, 111): Library of Living Philosophers.
- [5] Einstein A., Infeld L. (1971). The evolution of physics. CUP Archive 1 (ISBN 0-521-09687-1): 101.
- [6] Freddi A. (1967). Il metodo di congelamento delle tensioni nella fotoelasticità: suoi recenti aspetti. Rassegna internazionale di Meccanica. Milano, Franco Angeli<sup>1</sup>.
- [7] Freddi A. (1972). Photoelastic stress analysis of a nuclear reactor pressure vessel. Meccanica J of AIMETA, 7(3): 183-204.
- [8] Freddi A. (2012). Contributo alla storia della fatica dei materiali dalle origini agli albori del XX secolo. In: E. Mesini DM (ed.) Scienza e Tecnica nel Settecento e nell'Ottocento, vol. 1. Bologna, CLUEB, pp. 255-284.
- [9] Freddi A., Dal Bianco A. (1974). Analisi fotoelasticimetrica delle tensioni in un contenitore di reattore nucleare soggetto a carichi esterni agenti sui bocchelli. Quaderno CNR della Ricerca scientifica, 85.
- [10] Freddi A., Salmon M. (2019). Design Principles and Methodologies. From Conceptualization to First Prototyping with Examples and Case Studies, 1<sup>st</sup> ed. Springer Book, Series in Solid and Structural Mechanics.
- [11] Freddi A., Olmi G., Cristofolini L. (2015). Experimental Stress Analysis for Materials and Structures. Stress Analysis Models for Developing Design Methodologies, vol. 1, 1<sup>st</sup> ed. Springer Book, Series in Solid and Structural Mechanics.

<sup>13</sup> Senza entrare nel merito del problema sul peso della sperimentazione, possiamo ricordare, nell'ambito della Fisica, quali risorse umane e finanziarie e quanto tempo sono stati necessari per allestire gli esperimenti CMS presso il grande Hadron Collider al CERN di Ginevra per provare la Teoria Standard (il bosone di Higgs).

- [12] Giudice F. (2018). Torino, Piccola Biblioteca Einaudi.
- [13] Hertz H. (1894). Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt. Philip Lenard (ed.). Leipzig, J.A. Barth, 1894.
- [14] Hertz H. (1956) Principles of Mechanics Presented in a New Form, translated by D.E. Jones, J.T. Walley. London, Dover Publications.
- [15] Krehl P.O.K. (2009). History of Shock Waves, Explosions and Impact. Springer.
- [16] Kuske A., Robertson G. (1974). Photoelastic Stress Analysis, vol. 1, 1<sup>st</sup> ed. London, J. Wiley and Sons.
- [17] Montgomery D.C. (2012). Design and Analysis of Experiments. London, J. Wiley, Chapter 12.
- [18] Pacchioni G. (2017). Scienza, quo vadis? Bologna, il Mulino.
- [19] Timoshenko S., Goodier J. (1951). Theory of elasticity. New York, McGraw-Hill.
- [20] Weber C. (2015). Bautechnikgeschichte. <https://bautechnikgeschichte.files.wordpress.com/2015/07/weber.pdf>.

Segnalo anche i due libri nei quali sono raccolti tutti i concetti che mi hanno guidato nella stesura dei sillabi dei due Corsi di insegnamento che ho tenuto presso la Scuola di Ingegneria dell'Università di Bologna:

- 1) Freddi Alessandro, Olmi Giorgio, Cristofolini Luca, *Experimental Stress Analysis for Materials and Structures: Stress Analysis Models for Developing Design Methodologies*, Springer Series in Solid and Structural Mechanics (2015).
- 2) Freddi Alessandro, Salmon Mario, *Design Principles and Methodologies From Conceptualization to First Prototyping with Examples and Case Studies*, Springer Tracts in Mechanical Engineering (2019).

## 2.22. LA NASCITA DEL CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE NELLE SEDI UNIVERSITARIE DI BOLOGNA E DI REGGIO EMILIA

*Arrigo Pareschi*

### 2.22.1. Introduzione

Nel campo dell'ingegneria la cultura sistemistica e gestionale si è venuta sviluppando attraverso lo studio, la progettazione e la gestione di sistemi complessi quali sono i sistemi produttivi di beni materiali e di servizi.

Per molti anni (certamente fino ai primi anni Settanta) nel campo della ricerca scientifica e tecnologica, applicata al mondo produttivo, ogni sforzo è stato dedicato principalmente alla soluzione di problemi di progettazione, realizzazione e funzionamento di componenti, singole macchine o attrezzature piuttosto che al loro migliore inserimento ed utilizzo nell'impianto industriale complessivo al fine di conseguire, a costo contenuto o addirittura con il minimo costo, i massimi benefici, in termini di qualità e affidabilità dei prodotti.

Negli ultimi decenni, a partire dagli anni Settanta, come detto, anche grazie ai rilevanti progressi e risultati conseguiti nella componentistica, l'attenzione della ricerca applicata si è focalizzata sempre più sull'intero sistema produttivo e si sono messe a punto metodologie e tecniche di indagine nella progettazione e nella gestione produttiva, che, tradotte negli impianti reali, hanno consentito il conseguimento di risultati economici e di livelli qualitativi del prodotto impensabili e irraggiungibili attraverso il "solo" miglioramento dei componenti. Ha preso sviluppo così più compiutamente una cultura sistemistica in grado di analizzare, progettare e gestire gli impianti industriali in un'ottica di ottimizzazione e integrazione di tutte le funzioni aziendali: scelta e progettazione del "mix" produttivo in stretto rapporto con le rapide variazioni (qualitative e quantitative) del mercato nazionale e mondiale, approvvigionamento e gestione dei materiali, fabbricazione e assemblaggio integrati mediante le risorse dell'automazione industriale e dei computer, gestione dei flussi fisici e dei flussi informativi all'interno dell'azienda con tecniche di logistica industriale, gestione delle macchine mediante programmi ottimizzati di manutenzione, gestione degli ordini, delle spedizioni e della distribuzione dei prodotti sul mercato. Questo tipo di cultura, eminentemente interdisciplinare e trasversale ai diversi settori dell'ingegneria (meccanico, chimico, elettrico, elettronico, dei materiali, etc...), si è imposto sempre più all'interno del mondo della produzione sul piano operativo reale e ha trovato finalmente attenzione anche a monte nell'ambito dei programmi di formazione universitaria e professionale. Sono nati pertanto a partire dai primi anni Settanta, nell'ambito delle Università italiane e delle Facoltà di Ingegneria in particolare, insegnamenti di tipo sistemistico e gestionale con l'obiettivo di diffondere questo tipo di cultura e professionalità. Tali insegnamenti

sono riconducibili soprattutto ai settori disciplinari della ingegneria economico-gestionale, dell'impiantistica industriale, dell'automazione industriale, della ricerca operativa e dei sistemi informativi.

Molta strada è stata percorsa; oggi esistono a livello nazionale sia un Corso di Laurea specifico in Ingegneria Gestionale di durata triennale sia, in sequenza, un Corso di Laurea magistrale ancora in Ingegneria Gestionale (di durata biennale) attivati in numerose sedi universitarie italiane e inoltre un ampio ventaglio di insegnamenti quali: Economia e organizzazione aziendale, Organizzazione della produzione, Gestione aziendale, Gestione della innovazione, Sistemi di controllo di gestione, Impianti industriali, Gestione della produzione industriale, Gestione dei progetti di impianto, Logistica industriale, Sistemi integrati di produzione, Gestione della qualità, Automazione industriale, Ricerca operativa, Algoritmi di ottimizzazione e altri ancora.

Questo profondo mutamento degli ordinamenti delle Facoltà di Ingegneria italiane non è stato di facile realizzazione. Infatti, mentre la figura dell'ingegnere civile, meccanico, elettrico, elettronico o chimico, in quanto monoculturale e sviluppata verticalmente in maniera specialistica, viene ritenuta portatrice di una ben precisa connotazione progettuale e professionale, lo stesso per lungo tempo non è stato riconosciuto alla figura dell'ingegnere gestionale, perché caratterizzata quest'ultima da una cultura trasversale e interdisciplinare, che rischierebbe, secondo alcuni, di compromettere la formazione progettuale tipica dell'ingegnere. In realtà la cultura sistemistica e gestionale non prescinde dalla progettualità, anzi ne è permeata completamente: la differenza sta solo nel fatto che si progettano sistemi complessi e non componenti o singole macchine o attrezzature, per cui le implicazioni economiche, legate agli investimenti ed al mercato, e quelle gestionali, legate al corretto funzionamento del "sistema" in diverse condizioni operative, intervengono in maniera molto più rilevante. Ecco quindi che viene a configurarsi una figura professionale in grado di scegliere (attraverso lo studio di fattibilità), progettare e gestire "sistemi complessi" in condizioni di massimo risultato tecnico ed economico, tenendo conto appunto in maniera sinergica degli aspetti tecnici, organizzativi, economici, finanziari e di mercato coinvolti.

La validità di questa cultura, nata per le esigenze primarie del mondo della produzione industriale, si è confermata in questi ultimi anni anche in altri settori, in particolare in quello delle imprese produttrici di servizi, le quali hanno dato origine al cosiddetto "terziario avanzato", applicando utilmente metodologie e tecniche analoghe a quelle nate nei sistemi produttivi. E se, ad esempio, i servizi pubblici (siano essi ospedalieri, telefonici, postali, ferroviari, etc...) hanno segnato il passo per anni e ancora oggi non si sono portati pienamente al livello indispensabile per lo sviluppo di un Paese industriale moderno, è certamente anche perché gli Enti preposti, oltre a dover scontare le ristrettezze di risorse per gli investimenti di espansione, non hanno saputo o potuto dotarsi di risorse umane provviste di quella cultura sistemistica e interdisciplinare necessaria per risolvere i problemi di sistemi complessi quali sono quelli delle reti dei servizi nazionali e regionali.



Anche il sistema delle informazioni, in ambito sia produttivo sia decisionale nell'industria e nel terziario (sia pubblico sia privato), richiede un profilo professionale focalizzato sui cambiamenti organizzativi connessi all'adozione di nuovi sistemi di automazione e di gestione delle informazioni.

## **2.22.2. Cenni storici sull'attivazione del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale a Bologna e Reggio Emilia**

Nel 1968 si ha la costituzione di un nuovo ateneo, l'Università della Calabria, ad Arcavacata di Rende, che fra i suoi promotori annovera gli economisti Beniamino Andreatta e Paolo Sylos Labini. In quella Sede nell'anno accademico 1972/73 vengono attivati, nell'ambito della neonata Facoltà di Ingegneria, due corsi laurea del tutto innovativi: "Ingegneria civile per la difesa del suolo e la pianificazione territoriale" e "Ingegneria delle tecnologie industriali ad indirizzo economico-organizzativo". Quest'ultimo corso di laurea rappresenta il primo tentativo nell'università italiana di costruire un profilo formativo finalizzato alla creazione di una figura professionale di ingegnere sistemista con competenze economiche e organizzative, che poi porterà alla figura dell'ingegnere gestionale.

Nel 1978 viene istituita anche la nuova Università di Udine, nella quale a partire dall'anno accademico 1979/80 viene attivato, fra gli altri, un corso di laurea analogo a quello di Arcavacata e con la stessa denominazione: Ingegneria delle tecnologie industriali ad indirizzo economico-organizzativo.

Lo stesso corso di laurea viene attivato dal Politecnico di Milano, dopo lunga gestazione interna, nell'A.A. 1982/83, dopo l'approvazione da parte del MURST del nuovo statuto del Politecnico nell'autunno del 1981. Il 5 aprile 1990 il Politecnico di Milano delibera, nell'ambito applicativo previsto dalla Tabella XXIX emessa dal Ministero (D.P.R. 20/05/1989), il cambio di denominazione del Corso di Laurea in Ingegneria delle tecnologie ad indirizzo economico-organizzativo in Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale.

L'anno precedente il Consiglio della Facoltà di Ingegneria di Bologna, nella seduta del 15 dicembre 1989, sempre nell'ambito applicativo della Tabella XXIX, aveva chiesto l'inserimento a statuto di alcuni nuovi Corsi di laurea fra cui quello in Ingegneria Gestionale. Il CUN formula in data 30/10/90 alcuni rilievi in particolare su carenze di insegnamenti e risorse di docenza nell'area economico-gestionale.

La Facoltà di Ingegneria mette al lavoro una Commissione di studio per approfondire e migliorare secondo le indicazioni del Ministero la proposta relativa al Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale. Essa è costituita dal Preside, professor Enrico Lorenzini, e dai professori Pier Paolo Abbati Marescotti (Presidente Commissione Didattica), Nino Luciani, Francesco Negrini, Arrigo Pareschi, Francesco Santarelli, Luciano Simoni e Andrea Zanoni.

Il successivo D.P.R. 28/10/91, relativo alla approvazione del Piano Triennale di Sviluppo 1991/93 per le Università italiane, all'art. 10 prevede per l'Università di

Bologna, fra altre possibili iniziative, l'istituzione di un Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale con Sede a Reggio Emilia con assegnazione di risorse.

Con delibera del 24/1/92 il Consiglio della Facoltà di Ingegneria di Bologna, sulla base di un articolato documento predisposto dai professori Pareschi, Toth e Zanoni in collegamento con il Presidente della Commissione Didattica, professor Pier Paolo Abbati Marescotti, avanza nuovamente la proposta di messa a statuto del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale e della sua istituzione anche presso la Sede di Bologna a costo zero. Nella suddetta delibera c'è anche l'impegno della Facoltà alla «attivazione, non appena ricorreranno le condizioni indispensabili ad essa, del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale presso la Sede di Reggio Emilia».

In risposta alla lettera del MURST del 5/5/92 (Prot. N. 2440, ISTRUNIV., Uff. II), il Preside Lorenzini, con lettera del 26/5/1992, trasmette la Scheda Risorse riformulata secondo le ultime indicazioni del CUN Consiglio Universitario Nazionale. In data 11/6/92 il CUN esprime parere favorevole alla proposta, come comunicato dal MURST al Rettore della Università di Bologna con lettera del 30/7/92 (Prot. N. 3662 e 3197, ISTRUNIV., Uff. II).

Successivamente alla approvazione del CUN della proposta per la Sede di Bologna, con delibera del 3/7/92 il Consiglio della Facoltà di Ingegneria di Bologna chiede ulteriormente la messa a Statuto del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale con Sede a Reggio Emilia e nomina una Commissione, presieduta dal Preside Enrico Lorenzini e composta dai professori Pier Paolo Abbati Marescotti (Presidente Commissione Didattica), Enrico Obrecht, Arrigo Pareschi, Ugo Reggiani, Paolo Toth, Andrea Zanoni, «con il compito di analizzare le condizioni per l'avvio nel prossimo anno accademico o in anni successivi del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale a Reggio Emilia». Nella seguente seduta del 24/7/92, sulla base di una articolata relazione predisposta dalla suddetta Commissione, il Consiglio della Facoltà di Ingegneria si impegna a sviluppare «tutte le iniziative di propria competenza necessarie per poter attivare contestualmente i Corsi di laurea in Ingegneria Gestionale presso le sedi di Bologna e Reggio Emilia a partire dall'A.A. 1993/94» e a tal fine «dà mandato al Preside e ai membri dell'attuale Commissione di formare un Comitato operativo per sviluppare l'iniziativa reggiana in collaborazione con il COSPURE» (Comitato Operativo per lo Sviluppo del Polo Universitario di Reggio Emilia), che è il Comitato degli Enti pubblici e privati di Reggio Emilia costituitosi per lo sviluppo dell'iniziativa universitaria reggiana.

Con Decreto Rettorale 18/8/1992 vengono approvate svariate modificazioni allo Statuto dell'Università di Bologna con inserimento anche del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale di Bologna. Il Decreto suddetto viene pubblicato sulla G.U. Serie Generale n. 236 del 7/10/1992.

Nella seduta del 29/10/92 il CUN esprime parere favorevole (trasmesso alla Università di Bologna con lettera del MURST n. 5792 del 23/11/92, Uff. II) alla proposta del Consiglio della Facoltà di Ingegneria di modifica di statuto relativa al Corso di Ingegneria Gestionale a Reggio Emilia, ma con esclusione del comma relativo al numero programmato. Con delibera del 26/2/93 il Consiglio della Facoltà di

Ingegneria di Bologna, con riferimento alla propria delibera del 3/7/92 e al suddetto parere del CUN, propone la soppressione del suddetto comma.

Nella primavera del 1993 il Consiglio della Facoltà di Ingegneria di Bologna, nell'ambito della programmazione didattica per l'A.A. 1993/94, approva l'attivazione del 1° anno del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale di Reggio Emilia e del 3° anno di quello di Bologna con Piani degli Studi del tutto simili (cfr. successivo par. 4). Negli anni accademici seguenti vengono attivati nella Sede di Reggio Emilia in successione anche il 2°, il 3°, il 4° e il 5° anno di corso, quest'ultimo nell'A.A. 1997/98. Nella Sede di Bologna vengono attivati il 4° e il 5° anno di corso negli anni accademici 1994/95 e 1995/96, e infine, come da delibera del Consiglio di Facoltà del 29/3/1996, il 1° anno di corso nell'A.A. 1996/97 e a seguire il 2° anno di corso nell'A.A. 1997/98. Quindi a partire dall'A.A. 1997/98 i Corsi di laurea in Ingegneria Gestionale di Reggio Emilia e di Bologna risultano entrambi attivi con l'intero quinquennio previsto dagli ordinamenti universitari per la laurea in ingegneria.

Nella primavera e nell'estate del 1993 in collaborazione con COSPURE vengono valutate e predisposte per la Sede di Reggio Emilia le risorse necessarie (cfr. par. 5) in termini di spazi attinenti la struttura didattica (aule studenti e laboratori didattici) e la struttura scientifica (uffici per docenti e ricercatori con biblioteca e sala seminari, biblioteca centralizzata con sala lettura e sala studio per studenti), e inoltre in termini di costi per l'avvio del biennio (investimento iniziale per attrezzature didattiche quali laboratorio informatico, per retribuzione supplenze docenti, per retribuzione personale tecnico e amministrativo, spese generali e manutenzione attrezzature, ecc...). Si prevede di avviare i laboratori scientifici in una seconda fase con l'attivazione del triennio di applicazione nella Sede definitiva (in viale Antonio Allegri, 15 - 42100 Reggio Emilia) del Corso di Laurea (cfr. ancora par. 5). Nella fase iniziale del primo biennio il Corso di Laurea è allocato nei locali della Sede provvisoria di via Kennedy, 17.

Il 27 gennaio 1994, con cerimonia pubblica al Teatro Municipale "Romolo Valli" viene inaugurato a Reggio Emilia il Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale con l'avvio del 1° anno di corso nell'ambito dell'A.A. 1993/94. In tale occasione il professor Arrigo Pareschi, nuovo Presidente del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale ha svolto una prolusione dal titolo: *La fabbrica flessibile: come cambiano i sistemi produttivi*, di cui si estrae la parte finale riportata di seguito:

Ecco perché è così importante l'iniziativa che oggi qui inauguriamo. Il Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale ha proprio la funzione di formare una figura di ingegnere dotato di una mentalità flessibile, interdisciplinare e sistemica, in cui capacità applicative, realizzative e gestionali si fondono armonicamente per affrontare con successo i complessi problemi non solo dei sistemi di produzione industriale ma anche del mondo dei servizi e del terziario. Per questo viviamo con soddisfazione questo momento, in cui, a fronte dell'importanza dell'iniziativa, non appaiono poi così pesanti i sacrifici affrontati né eccessivo l'impegno e l'entusiasmo messi in campo dalle Autorità e dalle Forze locali della città (il Sindaco Antonella Spaggiari, l'Assessore all'Istruzione Sandra Piccinini, il Presidente del COSPURE Riccarda Nicolini, il Presidente di Reggio Città degli Studi Carlo Baldi, la cui incisiva azione si è fatta

sempre molto sentire, gli Enti pubblici e privati che con lungimiranza e generosità sostengono economicamente l'iniziativa) come pure dall'Ateneo di Bologna nella persona del Rettore Fabio A. Roversi Monaco (qui rappresentato dal Pro-rettore, l'amico e collega Mario Rinaldi) e soprattutto dalla Facoltà di Ingegneria di Bologna nella persona del Preside Enrico Lorenzini, che nei momenti decisivi ha sempre dato forte e fattivo sostegno a questa iniziativa, e dai Colleghi della Commissione di Facoltà e del Comitato operativo per il Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale (Pier Paolo Abbati Marescotti, Enrico Obrecht, Ugo Reggiani, Paolo Toth, Andrea Zanoni, Paolo Tiberio e Ivan Montanari), che per due anni hanno lavorato con me con equilibrio e competenza per giungere insieme al risultato di oggi.

Abbiamo parlato di *flessibilità ed integrazione* come obiettivi della fabbrica del futuro. Non è forse inutile sottolineare come questi due concetti abbiano pieno valore anche in un contesto culturale più ampio. In un periodo come questo di difficoltà politiche, sociali ed economiche, con i problemi da un lato della crisi dell'occupazione e quindi della necessità di riconversione e riqualificazione delle figure professionali, dall'altro dell'insorgere dei nuovi particolarismi ed egoismi, abbiamo più che mai bisogno di persone flessibili, che, rifuggendo da vuoti schemi ideologici, sappiano misurarsi con i problemi reali allargando i propri orizzonti culturali e sappiano integrare, al di fuori di ogni individualismo, le proprie esperienze con quelle degli altri per la costruzione di una società più matura.

Le immatricolazioni al Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale di Reggio Emilia nel primo quinquennio dall'A.A. 1993/94 al 1997/98 sono quelle riportate in Tabella:

Anno accademico	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98
Numero immatricolazioni CdL Ing. Gestionale (RE)	85	137	128	136	157

Nel successivo A.A. 1998/99 il Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale di Reggio Emilia è confluito nella Università di Modena-Reggio Emilia di nuova attivazione.

Il 18 dicembre 2001 si è tenuta a Reggio Emilia la cerimonia di Laurea del centesimo ingegnere gestionale, laureato dal Corso di Laurea attivato nella città nel 1993.

### 2.22.3. Il profilo dell'ingegnere gestionale

Nella primavera del 1993 l'attivazione dei Corsi di Laurea in Ingegneria Gestionale nelle due sedi di Reggio Emilia (attivazione del 1° anno di corso) e di Bologna (attivazione del 3° anno di corso) avviene con l'approvazione da parte del Consiglio di Facoltà di un Documento base che delinea il profilo dell'ingegnere gestionale e del Piano degli Studi (cfr. successivo par. 4).

Il Documento, messo a punto dalla già citata Commissione di Facoltà per il Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale a partire da una prima efficace ed esauriente bozza predisposta dal professor Andrea Zanoni, è riportato integralmente nel seguito di questo paragrafo.

La figura professionale dell'ingegnere gestionale associa alla formazione ed alla cultura tecnologica di base, tipica dell'ingegnere, competenze economiche ed organizzative.

Il bisogno di questa nuova figura professionale emerge chiaramente dal mercato del lavoro che, in modo sempre più pressante, manifesta l'esigenza di competenze mirate a ruoli che applichino e gestiscano la tecnologia in organizzazioni sia industriali che di servizio.

Le funzioni gestionali, che un ingegnere è chiamato a svolgere, riguardano prevalentemente l'innovazione tecnologica, il sistema produttivo e quello logistico-commerciale nelle loro componenti fisiche, informative e organizzative; in organizzazioni di piccola e media dimensione, tipiche del nostro contesto industriale, e in una prospettiva di evoluzione dei percorsi di carriera nell'ambito delle imprese di maggiori dimensioni, tali funzioni si estendono ai problemi dell'impresa nel suo complesso.

L'obiettivo formativo è quindi quello di preparare una figura professionale in grado di gestire sistemi complessi tenendo conto degli aspetti tecnici, organizzativi, economici, finanziari e di mercato. L'ingegnere gestionale deve per tanto essere in grado di interagire con gli specialisti che operano nelle diverse funzioni aziendali con una preparazione che gli consenta un approccio globale e multidisciplinare. In tal senso si cerca di ottenere una figura professionale che sia in grado di affrontare, nelle fasi di valutazione, di pianificazione e di realizzazione, processi di cambiamento e gestione, in cui ha rilevanza fondamentale la componente tecnologica. Il nuovo Corso di Laurea risulta particolarmente coerente con l'evoluzione dello scenario economico e tecnologico che si manifesta a diversi livelli:

- a livello dei cicli produttivi connotati da radicali interventi, sia organizzativi che di processo, tendenti a migliorare le prestazioni sul fronte dei costi, della qualità, dei tempi e della flessibilità;
- a livello dell'impresa, oggi alla ricerca di rinnovate basi di competitività imposte dai processi di internazionalizzazione e dalla comparsa di concorrenti più aggressivi;
- a livello di settori industriali, ove si assiste a rapidi cambiamenti dei confini intersettoriali, delle barriere all'entrata e all'uscita, delle relazioni interimpresa e delle modalità competitive;
- a livello di ambiente, in cui appaiono in modo sempre più incisivo esigenze di contenimento dei costi sociali e di rispetto dell'equilibrio ecologico e dei vincoli di localizzazione, senza dimenticare le problematiche etiche e sociali sollevate da uno sviluppo industriale non correttamente indirizzato.

Nel formulare la proposta di curriculum, che, nell'ambito dei vincoli previsti dalla normativa esistente, comprende 29 insegnamenti obbligatori di cui indicativamente 25 comuni e 4 a scelta, la Facoltà è stata particolarmente attenta ad individuare effettivi sbocchi professionali, in funzione dei quali innestare alcuni insegnamenti specifici per i diversi orientamenti su una base di contenuti comuni a tutto il Corso di Laurea.

Relativamente agli orientamenti, che verranno specificati in una fase successiva, la Facoltà ritiene che il Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale debba essere finalizzato alla preparazione dell'ingegnere che è chiamato a gestire:

- Il sistema industriale, con un profilo professionale focalizzato sul fenomeno produttivo interno all'impresa nei suoi aspetti impiantistici, organizzativi e di assicurazione della qualità.

- Il sistema dei servizi, con un profilo professionale idoneo ad operare in organizzazioni che realizzano servizi per l'impresa con particolare attenzione alle problematiche dell'impatto ambientale e della gestione del territorio e dei trasporti.
- Il sistema delle informazioni, con un profilo professionale focalizzato sui cambiamenti organizzativi connessi all'adozione di nuovi sistemi di automazione e di gestione delle informazioni in ambito sia produttivo sia decisionale.

Con questa iniziativa la Facoltà di Ingegneria di Bologna intende ampliare la propria offerta formativa rispondendo in modo positivo alle nuove esigenze espresse dall'ambiente, in cui opera, con un'attenzione particolare alle necessità degli operatori economico-industriali che, in seguito all'aumentato tasso di sviluppo delle tecnologie e ai processi di unificazione dei mercati in atto, hanno sempre maggiori esigenze di risorse umane capaci di interpretare il cambiamento gestendo in modo corretto il processo innovativo.

#### 2.22.4. Piano degli studi del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale alla prima attivazione – A.A. 1993/94

Il Piano degli Studi, della durata di cinque anni, comprende 29 insegnamenti obbligatori per il conseguimento della laurea, di cui circa 25 comuni e i rimanenti a scelta dello studente a seconda dell'orientamento. Ogni anno è diviso in due cicli (1° ciclo ottobre/gennaio, 2° ciclo marzo/giugno) con corsi a svolgimento di tipo intensivo.

Il Piano degli Studi è sostanzialmente identico per le due iniziative salvo la posizione di alcuni corsi, che risultano scambiati nei due cicli. Esso comprende le annualità comuni a tutti gli orientamenti (divise per anno di corso e ciclo) riportate di seguito per il Corso di Laurea della sede di Reggio Emilia e a seguire per il Corso di Laurea della Sede di Bologna.

Lo studente deve completare il proprio curriculum con discipline tratte dall'ulteriore elenco di *materie a scelta* fra orientamento "industriale produttivo" e orientamento "servizi", di cui almeno 3 devono essere appartenenti allo stesso orientamento. Scelte di discipline diverse, purché coerenti con il profilo dell'ingegnere gestionale, potranno essere accolte nell'ambito della applicazione della Legge n. 910. In sede transitoria le discipline riconosciute come a scelta all'atto del trasferimento si considerano appartenenti all'uno o all'altro degli orientamenti proposti.

##### *Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale – sede di Reggio Emilia*

	<i>I Ciclo</i>	<i>II Ciclo</i>
1° Anno	Analisi matematica I Fondamenti di informatica Chimica	Fisica I Geometria e algebra
2° Anno	Analisi matematica II Fisica II	Elettrotecnica Meccanica razionale Economia politica

3° Anno	Fisica tecnica (1/2 annualità) Scienza delle costruzioni (1/2 ann.) Meccanica applicata alle macchine Sistemi di controllo di gestione (1/2 ann.) + Sistemi organizzativi (1/2 ann.)	Controlli automatici Impianti industriali Ricerca operativa
4° Anno	Finanza aziendale Elettronica applicata <i>oppure</i> Reti di telecomunicazioni Studi di fabbricazione	Costruzione di macchine (1/2 ann.) Gestione dell'energia (1/2 ann.) Macchine Sistemi informativi
5° Anno	Gestione Aziendale Sicurezza e analisi rischio (1/2 ann.) + Analisi di sicurezza nell'industria di processo (1/2 ann.) 1 materia a scelta	Logistica industriale 1 materia a scelta 1 materia a scelta 1 materia a scelta

### *Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale – sede di Bologna*

	<i>I Ciclo</i>	<i>II Ciclo</i>
1° Anno	Analisi matematica I Fondamenti di informatica	Fisica I Geometria e algebra Chimica
2° Anno	Analisi matematica II Fisica II Economia politica	Meccanica razionale Elettrotecnica
3° Anno	Fisica tecnica (1/2 annualità) Scienza delle costruzioni (1/2 ann.) Controlli automatici Sistemi di controllo di gestione (1/2 ann.) + Sistemi organizzativi (1/2 ann.)	Meccanica applicata alle macchine Impianti industriali Ricerca operativa
4° Anno	Finanza aziendale Elettronica applicata <i>oppure</i> Reti di telecomunicazioni Studi di fabbricazione	Costruzione di macchine (1/2 ann.) Gestione dell'energia (1/2 ann.) Macchine Sistemi informativi
5° Anno	Gestione Aziendale Sicurezza e analisi rischio (1/2 ann.) + Analisi di sicurezza nell'industria di processo (1/2 ann.) 1 materia a scelta	Logistica industriale 1 materia a scelta 1 materia a scelta 1 materia a scelta

### **Materie a scelta**

con indicazione del numero del Settore Scientifico-Disciplinare di appartenenza

#### *1 - Orientamento industriale-produttivo*

- A042 Algoritmi di ottimizzazione (2° ciclo)
- I100 Tecnologie generali dei materiali (1° ciclo)
- I110 Gestione degli impianti industriali
- I110 Servizi generali di impianto (2° ciclo)
- I110 Strumentazione industriale (2° ciclo)
- I140 Scienza dei materiali (1° ciclo)
- I161 Valorizzazione delle materie prime (1° ciclo)

I170 Principi di ingegneria elettrica II  
 I180 Energetica elettrica  
 I190 Impianti elettrici (1° ciclo)  
 I200 Affidabilità e controllo della qualità  
 I240 Controllo dei processi (2° ciclo)  
 I240 Automazione industriale (2° ciclo)  
 I270 Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici (2° ciclo)

*2 - Orientamento servizi*

A042 Metodi e modelli per il supporto alle decisioni  
 H040 Tecnica ed economia dei trasporti (1° ciclo)  
 H040 Pianificazione dei trasporti (1° ciclo)  
 H150 Estimo (sem.) (2° ciclo)  
 H143 Tecnica urbanistica II (estensivo)  
 I050 Tecnica del controllo ambientale  
 I152 Principi di ingegneria chimica ambientale (2° ciclo)  
 N140 Istituzioni di diritto pubblico e privato (sem.) (2° ciclo)  
 P013 Politica economica  
 I210 Elettronica applicata (1° ciclo)  
 I230 Reti di telecomunicazioni (1° ciclo)  
 I250 Sistemi informativi II (2° ciclo)  
 I270 Gestione dell'innovazione e dei progetti

Si riporta per completezza e per confronto, nel successivo paragrafo, l'attuale ordinamento didattico del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale presso la Sede di Bologna, articolato secondo lo schema (3+2) in Laurea (triennale) e Laurea Magistrale (biennale) con riferimento al corrente A.A. 2017/18.

Per quanto riguarda invece il Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale di Reggio Emilia, come già ricordato alla fine del par. 2, esso è confluito nella Università di Modena-Reggio Emilia di nuova attivazione a partire dall'A.A. 1998/99.

***Ordinamento didattico dei corsi di studio in Ingegneria gestionale - sede di Bologna - A.A. 2017/18***

*Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale - A.A. 2017/18*

*Profilo della Laurea in Ingegneria Gestionale*

La Laurea in Ingegneria Gestionale forma figure professionali in grado di ricoprire ruoli organizzativi e manageriali per i quali sono richieste competenze di base di natura tecnologica.

L'ingegnere gestionale si distingue per la capacità di integrare competenze tecnologiche ed economico-gestionali, in particolare in settori caratterizzati da elevata intensità tecnologica, dove sia prioritario ottimizzare l'uso delle risorse (fisiche, tecniche, finanziarie e umane), assicurare elevati standard di innovazione e qualità dei prodotti e dei processi, gestire efficacemente l'impatto ambientale delle attività aziendali.



Le funzioni che il laureato in Ingegneria gestionale deve sapere svolgere, dimostrando di possedere competenze distintive rispetto agli altri laureati, riguardano: la gestione delle strutture produttive e logistiche a base tecnologica nelle loro componenti fisiche e organizzative; la gestione dei processi operativi, amministrativi, tecnico-commerciali e i collegati flussi informativi.

Conseguentemente, la Laurea in Ingegneria Gestionale ha l'obiettivo di fornire agli allievi – oltre a una solida preparazione di base fisico-matematica e alle metodologie quantitative per la modellizzazione dei problemi, tipiche della formazione ingegneristica – le basi teoriche e operative relative a:

- gestione aziendale nei principali ambiti funzionali;
- struttura e funzionamento delle diverse tipologie di sistemi produttivi e logistici;
- fondamenti delle tecnologie industriali e degli aspetti economici e organizzativi collegati;
- modellizzazione dei processi aziendali, identificazione e misura delle loro prestazioni, pianificazione e implementazione delle azioni di miglioramento;
- fondamenti delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione a supporto dei processi aziendali.

#### *Primo anno di corso*

Attività formative obbligatorie:

- 28620 Analisi matematica e geometria e algebra t-ab (corso integrato)
- 28622 Analisi matematica t-a (6 cfu-crediti formativi universitari)
- 28570 Geometria e algebra t-a (6 cfu)
- 28538 Economia e organizzazione aziendale t-1 (6 cfu)
- 28626 Fisica generale t-a (6 cfu)
- 26338 Idoneità lingua inglese b-1 (3 cfu)
- 28616 Analisi matematica t-b (6 cfu)
- 28628 Fisica generale t-b (6 cfu)
- 28625 Fondamenti di chimica t-a (6 cfu)
- 28004 Fondamenti di informatica t-1 (9 cfu)

#### *Secondo anno di corso*

1) Attività formative obbligatorie:

- 28633 Elettrotecnica t-a (6 cfu)
- 28639 Fondamenti di ricerca operativa t-a (6 cfu)
- 28629 Gestione aziendale t-ab (12 cfu)
- 28635 Matematica applicata t-a (6 cfu)
- 28630 Controlli automatici t-a (6 cfu)
- 28645 Impianti industriali t-ab (12 cfu)

2) Attività formative a scelta (15 cfu).

Scegliere le attività formative di uno dei due gruppi:

Gruppo A) Tecnologie dell'informazione e della comunicazione (massimo 15 cfu)

- 28651 Elettronica t-a (6 cfu)
- 28653 Telecomunicazioni t-1 (9 cfu)

Gruppo B) Tecnologie industriali (massimo 15 cfu)  
 28664 Gestione dell'energia t-1 (9 cfu)  
 28661 Meccanica applicata alle macchine t-a (6 cfu)

*Terzo anno di corso*

1) Attività formative obbligatorie:

28646 Gestione dei progetti d'innovazione t-1 (9 cfu)  
 28649 Studi di fabbricazione t-1 (9 cfu)  
 28648 Logistica industriale t-ab (12 cfu)  
 17268 prova finale (3 cfu)

2) Attività formative a scelta (9 cfu); scegliere l'attività nel Gruppo A) Tecnologie dell'informazione e della comunicazione o nel Gruppo B) Tecnologie industriali a seconda del gruppo scelto al II anno:

Gruppo A) Tecnologie dell'informazione e della comunicazione (massimo 9 cfu)

28652 Sistemi informativi t-1 (9 cfu)

Gruppo B) Tecnologie industriali (massimo 9 cfu)

28658 Macchine e sistemi energetici t-1 (9 cfu)

3) Altre attività formative (6 cfu); scegliere 6 crediti tra le seguenti attività formative:

37451 Laboratorio di gestione aziendale t (6 cfu)  
 28074 Tirocinio t (6 cfu)  
 28666 Laboratorio di creazione d'impresa t-a (6 cfu)  
 28669 Laboratorio di strumenti di ottimizzazione t-a (6 cfu)

4) Attività formative a scelta libera consigliate (12 - 18 cfu); scegliere almeno 12 crediti tra tutte le attività formative dell'Ateneo. Il Corso di Laurea considera coerenti con il percorso formativo le seguenti:

75475 Affidabilità controllo qualità e certificazione di processo e di prodotto t (9 cfu)  
 81726 Disegno tecnico t (6 cfu)  
 86697 Information literacy - Bologna 1 (3 cfu)  
 28074 Tirocinio t (6 cfu)  
 86715 Diversity management - Bologna (6 cfu)  
 28674 Economia, mercati e settori produttivi t-ab (12 cfu)  
 86669 Seminari di consulenza del lavoro e fiscale - Bologna (3 cfu)  
 86758 Service learning & community engagement lab. - Bologna (3 cfu)

*Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale - A.A. 2017/18*

*Profilo della Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale*

La Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale forma figure professionali in grado di ricoprire ruoli gestionali e direzionali caratterizzati da elevati gradi di responsabilità organizzativa per i quali siano richieste in modo elettivo: una solida preparazione di natura scientifica e tecnologica; conoscenze di livello avanzato delle metodologie e delle tecniche di analisi economica, organizzativa e gestionale; capacità di analisi e modellazione di problemi complessi che coniugano aspetti di natura tecnologica e di valutazione economica, organizzativa e gestionale.

Conseguentemente, la Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale ha l'obiettivo di fornire conoscenze approfondite relativamente a: gestione aziendale nei principali ambiti funzionali; struttura e funzionamento delle diverse tipologie di sistemi avanzati di produzione e logistici; tecnologie industriali e collegati aspetti economici e organizzativi; capacità di promuovere innovazione di prodotto e di processo; capacità di modellizzazione e progettazione dei processi produttivi, logistici, amministrativi, tecnico-commerciali e di identificazione e misura delle loro prestazioni; tecnologie dell'informazione e della comunicazione abilitanti i processi aziendali.

La Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale rappresenta il naturale percorso di specializzazione per i laureati di primo livello in Ingegneria Gestionale, con l'obiettivo di sviluppare capacità di analisi e di soluzione di problemi di maggiore complessità tecnologica e gestionale. Per gli altri laureati di primo livello in Ingegneria, rappresenta l'opportunità di indirizzare il proprio percorso professionale verso aspetti di natura gestionale, partendo da una formazione di base in uno specifico ambito ingegneristico per acquisire una solida preparazione manageriale.

*Primo anno di corso*

Attività formative obbligatorie:

- 34437 Automazione dei processi industriali m (6 cfu)
- 34433 Organizzazione aziendale m (corso integrato)
- 34434 Comportamento organizzativo m (6 cfu)
- 34435 Organizzazione e gestione delle risorse umane m (6 cfu)
- 69655 Servizi generali e sicurezza d'impianto m (9 cfu)
- 34431 Sistemi di produzione avanzati m (9 cfu)
- 33981 Sistemi integrati di lavorazione m (6 cfu)
- 34439 Strategia aziendale m (corso integrato)
- 34442 Economia e gestione dell'innovazione m (6 cfu)
- 34440 Strategia e gestione del sistema del valore m (6 cfu)

*Secondo anno di corso*

1) prova finale (18 cfu). Lo studente può scegliere di svolgere la sola Prova finale (gruppo (a)) oppure la Prova finale e un'attività a scelta tra il Tirocinio in preparazione della prova finale, il Tirocinio in preparazione della prova finale all'estero o la Preparazione della prova finale all'estero (gruppo (b)):

Gruppo (a) (massimo 18 cfu)

17268 Prova finale (18 cfu)

Gruppo (b) (massimo 18 cfu)

81355 Preparazione prova finale all'estero (12 cfu)

70441 Tirocinio in preparazione della prova finale (12 cfu)

81354 Tirocinio in preparazione della prova finale all'estero (12 cfu)

82270 Prova finale (6 cfu)

2) Attività formative a scelta (primo gruppo) (18 cfu); scegliere 18 crediti tra le seguenti attività formative:

37443 Cambiamento organizzativo e progetto dei processi aziendali m (6 cfu)

- 34468 Manutenzione dei sistemi di produzione m (6 cfu)
- 33978 Processi e metodi di fabbricazione per lo sviluppo prodotto m (6 cfu)
- 34474 Progettazione dei processi di produzione industriale m - non attivo per l'anno 2017/2018 (6 cfu)
- 73412 Technology entrepreneurship m (6 cfu)
- 34466 Finanza aziendale e di progetto m (6 cfu)
- 75478 Management control systems m (6 cfu)
- 34469 Marketing industriale m (6 cfu)
- 34470 Metodi per la gestione dei progetti complessi m (6 cfu)

3) Attività formative a scelta (secondo gruppo) (12 cfu); scegliere 12 crediti tra le attività dei due gruppi Gestione delle tecnologie industriali e Gestione dell'ICT – Information and Communication Technology:

3.1) Gestione delle tecnologie industriali (massimo 12 cfu):

le attività formative Ecologia industriale m e Industrial ecology m sono alternative. Le attività formative Valorizzazione delle risorse primarie e secondarie m e Resources and recycling m sono alternative.

- 73414 Algorithms for decision making m (6 cfu)
- 37444 Elettrotecnica dei sistemi energetici m (6 cfu)
- 73356 Resources and recycling m (6 cfu)
- 33948 Valorizzazione delle risorse primarie e secondarie m (6 cfu)
- 34479 Ecologia industriale m (6 cfu)
- 33964 Impatto ambientale dei sistemi energetici m (6 cfu)
- 69996 Industrial ecology m (6 cfu)

3.2) Gestione dell'ICT (massimo 12 cfu):

- 34489 Sistemi e tecnologie dell'elettronica m - non attivo per l'anno 2017/2018 (6 cfu)
- 69499 Business intelligence m (6 cfu)
- 65685 Radio networks m (6 cfu)
- 35192 Resources optimization m (6 cfu)

4) Altre attività formative (6 cfu); scegliere 6 crediti tra le seguenti attività formative

- 26337 Idoneità lingua inglese b-2 (6 cfu)
- 84877 Laboratory of logistics simulation m - non attivo per l'anno 2017/2018 (6 cfu)
- 34496 Tirocinio m (6 cfu)
- 84922 Advanced optimization method laboratory m - non attivo per l'anno 2017/2018 (6 cfu)

5) attività formative a scelta libera consigliate (12 - 18 cfu); scegliere almeno 12 crediti tra tutte le attività formative dell'Ateneo. Il Corso di Laurea Magistrale considera coerenti con il percorso formativo le seguenti:

- 75475 Affidabilità controllo qualità e certificazione di processo e di prodotto t - non attivo per l'anno 2017/2018 (6 cfu)
- 26337 Idoneità lingua inglese b-2 (6 cfu)
- 86697 Information literacy - Bologna 1(3 cfu)
- 73387 Creativity and innovation m - non attivo per l'anno 2017/2018 (3 cfu)
- 28674 Economia, mercati e settori produttivi t-ab (12 cfu)

- 82999 Employability: come presentarsi nel mondo del lavoro (3 cfu)
- 78858 Laboratory of business plan m - non attivo per l'anno 2017/2018 (3 cfu)
- 86669 Seminari di consulenza del lavoro e fiscale - Bologna (3 cfu)
- 86758 Service learning & community engagement lab - Bologna (3 cfu)

### 2.22.5. Risorse di spazi, strutture e docenza per l'attivazione del nuovo Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale - Reggio Emilia - A.A. 1993/94

Nella primavera del 1993 vengono approntate le risorse di spazi, strutture e docenza per l'avvio del 1° anno del nuovo Corso di Laurea presso la sede di Reggio Emilia. Tale approntamento, realizzato in stretta collaborazione con gli Enti della città di Reggio Emilia preposti allo sviluppo della iniziativa, si basa su un importante studio elaborato nella primavera 1992 dai professori Pier Paolo Abbati Marescotti e Ugo Reggiani per conto della Facoltà di Ingegneria di Bologna.

Si riporta nel seguito una breve sintesi di due documenti operativi del 4/2/93 e del 15/11/93, redatti dalla Commissione di Facoltà sulla base del suddetto studio, che contengono l'elenco delle risorse minime necessarie per l'attivazione del biennio 1993/94-1994/95 e del triennio 1995/96-1996/97-1997/98 del Corso di Laurea quinquennale in Ingegneria Gestionale a Reggio Emilia.

#### *Risorse minime necessarie per l'attivazione del biennio 1993/94-1994/95*

1. Spazi per la struttura didattica e scientifica (in mq):

580 (aule) + 500 (lab. didattici) + 570 (uffici) + 500 (servizi generali) = 2150 mq

TOTALE = 2150 + 20% = 2580 mq

2. Costi per l'avvio del biennio (in M£)

2.1. Investimento iniziale per attrezzature didattiche:

480 (laboratorio informatico) + 100 (attrezzature informatiche uffici) +

+ 1000 (materiale bibliografico) = Totale 1580 M£ (milioni di lire)

2.2. Costi annuali di gestione (in M£)

1° anno – A.A. 93/94:

138 (supplenze didattiche) + 360 (retribuzione personale non docente) +

+ 250 (manutenzione/aggiornamento attrezz. informatiche) = Totale 748 M£

2° anno – A.A. 94/95:

276 (supplenze didattiche) + 360 (retribuzione personale non docente) +

+ 250 (manutenzione/aggiornamento attrezz. informatiche) = Totale 886 M£

#### *Risorse minime necessarie per l'attivazione del triennio 95/96 – 96/97 – 97/98*

Tali risorse sono da considerare *aggiuntive* rispetto a quelle sopraelencate per l'attivazione del biennio. La valutazione è stata sviluppata con riferimento alla sede definitiva di viale Antonio Allegri, 15 – 42100, Reggio Emilia.

1. Spazi per la struttura didattica e scientifica (in mq):

1050 (aule) + 970 (uffici) + 2000 (lab. scientifici) + 1700 (servizi gen.li) = 5720 mq

Totale = 5720 + 20% = 6864 mq

2. Costi per l'avvio del triennio (in M€)
- 2.1 Investimento per attrezzature:  
 2700 (N. 2 laboratori scientifici/didattici) + 200 (attrezzature informatiche uffici) =  
 = Totale 2900 M€
- 2.2 Costi annuali di gestione (in M€)
- 3° anno – A.A. 95/96:  
 342 (supplenze didattiche) + 765 (retribuzione personale non docente) +  
 + 250 (manutenzione/aggiornamento attrezz. informatiche) = Totale 1347 M€
- 4° anno – A.A. 96/97:  
 251 (supplenze didattiche) + 1035 (retribuzione personale non docente) +  
 + 250 (manutenzione/aggiornamento attrezz. informatiche) = Totale 1536 M€
- 5° anno – A.A. 97/98:  
 421 (supplenze didattiche) + 1305 (retribuzione personale non docente) +  
 + 250 (manutenzione/aggiornamento attrezz. informatiche) = Totale 1976 M€

### **2.22.6. Sviluppi e attualità sul Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale nelle sedi di Bologna e Reggio Emilia**

Nei cinque anni accademici dal 1993/94 al 1997/98, grazie alle cospicue risorse finanziarie e di spazi messe in campo dagli Enti pubblici e privati di Reggio Emilia e alle risorse di docenza messe a disposizione dal Ministero MURST e dalla Università di Bologna, è stato attivato con successo l'intero quinquennio del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale a Reggio Emilia. Il Corso di Laurea ha avuto un significativo sviluppo: le immatricolazioni dei nuovi studenti sono salite da 85, registrate nel primo A.A. 1993/94, a 157 nel quinto A.A. 1997/98. Come già ricordato nell'A.A. 1998/99 il Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale di Reggio Emilia è confluito nella Università di Modena-Reggio Emilia di nuova attivazione. Negli anni a seguire, nell'ambito della innovazione del "3+2" promossa dal MURST ovvero dell'attivazione di Corsi di Laurea (durata triennale) seguiti da Corsi di Laurea Specialistica (durata biennale) in sostituzione dei precedenti tradizionali Corsi di Laurea di durata quinquennale, la Sede universitaria di Reggio Emilia ha attivato tre Corsi di Laurea (in Ingegneria della Gestione Industriale, in Ingegneria dell'Integrazione d'Impresa (e-business) e in Ingegneria Meccatronica) e due Corsi di Laurea Specialistica (in Ingegneria Gestionale e in Ingegneria Meccatronica). I Corsi di Laurea e i Corsi di Laurea Magistrale (ex-Specialistica) in Ingegneria attivi oggi con l'A.A. 2017/18 presso la Sede di Reggio Emilia sono quelli in Ingegneria Gestionale ed in Ingegneria Meccatronica. In particolare il Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale di Reggio Emilia ha raggiunto circa le 250 immatricolazioni, mentre il corrispondente Corso di Laurea Magistrale si attesta attorno al centinaio di iscrizioni. Per ulteriori e più dettagliate notizie è opportuno consultare i documenti della Università di Modena-Reggio Emilia.

Per quanto riguarda il Corso di Laurea (quinquennale) in Ingegneria Gestionale di Bologna, il numero di immatricolazioni è risultato subito elevato fin dall'attiva-

zione del 1° anno di corso (A.A. 1996/97) e precisamente pari a 143. Nel successivo A.A. 1997/98 tale numero è salito a 170 con un incremento pari al 18,9%. Negli anni a seguire le immatricolazioni sono salite fino a valori oltre le 300 unità e i Corsi di Studio in Ingegneria Gestionale (sia quello triennale sia quello Specialistico/Magistrale) sono diventati i più frequentati dell'intera Facoltà di Ingegneria nei confronti degli altri Corsi di Studio di tipologia equivalente.

La Presidenza dei Corsi di Laurea in Ingegneria Gestionale, dopo quella iniziale tenuta dal professor Pareschi, eletto successivamente Preside della Facoltà di Ingegneria di Bologna nell'anno 1995, è stata tenuta nell'ordine dai professori Andrea Zanoni, Emilio Ferrari, Alessandro Grandi e Alberto Regattieri. I professori Pareschi, Ferrari e Regattieri afferiscono al Settore Scientifico Disciplinare ING-IND/17 Impianti Industriali Meccanici; i professori Zanoni e Grandi al Settore Scientifico Disciplinare ING-IND/35 Ingegneria Economico-Gestionale.

Nel tempo l'offerta didattica dei piani di studio dei due Corsi di Studio (Laurea e Laurea Magistrale) in Ingegneria Gestionale si è arricchita di svariate discipline a scelta di grande interesse per la figura professionale dell'ingegnere gestionale in funzione di diversi orientamenti e obiettivi di professionalizzazione.

Come già riportato al par. 4.1, nel Piano di studio del Corso di Laurea attivo nell'A.A. 2017/18 si ritrovano, fra le altre, le seguenti discipline a scelta: Gestione dei progetti d'innovazione; Affidabilità, controllo qualità e certificazione di processo e di prodotto; Economia, mercati e settori produttivi. Sempre con riferimento al par. 4.1, si osserva che nel Piano di studio del Corso di Laurea Magistrale attivo nell'A.A. 2017/18 si ritrovano, fra le altre, le seguenti discipline a scelta: Automazione dei processi industriali; Organizzazione aziendale articolata nei due moduli didattici Comportamento organizzativo e Organizzazione e gestione delle risorse umane; Sistemi di produzione avanzati; Sistemi integrati di lavorazione; Strategia aziendale articolata nei due moduli didattici Economia e gestione dell'innovazione e Strategia e gestione del sistema del valore; Cambiamento organizzativo e progettazione dei processi aziendali; Manutenzione dei sistemi di produzione; Processi e metodi di fabbricazione per lo sviluppo del prodotto; Management control systems; Marketing industriale; Metodi per la gestione dei progetti complessi; Algorithms for decision making; Elettrotecnica dei sistemi energetici; Resources and recycling; Valorizzazione delle risorse primarie e secondarie; Ecologia industriale; Impatto ambientale dei sistemi energetici; Business intelligence; Radio networks; Resources optimization.

Si riportano nella tabella seguente le immatricolazioni al Corso di Laurea (CdL) in Ingegneria Gestionale e al Corso di Laurea Magistrale (CdLM) in Ingegneria Gestionale dall'A.A. 2012/13 all'A.A. 2017/18 e, per confronto, il numero totale di immatricolazioni negli stessi anni accademici ai Corsi di Laurea e ai Corsi di Laurea Magistrale attivi presso la Sede di Ingegneria di Bologna, con esclusione quindi delle immatricolazioni registrate nei corsi di studio delle Sedi di Ingegneria della Romagna (Forlì, Ravenna, Cesena, Rimini).

<i>Anno accademico</i>	<i>2012/13</i> (*)	<i>2013/14</i> (**)	<i>2014/15</i> (***)	<i>2015/16</i> (°)	<i>2016/17</i> (°°)	<i>2017/18</i> (°°°)
(N) n.ro totale matricole CdL Sede Ing. BO	1592 (10 CdL)	1415 (10 CdL)	1603 (11 CdL)	1626 (11 CdL)	1609 (11 CdL)	1695 (11 CdL)
(N <sub>c</sub> ) n.ro matricole nel CdL Gestionale Sede Ing. BO	318	190	280	275	269	264
100·(N <sub>c</sub> ) /N (%)	20 (%)	13,4 (%)	17,5 (%)	16,9 %	16,7 %	15,6 (%)
(N') n.ro totale iscritti nei CdLM Sede Ing. BO	831 (11 CdLM)	893 (11 CdLM)	1076 (12 CdLM)	1102 (12 CdLM)	1117 (13 CdLM)	1075 (14 CdLM)
(N' <sub>c</sub> ) n.ro iscritti CdLM Gestionale Sede Ing. BO	221	144	222	177	147	204
100·(N' <sub>c</sub> ) /N' (%)	26,6 (%)	16,1 (%)	20,6 (%)	16,1 (%)	13,2 (%)	19 (%)

(\*) *alla data del 31/12/2012; (\*\*) alla data 31/12/2013; (\*\*\*) alla data 31/12/2014.*

(°) *alla data del 31/12/2015; (°°) alla data 31/12/2016; (°°°) alla data 1/12/2017.*

Come si vede dalle note a piè di tabella, i dati relativi all'A.A. 2017/18 non sono definitivi perché aggiornati solo all'1/12/2017 (a causa dei trasferimenti da/per altri Corsi di Studio), mentre gli altri dati sono aggiornati al 31/12 di ciascun anno di riferimento. Dalla tabella è possibile notare che il numero di Corsi di Laurea della Scuola di Ingegneria attivi nella Sede di Bologna è aumentato da 10 a 11 con l'attivazione del Corso di Laurea in Design del Prodotto Industriale nell'A.A. 2014/15, e che il numero di Corsi di Laurea Magistrale della Scuola di Ingegneria attivi sempre nella Sede di Bologna è aumentato da 11 a 14 con l'attivazione dei Corsi di Laurea Magistrale in Civil Engineering nell'A.A. 2014/15, in Advanced Design nell'A.A. 2016/17 e in Advanced Automotive Electronic Engineering nell'A.A. 2017/18, mentre i due Corsi di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Automazione e in Ingegneria delle Telecomunicazioni hanno assunto le denominazioni "Automation Engineering/Ingegneria dell'Automazione" e "Telecommunications Engineering".

Dopo la prima introduzione del numero programmato nell'A.A. 2013/14, che ha prodotto una contrazione del numero delle immatricolazioni al Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale, queste sono risalite negli anni più recenti saturando sempre all'incirca il nuovo valore del numero programmato elevato a 283, confermando il Corso di Laurea stesso come quello più richiesto dagli studenti e il più frequentato dell'intera Scuola di Ingegneria. Come si può vedere dalla tabella, il calo delle immatricolazioni al Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale, registrato nell'A.A. 2013/14 a seguito della prima introduzione del numero programmato, si è fatto sentire nelle iscrizioni (pari a 147) al Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale esattamente tre anni più tardi, ovvero nell'A.A. 2016/17 quando le matricole, entrate nel Corso di Laurea nell'A.A. 2013/14, sono approdate al successivo Corso di Laurea Magistrale. In sintesi si può affermare che a regime le iscrizioni annuali al Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale risultano di poco inferiori a 300 e quelle al Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale risultano dell'ordine di 200.



Anche il numero dei laureati nei Corsi di Studio (Laurea e Laurea Magistrale) in Ingegneria Gestionale risulta il più elevato fra quelli di tutti gli altri Corsi di Studio della Scuola di Ingegneria di Bologna.

Così pure il numero dei laureati in Ingegneria Gestionale, che hanno trovato lavoro entro un anno dalla laurea, è superiore a quello dei corrispondenti laureati di ognuno degli altri Corsi di Studio della Scuola di Ingegneria di Bologna, con riferimento allo stesso periodo post-laurea.

Quanto riportato relativamente alla Scuola di Ingegneria di Bologna si può ripetere con poche e trascurabili varianti anche per le altre sedi universitarie italiane che in questi ultimi 25÷30 anni hanno promosso l'attivazione dei Corsi di Studio (Laurea e/o Laurea Magistrale) in Ingegneria Gestionale.

Questo è motivo di grande soddisfazione in tutti coloro che, attenti alla sviluppo del mondo produttivo di beni e servizi, dell'industria e del terziario, hanno promosso per tempo la figura dell'ingegnere gestionale connotandola di contenuti disciplinari tecnici, economici e organizzativi in grado di consentire al laureato di affrontare e risolvere i complessi problemi dei sistemi produttivi odierni, dell'innovazione di prodotto e di processo e del mercato attuale in rapido mutamento.

Del resto fin dai primi anni Duemila, quando erano già apparsi nel mercato del lavoro i primi ingegneri gestionali, la Fondazione Agnelli aveva sottolineato in un proprio studio come gli ingegneri gestionali fossero i laureati più richiesti dal mondo produttivo. Si tratta più precisamente del Programma di orientamento all'università e al mercato del lavoro denominato "Il filo di Arianna", promosso dalla Fondazione Giovanni Agnelli e rivolto agli studenti delle scuole medie superiori e alle loro famiglie, di cui riferisce il quotidiano "Il Sole 24 ore" del 7 ottobre 2000 con un articolo di Andrea Casalegno. In tale Programma è riportata una classifica redatta sulla base dell'ultima indagine ISTAT di quel periodo sugli sbocchi professionali dei laureati. In tale classifica (cfr. successiva Tabella) il Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale è in prima posizione come prospettive di lavoro con voto 9,4 su voto massimo 10. Seguono i Corsi di Laurea in Scienze dell'Informatica (voto 9,2), Ingegneria Elettronica (voto 8,4), Economia Aziendale (voto 8,3), Odontoiatria (voto 7,9), Ingegneria Meccanica (voto 7,9), Ingegneria Civile (voto 7,5), Ingegneria Aeronautica (voto 7,5), Ingegneria Chimica (voto 7,4), Farmacia (voto 7,4), Ingegneria Elettrotecnica (voto 7,2), Architettura (voto 7,0). A seguire, ad esempio, si trovano: in 15<sup>a</sup> posizione Matematica (voto 6,2), in 20<sup>a</sup> posizione Scienze politiche (voto 5,6), in 26<sup>a</sup> posizione Fisica (voto 4,9), in 27<sup>a</sup> posizione Filosofia (voto 4,7), in 29<sup>a</sup> posizione Giurisprudenza (voto 4,4), in 30<sup>a</sup> posizione Lettere (voto 4,3), in 35<sup>a</sup> posizione Storia (voto 2,3), in 37<sup>a</sup> ed ultima posizione Scienze dell'Amministrazione (voto 1,8). La classifica completa è riportata nella citata Tabella, di cui alla successiva ed ultima pagina.

Questa valutazione e previsione, eseguita oltre 15 anni fa, per quanto riguarda il Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale ha trovato pieno riscontro negli anni a seguire fino ad oggi.

<i>Corsi</i>	<i>Prospettive di lavoro</i>	<i>Corsi</i>	<i>Prospettive di lavoro</i>		
1	Ingegneria gestionale	9,4	20	Scienze politiche	5,6
2	Scienze dell'informazione	9,2	21	Lingue e letterature straniere	5,4
3	Ingegneria elettronica	8,4	22	Chimica e facoltà farmaceutiche	5,3
4	Economia aziendale	8,3	23	Chimica	5,3
5	Odontoiatria	7,9	24	Scienze geologiche	5,1
6	Ingegneria meccanica	7,9	25	Sociologia	5,1
7	Ingegneria civile	7,5	26	Fisica	4,9
8	Ingegneria aeronautica	7,5	27	Filosofia	4,7
9	Ingegneria chimica	7,4	28	DAMS	4,7
10	Farmacia	7,4	29	Giurisprudenza	4,4
11	Ingegneria elettrotecnica	7,2	30	Lettere	4,3
12	Architettura	7,0	31	Scienze naturali	4,3
13	Chimica industriale	6,8	32	Pedagogia e scienze dell'educazione	4,1
14	Economia e commercio	6,6	33	Psicologia	4,0
15	Matematica	6,2	34	Medicina e chirurgia	3,0
16	Medicina veterinaria	6,2	35	Storia	2,3
17	Scienze agrarie	6,2	36	Scienze biologiche	1,9
18	Scienze statistiche	6,1	37	Scienze dell'amministrazione	1,8
19	Scienze economiche e bancarie	5,9			

(\*) *voto max = 10*

## 2.23. IL CORSO DI TEORIA DEI SISTEMI A BOLOGNA

*Roberto Guidorzi*

### 2.23.1. I modelli nella scienza e nella tecnologia

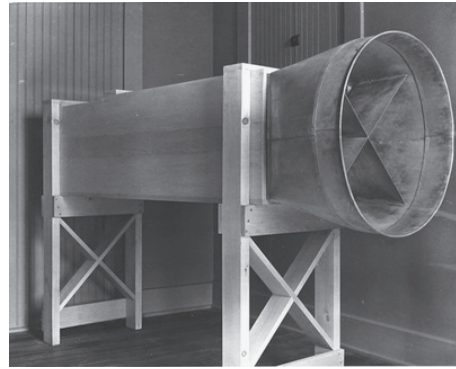
Non è quasi mai agevole descrivere le origini e l'evoluzione di una disciplina specifica, origini che spesso derivano dalla evoluzione di idee preesistenti soggette, non di rado, ad evoluzioni parallele poi confluite in un corpo di conoscenze meglio definito. L'affermazione precedente è particolarmente applicabile alla Teoria dei Sistemi, sia per i diversi significati e contenuti attribuiti a questa disciplina, magari meglio specificati da locuzioni più estese quali, ad esempio, Teoria dei Sistemi Naturali, Teoria dei Sistemi Economici, Teoria dei Sistemi Biologici e così via. Cercherò quindi, nel seguito, di fare prevalentemente riferimento agli aspetti unificanti presenti nelle diverse espressioni di tale disciplina ed in particolare a quella "configurazione" che ha portato ai corsi universitari che hanno assunto tale nome nelle università italiane e, in particolare, a Bologna.

Anche introducendo questa limitazione, il percorso che è possibile considerare non è breve e potrebbe partire dalla introduzione e dall'uso dei modelli nella scienza e nella tecnologia. L'introduzione di modelli fa parte di quella capacità di astrazione che ben individua la mente umana e che potrebbe anche venire considerata come elemento ben più caratterizzante della capacità di costruire ed utilizzare strumenti fisici talvolta proposta al riguardo. Il termine modello risale al vocabolo latino *modus* (o alla sua variazione medioevale *modulus*) entrambi con il significato di misura e questo ci consente di ricordare come, perlomeno nell'ambito dell'ingegneria, l'introduzione dei modelli sia legata alla necessità concettuale e pratica di quantizzare i vari aspetti del mondo fisico e dei fenomeni naturali introducendo, appunto, misure. L'evoluzione dei modelli è stata descritta con grande lucidità da Antonio Lepschy e parte dalla considerazione che i primi modelli noti in epoca storica consistono in riproduzioni, in genere in scala ridotta, o di realtà fisiche esistenti oppure di oggetti che si intendeva realizzare. È interessante osservare come tale uso sia tuttora ben presente usando spesso il termine *modellino* per sottolineare la scala ridotta utilizzata.

Una evoluzione molto significativa riguarda l'uso di modelli che, pur riproducendo l'aspetto fisico di strutture da studiare, vengono utilizzati per analizzare il comportamento di tali strutture prima della loro realizzazione oppure in condizioni operative non realizzabili su sistemi reali per motivi di sicurezza o di costo. È interessante osservare come sia possibile riprodurre, in questo modo, fenomeni molto complessi anche in assenza di una conoscenza accurata delle leggi che li governano. Sono ben note le applicazioni di tale tipo, ancora attuali, per studiare la

resistenza all'avanzamento della carena di un natante, di un autoveicolo o di un aeromobile. L'uso di modelli di questo tipo richiede, ovviamente, che le condizioni operative riproducano quelle reali operando una opportuna messa in scala delle variabili in gioco.

Un ulteriore progresso nella utilizzazione di modelli fisici deriva dalla osservazione che sistemi di natura fisica diversa possono essere governati da leggi formalmente identiche. L'esempio più significativo è dato dai calcolatori analogici utilizzati negli anni Sessanta del secolo scorso; tali dispositivi erano costituiti da



*Figura 1. La piccola galleria del vento realizzata dai fratelli Wright nel 1901 per studiare il comportamento aerodinamico di profili alari diversi.*

un insieme di reti elettriche e di amplificatori operazionali che, mediante opportune connessioni (programmazione) potevano riprodurre il modo di operare di sistemi di diversa natura (meccanica, idraulica, economica, biologica, ecc.) sui quali sarebbe stato molto più complesso ed oneroso operare. I modelli di questa categoria potrebbero venire definiti come analogici ma, ad evitare confusioni con l'uso corrente di questo termine (usato per indicare quantità la cui misura non è soggetta a quantizzazioni) è più opportuno definirli come modelli basati sulle leggi dell'analogia.

Si può osservare come questi modelli offrano una flessibilità maggiore rispetto ai precedenti dove l'unico grado di libertà è il fattore di scala; qui invece anche la natura fisica del modello può venire scelta. Va però osservato che l'uso di modelli basati sulle leggi dell'analogia richiede la conoscenza delle leggi che descrivono il comportamento del sistema da studiare dato che è necessario selezionare, costruire o configurare un secondo sistema governato dalle stesse leggi e studiare il suo comportamento a partire da opportune condizioni iniziali.

L'ultimo passo nella evoluzione dei modelli riguarda lo sviluppo di modelli astratti cioè matematici in grado di descrivere i legami stabiliti da un sistema tra i suoi attributi misurabili. L'importanza del ruolo svolto attualmente dai modelli matematici nella scienza e nella tecnologia è legata in maniera rilevante alla disponibilità di elaboratori digitali che ne consentono una utilizzazione molto efficace e non possibile in precedenza.

Vista su una scala temporale, l'evoluzione appena delineata si accorda molto bene con la visione di Arnold Toynbee che interpreta lo sviluppo delle civiltà non in termini di estensione del potere su più popoli o sull'ambiente naturale ma in termini di *smaterializzazione*. Questo concetto riguarda, in estrema sintesi, uno spostamento dell'enfasi a livelli concettuali ed operativi sempre meno legati alla materia [1]. Un esempio potrebbe riguardare i supporti usati per memorizzare e trasferire le informazioni che sono passati dalla pietra alla pergamena, alla carta, ai supporti magnetici ed a quelli ottici.

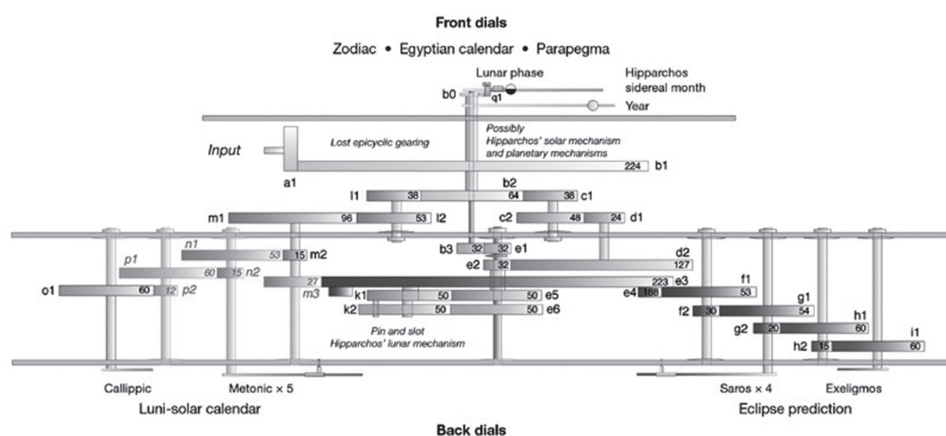


Figura 2. Struttura interna della Macchina di Anticitera (altre parti sono andate perdute).

Va tuttavia osservato che, nonostante la grande rilevanza pratica dei modelli matematici sia relativamente recente, le loro origini, nell'ambito della civiltà occidentale, risalgono perlomeno ad Aristotele che ha sottolineato l'importanza delle relazioni numeriche e geometriche nell'ambito scientifico indicando anche la meccanica, l'astronomia, l'ottica e la musica come settori di particolare rilevanza per la loro utilizzazione. Va anche osservato come l'uso di modelli matematici sofisticati abbia trovato, già in epoca ellenistica, applicazioni straordinarie. Il ritrovamento, nel 1900, nel relitto di una nave da trasporto romana, della cosiddetta *Macchina di Anticitera*, il cui studio ha richiesto molti decenni, ha dimostrato che si trattava di un vero e proprio calcolatore meccanico in grado di determinare la posizione del sole, della luna e dei cinque pianeti allora noti con una precisione di una parte su 86.000. Se consideriamo che il valore di una costante può venire immesso, in un calcolatore meccanico, solo come numero razionale (rapporto tra il numero di denti di due ingranaggi) e che il modello implementato nella Macchina di Anticitera tiene conto anche della ellitticità dell'orbita della luna e delle conseguenti variazioni di velocità nel suo moto, possiamo farci un'idea dello sviluppo della scienza e della tecnologia in quell'epoca.

Un particolare curioso: l'esistenza di questa macchina, completamente dimenticata, e persino il suo costruttore sono riportati con molta chiarezza in una delle lettere di Cicerone. Sorprendente anche trovare all'interno di questo dispositivo un meccanismo differenziale che, in precedenza, si riteneva inventato nel XIII secolo.

Questa breve panoramica sull'uso dei modelli nella scienza e nella tecnologia ha menzionato solo in parte i motivi che inducono ad utilizzare queste rappresentazioni della realtà. Vediamo allora quali finalità possono indurre alla costruzione di modelli ed anche condizionare, date le inevitabili approssimazioni presenti, la loro struttura.

Una prima motivazione può riguardare il desiderio di razionalizzare la descrizione del comportamento dei processi osservati cioè di sostituire insiemi rilevanti di osservazioni con la descrizione sintetica delle leggi che legano tali osservazioni. Modelli

interpretativi dunque, come quelli sviluppati da Tolomeo, Copernico, Keplero, Galileo, Newton e Halley.

Una seconda importante motivazione riguarda il loro uso per fini predittivi. Tale finalità era primaria (per la predizione delle eclissi) già durante il primo impero babilonese e costituisce tuttora una motivazione fondamentale in moltissimi settori. Naturalmente un modello costruito con finalità interpretative può poi venire usato anche per fini predittivi come è avvenuto con il caso, molto noto, della predizione del passaggio della cometa di Halley del 1758 mediante il modello interpretativo costruito da Halley in base alle osservazioni del 1531, 1607 e 1682.

### 2.23.2. I modelli astratti e la nascita della Teoria dei Sistemi

La rivoluzione industriale portò poi alla necessità di controllare le macchine allora sviluppate ed integrate nei vari processi produttivi, in particolare per quanto riguardava i problemi di stabilità. Nasceva così il primo embrione della disciplina dei Controlli Automatici, anch'essa basata sull'uso di modelli. Tale settore doveva poi ricevere un impulso senza precedenti durante la Seconda guerra mondiale per l'esigenza di progettare ed implementare sistemi di controllo sofisticati sugli aerei (auto-pilota, sistemi di puntamento ecc.) e sulle prime armi teleguidate. Durante questo periodo che potremmo, convenzionalmente, considerare concluso al termine degli anni Cinquanta, i modelli utilizzati erano essenzialmente basati sull'uso di variabili complesse e della Trasformata di Laplace, strumento di grande rilevanza concettuale e pratica per determinare la risposta di un sistema a varie classi di ingressi, valutarne la stabilità anche in configurazioni di retroazione e calcolarne la risposta frequenziale.

Il primo elaboratore numerico prodotto in serie, l'IBM 650, annunciato nel 1953, ebbe una diffusione relativamente limitata ed era, comunque, dotato di una capacità di elaborazione troppo limitata per affrontare problemi con un minimo di complessità. Ma mancava, soprattutto, una classe di modelli matematici che consentisse di trarre vantaggio dall'uso degli elaboratori digitali, poco idonei ad operare sui modelli simbolici allora utilizzati nell'ambito dei controlli.

Nonostante l'orizzonte fosse ancora incerto, va sottolineata l'intensa e rigorosa attività di ricerca, presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, del professor Giuseppe Evangelisti, professore di Costruzioni Idrauliche dal 1938, i cui studi sul controllo delle turbine idrauliche [2] dovevano assicurargli una posizione di grande rilievo a livello internazionale, unico degli italiani, chiamato a far parte del piccolo gruppo che nel 1956 fondò la *International Federation of Automatic Control*. Giuseppe Evangelisti promosse la creazione, nel 1950, di una Sala Calcoli che venne dotata, utilizzando fondi ERP, di un calcolatore analogico Philbrick e, successivamente, di un Bendix D-12. Nel 1957 venne poi creato il Centro Calcoli e Servomeccanismi che Evangelisti diresse fino al 1969 tenendo anche, per incarico, il corso di Controlli Automatici.

Il professor Evangelisti aveva ben presente il ruolo che avrebbero giocato gli elaboratori nell'ambito dell'automazione e, presso il Centro Calcoli e Servomeccanismi,

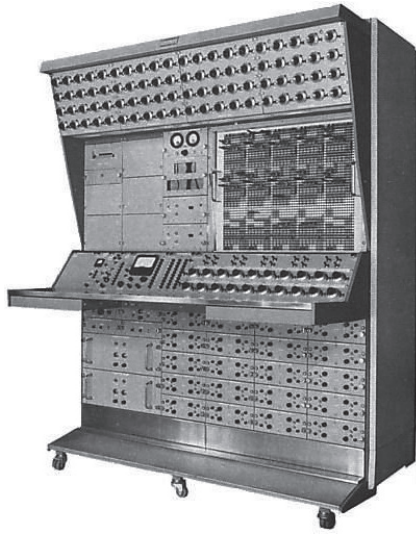


Figura 3. La calcolatrice analogica PACE 231R installata presso il Centro Calcoli e Servomeccanismi.

venne installato un elaboratore IBM 650, una calcolatrice analogica Pace 231R e, infine, un elaboratore IBM 1620. Tra i collaboratori di Giuseppe Evangelisti va ricordato Giovanni Marro che doveva, successivamente, subentrare nell'insegnamento di Controlli Automatici.

Gli anni Sessanta furono un periodo di grande fermento culturale e tecnologico, in particolare nel settore dell'automazione. Infatti, la disponibilità di elaboratori come l'IBM 1620, dotato di un linguaggio di programmazione rapidamente diventato lo standard del calcolo scientifico in quel periodo (il Fortran) consentiva di abbandonare, nella soluzione di vari problemi, quelle rappresentazioni simboliche che avevano svolto un ruolo insostituibile nei decenni precedenti e di risolvere direttamente, per

via numerica, le equazioni differenziali o alle differenze in grado di descrivere i sistemi dinamici nel dominio dei tempi. È il periodo nel quale vengono introdotte ed analizzate a fondo le *rappresentazioni nello spazio degli stati* che associano ad ogni sistema uno stato (informazione minima per potere determinare l'evoluzione di un sistema pilotato da un ingresso noto) costituito da un elemento di uno spazio vettoriale. L'uso dei modelli nello spazio degli stati consentiva di utilizzare direttamente, nella soluzione dei problemi di analisi e di sintesi, la potenza degli strumenti dell'algebra e consentiva anche di introdurre nuovi concetti (controllabilità, osservabilità, stabilità interna). Sono, a tale riguardo, fondamentali i contributi del professor Rudolf Kalman i cui lavori [3] e [4] sono considerati come le pietre angolari di una nuova disciplina, la Teoria dei Sistemi o, volendo essere più precisi, la Teoria dei Sistemi Dinamici.

I modelli nello spazio degli stati consentivano di analizzare a fondo ciò che avviene all'interno di un sistema, cosa non possibile con i precedenti modelli di ingresso-uscita ed anche di formulare il problema della realizzazione (costruzione di un modello nello spazio degli stati a partire da un insieme di misure di ingresso-uscita prive di errori) e della identificazione (deduzione di un modello da misure affette da errori). Si aprivano così nuove prospettive di grande interesse applicativo dove il ruolo centrale era giocato dalla riformulazione del problema del filtraggio operata dal professor Kalman nei due famosi lavori [5] e [6] che definivano l'algoritmo poi chiamato *Kalman filtering*, spesso ricordato per la sua utilizzazione nel sistema di guida del vettore Saturno V che doveva portare il primo uomo sulla luna. In realtà la semplicità, robustezza e flessibilità del Filtro di Kalman dovevano renderlo l'algoritmo di maggior impatto nei settori più disparati.

Prima di ritornare alla Facoltà di Ingegneria degli inizi degli anni Settanta e al corso di Teoria dei Sistemi, è forse opportuno ricordare come la allora giovane Teoria dei Sistemi, nata nel contesto della Teoria del Controllo, rappresentasse una disciplina di portata molto più vasta rispetto agli obiettivi che ne avevano determinato la nascita. Va infatti notato come *ogni* aspetto della realtà che ci circonda sia costituito da sistemi dinamici e, per di più, molti sistemi di natura fisica anche molto diversa, sono descritti da modelli appartenenti alle stesse classi. Questo rende metodologie come, ad esempio, l'identificazione o il *Kalman filtering* applicabili con profitto nei settori più diversi, dalla Ecologia alla Economia, dalla Meccanica alla Biologia. Questa trasversalità di una disciplina pur nata in un contesto specifico ma che prescinde nel modo più completo dalla natura fisica dei sistemi sui quali si opera, suggerirebbe, forse, il suo trasferimento formale all'area della Matematica o, comunque, una sua introduzione trasversale nei piani di studio.

### 2.23.3. Il corso di Teoria dei Sistemi alla Facoltà di Ingegneria di Bologna

Torniamo ora alla Facoltà di Ingegneria dove il corso di Teoria dei Sistemi viene introdotto e affidato al professor Giovanni Marro nell'anno accademico 1972/73.

La Teoria dei Sistemi aveva già, in quegli anni, una struttura definita e lo stesso può venire ripetuto per i corsi tenuti nelle diverse università Europee ed Americane, ma il corso tenuto a Bologna, basato sul testo *Elementi di Teoria dei Sistemi* [7] dello stesso professor Marro, presentava elementi innovativi che dovevano rivelarsi di grande efficacia didattica.

La prima scelta che differenzia l'impostazione data dal professor Marro da quella di altri corsi riguarda l'inclusione della trattazione dei sistemi a stati finiti. Una scelta davvero coraggiosa e, apparentemente, inutile dato che tali sistemi venivano trattati nel corso di Reti Logiche. Ma l'illustrazione di concetti fondamentali su tale semplice classe di sistemi dove gli stati ammissibili appartengono ad un insieme e non ad uno spazio vettoriale, provocava negli allievi un *imprinting* che li avrebbe poi guidati con molta chiarezza alla comprensione delle successive classi di sistemi a stato vettore. Altro aspetto più che notevole del testo adottato, la transizione *naturale* dai sistemi non lineari a quelli lineari e dai sistemi a tempo continuo a quelli a tempo discreto. Una impostazione davvero efficace che, tuttora, non si vede come potrebbe venire migliorata.

Quello che mi colpì maggiormente, quando subentrai al professor Marro nel tenere questo corso, fu la facile comprensione, da parte degli allievi della trasversalità della materia e della possibilità di utilizzare le metodologie che apprendevano nei contesti più diversi.

Fu in questo periodo, nel quale il nostro Ateneo celebrava i suoi 900 anni di storia, che proposi il conferimento della laurea *honoris causa* in Ingegneria Elettronica al professor Kalman con il quale si era da tempo instaurata una collaborazione sul piano della ricerca.



#### 2.23.4. Gli strumenti offerti dalla Teoria dei Sistemi: l'identificazione dei modelli

Spenderò ancora qualche parola per descrivere, sinteticamente, un corso strettamente legato a Teoria dei Sistemi (avrebbe potuto essere una sezione di questo corso), quello di Identificazione dei Sistemi Dinamici e Analisi dei Dati, avviato nel 1998.

La Teoria dei Sistemi prescinde completamente, come si è detto, dalla natura fisica dei sistemi sui quali si opera; per un ingegnere, invece, questa scelta è fondamentale come è fondamentale costruire modelli matematici per potere applicare le metodologie sistemistiche. Per raggiungere tale obiettivo esistono due metodologie principali, la modellistica e l'identificazione. La modellistica, di origini remote, richiede la conoscenza della struttura del sistema da modellare e delle leggi fisiche che governano le sue parti; riunendo queste informazioni si ottiene il modello globale del sistema. Un vantaggio di questo approccio è dato dalla aderenza del modello alla struttura fisica del sistema, lo svantaggio principale consiste nell'insieme di informazioni necessarie per costruire il modello. Quando tali informazioni non sono disponibili, l'approccio della identificazione consente di ottenere il modello di un sistema reale sulla sola base di misure effettuate sul sistema stesso. Va osservato come sia previsto che tali misure siano affette da errori. Nelle università più legate alle applicazioni pratiche, come il Politecnico di Milano, il corso di Identificazione fa parte del curriculum della maggior parte dei percorsi. A Bologna, venne sviluppato anche un insieme di laboratori didattici virtuali ai quali gli allievi potevano accedere via rete per effettuare esperimenti di identificazione utilizzando set di dati di processi reali accessibili nell'ambito di tali laboratori. Fu un compito molto impegnativo sia sul lato della programmazione (i laboratori erano *platform-independent* e tutte le elaborazioni venivano effettuate sul server) che su quello organizzativo (gestione dei server, degli accessi ecc.) ma non credo ne sia rimasto molto.

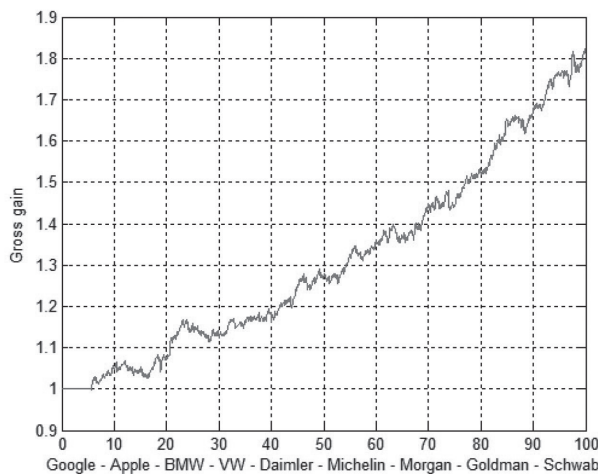


Figura 4. Il professor Rudolf Emil Kalman riceve, l'8 settembre 1988, la laurea honoris causa in Ingegneria Elettronica dalle mani del Magnifico Rettore professor Fabio Alberto Roversi-Monaco.

Prima di concludere questa breve digressione sulla identificazione dei sistemi, racconterò un evento divertente. Per sottolineare la applicabilità delle metodologie di identificazione a processi di ogni tipo, tutte le esercitazioni erano svolte su dati reali e gli allievi venivano invitati ad operare anche su dati proposti da loro. Fu così che un allievo che aveva in mente una applicazione specifica (identificazione di modelli per la previsione del valore delle azioni) fece molte domande al riguardo e, per dimostrare come ciò fosse fattibile, perlomeno a breve termine, lo invitai a procurarsi un set di dati, con intervallo di campionamento breve (1 minuto), relativi ad una decina di so-

cietà quotate al NYSE, per un periodo dell'ordine di un centinaio di giorni. Promisi poi che, avremmo cercato di rispondere, durante una esercitazione, alla ricorrente domanda (tuttora senza risposta, perlomeno in letteratura) sulla possibilità o meno di realizzare utili significativi mediante operazioni di *scalping* come vengono definite in gergo le modalità operative che prevedono un numero molto elevato di acquisti e vendite durante la giornata anche a distanze di tempo molto brevi. Ovviamente misi bene in chiaro che quello che ci interessava era il fenomeno studiato, prescindendo nella maniera più completa da ogni uso a fini speculativi quindi non avremmo messo in gioco gli oneri dovuti a broker ed altri enti per ogni operazione. Avevo indicato il NYSE per la disponibilità in rete dei dati e per gli elevati volumi degli scambi giornalieri su ogni azione che consentono ad ogni operazione di acquisto o vendita di essere conclusa nell'ambito di pochi millisecondi. Mi vennero portati due set di dati; decidemmo di utilizzare quello riguardante le azioni di Google, Apple, BMW, VW, Daimler, Michelin, J.P. Morgan, Goldman Sachs e Schwab. Le sequenze erano relative ad un paio di centinaia di giorni ma usammo solamente i dati relativi ai primi 100 giorni. La procedura determinava, ogni 15 minuti, la previsione successiva e decideva quale azione acquistare, tra le 9 possibili, non in base all'entità dell'aumento previsto ma dell'affidabilità delle ultime 100 previsioni. Senza annoiare l'eventuale lettore con aspetti tecnici, riporterò il grafico relativo all'incremento di valore di un ipotetico investimento nei 100 giorni lavorativi considerati (Fig. 5), a partire dal 18/5/2012.

Le operazioni di acquisto e vendita effettuate furono 2447 ed il tempo medio tra un acquisto ed una vendita risultò di 2'42" (era prevista la possibilità di rivendere anche prima dei 15' in base all'andamento del valore di mercato della azione acquistata). Si noti come i dati relativi ai primi 5 giorni siano stati utilizzati per inizializzare la procedura quindi i giorni reali sono 95. Cercammo poi di penalizzare la procedura introducendo ritardi di 1' e 2' nella esecuzione delle operazioni ma il calo non fu troppo significativo. Il guadagno, dell'ordine dell'80%, è straordinario ma non si dimentichi che l'obiettivo era solo di studiare la possibilità di modellare questo



*Figura 5. Incremento del capitale iniziale operando lo scalping su un ventaglio di 9 azioni quotate al NYSE mediante modelli predittivi identificati.*

processo e, conseguentemente, non erano stati inseriti gli oneri associati alle operazioni di acquisto e vendita, per la verità non elevati ma da moltiplicare per l'elevato numero di operazioni effettuate giornalmente. Questa esercitazione mi consentì di evidenziare come l'uso delle metodologie di modellazione puramente matematiche offerte dalla Teoria dei Sistemi consentisse di ottenere modelli predittivi utilizzabili anche per fenomeni non governati da alcuna legge di natura.

La controprova effettuata con il secondo set di dati fornì risultati molto simili. È interessante osservare come si rilevasse una previsione corretta (incremento o decremento di valore) tipicamente due volte su tre.

Dovetti poi smorzare con decisione il desiderio di un paio di allievi di utilizzare nel mondo reale questi strumenti ricordando che le variazioni di valore su intervalli così brevi sono minime e che, di conseguenza, a meno di non investire capitali molto rilevanti, il costo delle operazioni avrebbe, in pratica, assorbito ogni utile. Non fu però così semplice smorzare gli entusiasmi e mi ripromisi di essere più cauto, in futuro, nell'accondiscendere alle richieste degli allievi.

### 2.23.5. Alcune note conclusive

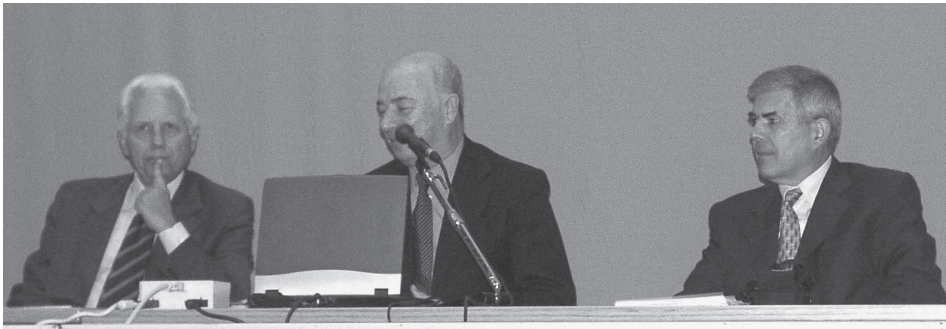
Concluderò queste note ricordando come la collaborazione con il professor Kalman sia stata intensa fino alla sua scomparsa. È a questa collaborazione ed alle permanenze presso il Center for Mathematical System Theory all'Università della Florida in Gainesville e all'ETH di Zurigo che è iniziato, a Bologna, già negli anni Ottanta, un filone di ricerca sulle metodologie di identificazione EIV (*Errors in Variables*) che ha poi portato a nuovi risultati, in particolare sullo *Schema di Frisch*, di notevole rilievo. Nel 2002, durante una conversazione con il Rettore, professor Pier Ugo Calzolari, ci si chiese come Bologna avrebbe potuto ringraziare il professor Kalman per i legami con il nostro Ateneo; fu così che, avendo il professor Kalman già ricevuto la laurea *honoris causa*, diventò l'unico scienziato ad avere ricevuto da Bologna anche il *Sigillum Magnum*.

Il quadro relativo alla nascita del corso di Teoria dei Sistemi alla Facoltà di Ingegneria di Bologna e dei contributi dati a tale disciplina dai ricercatori bolognesi deve poi considerare quel filone della Teoria dei Sistemi, poi denominato *Approccio Geometrico*, creato dai professori Giovanni Marro, Giuseppe Basile e, inizialmente, Roberto Laschi. È noto come lo sviluppo della geometria nell'antica Grecia e nel periodo ellenistico sia stato favorito dalla disponibilità di supporti fisici idonei ad accogliere rappresentazioni geometriche (carta di papiro); i matematici mesopotamici, disponendo invece di strumenti più idonei ad accogliere informazioni numeriche (tavole di argilla), svilupparono maggiormente tali aspetti ponendo anche le basi di quella procedura che, attraverso il successivo lavoro di Eulero e Fourier, oggi chiamiamo Trasformata di Fourier.

Giovanni Marro, Giuseppe Basile e Roberto Laschi seppero cogliere, per primi, le grandi potenzialità offerte dalle rappresentazioni nello spazio degli stati nella soluzione di problemi complessi riformulati in forma geometrica. Chiave di volta



*Figura 6. Il Magnifico Rettore Pier Ugo Calzolari consegna al professor Kalman il Sigillum Magnum dell'Ateneo il 4 Settembre 2002, quattordici anni dopo il conferimento della laurea honoris causa.*



*Figura 7. Il Magnifico Rettore Pier Ugo Calzolari, il professor Giovanni Marro e il professor Roberto Guidorzi durante la cerimonia di conferimento del Sigillum Magnum al professor Kalman.*

nello sviluppo di questa nuova teoria fu l'introduzione dei concetti di *invarianza controllata* e *invarianza condizionata* di un sottospazio che estendevano, in maniera particolarmente orientata al contesto sistemistico [8], [9], il ben noto concetto matematico di invarianza di un sottospazio rispetto ad una trasformazione lineare. Il riconoscimento, da parte della comunità scientifica internazionale, della generalità ed importanza di tale approccio ha poi portato vari altri ricercatori ad utilizzarlo ed a contribuire al suo sviluppo e ad applicazioni; tra questi W.M. Wonham, A.S. Morse, J.C. Willems e J.M.H. Schumacher.

Una trattazione generale e definitiva dell'Approccio Geometrico e delle sue applicazioni che illustra a fondo le potenzialità di questo percorso è, infine, riportata nel testo [10] pubblicato dalla Prentice-Hall nel 1991.

A.D. 2019. Quasi 50 anni sono trascorsi dalla prima introduzione del corso di Teoria dei Sistemi alla Facoltà di Ingegneria di Bologna e da quella fioritura di nuove idee ed applicazioni resa possibile dallo sviluppo tecnologico. Diventa ora possibile e, forse, auspicabile, valutare quali promesse siano state mantenute, quali abbiano imboccato strade senza uscita, quali occasioni siano state colte e quali siano state perse.

La vera rivoluzione introdotta dalla Teoria dei Sistemi (come noi la conosciamo) non consiste tanto nell'uso di rappresentazioni particolari o nella introduzione ed utilizzazione di importanti concetti legati a tali rappresentazioni; questi sono solo strumenti, sia pure fondamentali. La novità vera e trasversale consiste nella presa di coscienza che famiglie limitate di modelli astratti possono descrivere classi molto vaste di processi naturali ed artificiali di natura diversissima e che risulta molto più proficuo studiare, in un contesto matematico, le proprietà di tali classi di modelli anziché frazionarne la conoscenza nell'ambito di discipline specifiche, spesso poco intercomunicanti. Naturalmente, dietro a questo scenario, non va trascurata la necessaria consapevolezza dei limiti che qualunque modello, anche il più semplice, incontra nella descrizione della incredibile complessità del mondo fisico; semmai la sorpresa consiste proprio nel toccare con mano come modelli ottenuti direttamente da misure possano dimostrare una utilità pratica anche nel descrivere processi che non sono governati da alcuna legge di natura (si pensi al modello predittivo del valore di azioni ottenuto con tecniche di identificazione, riportato proprio per sottolineare questo aspetto).

La possibilità di ottenere modelli di processi reali senza avere alcuna conoscenza né della loro struttura interna né delle leggi che li governano è stata spesso considerata non scientifica o, addirittura eretica da chi, fortemente legato all'approccio modellistico tradizionale, dubitava che altre vie fossero possibili ed utili.

In realtà, le tecniche di identificazione nate nell'ambito della Teoria dei Sistemi evidenziavano il ruolo primario svolto, nell'ambito della scienza e della tecnologia, dalle misure. Si potrebbe anche affermare che la scoperta delle leggi di natura ossia il cammino stesso della scienza sia stato (e sia) un gigantesco sforzo volto a cercare una razionalità nell'enorme insieme di misure effettuate, sostituendole con regole fisse che descrivano i legami tra tali misure (i modelli matematici). Particolarmente virtuosa poi la possibilità di utilizzare un modello dinamico ottenuto con tecniche di identificazione per effettuare il *Kalman filtering* ed ottenere quindi misure più precise.

Si viene così a delineare un'area occupata da più discipline caratterizzate da un elevato sinergismo reciproco ed in grado di costituire un nucleo trasversale, di carattere matematico utilizzabile con profitto non solo nell'ambito di diversi corsi di laurea in ingegneria ma anche in molti altri contesti. Non è casuale, ad esempio, l'interesse del professor Kalman per l'Econometria e per la utilizzazione, in tale settore, di procedure prive di *pregiudizi* (termine usato in senso tecnico, per indicare ipotesi introdotte a priori e non dedotte dalle misure, nella costruzione dei modelli).

Le discipline in gioco riguarderebbero, ovviamente, la Teoria delle Misure, la Teoria dei Sistemi, la Teoria dei Segnali e l'Identificazione dei Modelli.

Se questa opportunità sia stata colta o meno lo lascio valutare agli eventuali lettori e mi limiterò a riportare la frase di incoraggiamento che Zorba rivolge alla titubante Fortunata nella deliziosa favola di Luis Sepúlveda [11]: vola solo chi osa farlo.

## Bibliografia

- [1] Toynbee A.J., *A Study of History*, Oxford University Press, Oxford, 1934.
- [2] Evangelisti G., *La Regolazione delle Turbine Idrauliche*, Zanichelli, Bologna, 1947
- [3] Kalman R.E., On the general theory of control systems, in *Proc. First IFAC Congress Automatic Control*, Moscow, 1960, Butterworths, London, vol. 1, pp. 481-492.
- [4] Kalman R.E., Canonical structure of linear dynamical systems, *Proc. National Acad. Sci. USA*, vol. 48, pp. 596-600, 1962.
- [5] Kalman R.E., A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, *Transactions of the ASME, Journal of Basic Engineering*, pp. 35-45, Marzo 1960.
- [6] Kalman R.E., Bucy R.S., New Results in Linear Filtering and Prediction Theory, *Transactions of the ASME, Journal of Basic Engineering*, pp. 95-108, Marzo 1961.
- [7] Marro G., *Fondamenti di Teoria dei Sistemi*, Pàtron, Bologna, 1979.
- [8] Basile G., Marro G., Controlled and conditioned invariant subspaces in linear system theory, *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol. 3, n. 5, 1969.
- [9] Basile G., Marro G., On the observability of linear time-invariant systems with unknown inputs, *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol. 3, n. 6, 1969.
- [10] Basile G., Marro G., *Controlled and Conditioned Invariants in Linear System Theory*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1991.
- [11] Sepúlveda L., *Storia di una gabbianella e del gatto che le insegnò a volare*, Salani, Milano, 2017.

## 2.24. LA DISCIPLINA DELL'ARCHITETTURA TECNICA NELLA SCUOLA DI INGEGNERIA DI BOLOGNA

### 2.24.1. Premessa

*Riccardo Gulli*

L'insegnamento dell'Architettura tecnica è una delle discipline madri nella formazione dell'ingegnere civile a partire dalla fondazione delle Regie Scuole di Applicazione per gli Ingegneri. La sua genesi discende dal rapporto teso tra la Teoria e la Pratica nel campo delle costruzioni civili, poi successivamente declinato nelle correlazioni poste tra Progetto e Tecnica: "Architettura pratica" è infatti la denominazione impiegata da Carlo Formenti per i corsi tenuti dal 1898 al 1907 a Milano; a Bologna invece, sin dall'avvio della Scuola, siamo nell'A.A. 1876/77, compare la dizione "Architettura tecnica".

In entrambi i casi è però chiara la comune derivazione dalla struttura formativa dei Politecnici francesi e che si riflette, in questo specifico campo, nel passaggio che conduce dal Trattato al Manuale. La necessità di connettere «chi ha molte idee e pochi strumenti, con chi ha molti strumenti ma poche idee», presupposto della nascita della grande opera enciclopedica di Diderot e D'Alembert, è il viatico su cui prende forma la grande stagione della manualistica ottocentesca, dove ai principi si sostituisce la regola, alla parola il disegno.

Auguste Choisy, professore di architettura all'interno dell'École Nationale des Ponts et Chaussées per le tre ultime decadi del XIX secolo, è una delle figure chiave di questo passaggio, non solo per le modalità con le quali viene tradotta l'informazione grafica nelle forme dell'assonometria isometrica con vista dal basso, ma soprattutto per le finalità di indagare e rendere esplicita la natura costruttiva della fabbrica, quale componente inscindibile della sua matrice ideativa e figurativa. Se dunque nella struttura editoriale del Manuale è possibile riconoscere il mezzo più diretto per comunicare la visione scienziata dell'ingegnere moderno, che traduce nell'esemplificazione del modello l'osservazione dei fatti, la disciplina dell'Architettura tecnica ne rappresenta la più chiara derivazione all'interno del corpus accademico dei corsi di Ingegneria Civile e di Architettura.

La centralità assunta da questa disciplina negli statuti didattici che ne regolano l'insegnamento nel corso del Novecento sarà infatti primariamente conseguente all'essere cerniera tra due mondi, quello dell'ideazione e quello della fattibilità costruttiva, esplorando i confini che connettono le finalità estetiche del progetto di architettura ai quadri esigenziali stabiliti dalle norme. Un orizzonte del sapere che è indotto a confrontarsi costantemente con l'evoluzione dei modi di costruire, assumendo in positivo gli avanzamenti offerti dalla natura processuale della tecni-

ca. In particolare, con il graduale passaggio che conduce dalla dimensione artigianale dell'arte muratoria che connota il settore delle costruzioni edilizie del primo Novecento, all'impiego dei sistemi a getto e poi soprattutto, nel secondo Novecento, dei sistemi industrializzati, si sviluppa, anche all'interno dell'Architettura tecnica, una riflessione dialettica sui contenuti disciplinari, ponendo a confronto due principali scuole di pensiero che prendono forma, dalla fine degli anni Sessanta, nelle sedi di Roma e di Milano, la prima sotto la guida di Enrico Mandolesi e la seconda di Marcello Grisotti. La modularità diviene conseguentemente il veicolo concettuale sul quale far transitare l'oggettività delle scelte progettuali, la standardizzazione lo strumento per misurare sia l'efficienza del processo edilizio, sia la rispondenza ai requisiti prestazionali di materiali e componenti. La visione sistemica impiegata da Mandolesi nell'opera di ridefinizione semantica delle parti di cui è composto un edificio fungerà infatti da guida nella formulazione di un nuovo linguaggio tecnico e, al contempo, di indirizzo nelle modalità di classificazione assunte dalla normativa UNI per il settore edilizio. Un profilo di competenze che manterrà comunque sempre vivo il rapporto con il progetto di architettura, sia nel comparto del nuovo che, a partire dagli anni Ottanta, nel confronto istituito con il tema del recupero del patrimonio costruito e dell'innovazione tecnica associata alla salvaguardia ambientale.

Questa rinnovata attenzione rivolta all'edilizia storica aprirà il fronte ad un più stretto rapporto con la Storia, nelle sue diverse molteplici declinazioni, seguendo due principali filoni di studio: quello fondato sulla lettura storico-tipologica dei fenomeni insediativi e quello mirato all'analisi di quella parte non scritta della storia dell'architettura che è riconducibile alla sua storia materiale. I capisaldi di questa seconda linea di interesse disciplinare sono chiaramente identificati dall'attività di ricerca promossa da Sergio Poretti. Il punto di partenza è rappresentato dall'opera costruita che viene posta sul banco di lavoro per essere sezionata, disarticolata nelle parti costituenti, al fine di riconoscere i nessi che legano le istanze costruttive ed esecutive a quelli che ne decretano gli esiti finali, il giudizio di valore sotto il profilo figurativo e del linguaggio architettonico. Al pari del metodo grafico impiegato dallo Choisy, l'utilizzo della rappresentazione isometrica dal basso consente di integrare l'informazione tecnica alla comprensione spaziale dell'oggetto, fornendo così una figurazione sintetica dei caratteri costruttivi dell'opera. La linea di ricerca tracciata da Poretti costituirà, per circa un decennio a cavallo del secolo scorso, un riferimento di scuola per l'intero settore disciplinare e che si manifesterà soprattutto all'interno dei progetti ministeriali ex 40% e poi PRIN con un'adesione ampia ed articolata delle unità locali dislocate sull'intero territorio nazionale.

Fuori da questo ambito, gli interessi di studio sviluppati dalle altre sedi verteranno primariamente sulle tematiche del recupero edilizio e sulle indagini prestazionali finalizzate al contenimento dei consumi energetici, sia come verifiche analitiche svolte con modelli previsionali, sia come protocolli progettuali per la definizione delle metodologie d'intervento.

Quanto viene rappresentato in queste pagine è parte integrante di questa vicenda, come contributo offerto dalla sede di Bologna alla disciplina dell'Architettura



tecnica nel corso di quasi 150 anni di storia. Il caso di Bologna è infatti emblematico per varie ragioni. La prima è connessa alla scelta politica operata dall'Ateneo nel primo Novecento di non voler attivare una Facoltà di Architettura a Bologna, per la contigua presenza di quella di Firenze, di consolidato prestigio. Ciò ha significato, sin dalla fondazione del corso di Architettura all'interno dell'offerta didattica della Regia Scuola di Applicazione per Ingegneri di Bologna, affidare alla disciplina dell'Architettura tecnica il ruolo di materia essenziale per la formazione delle competenze sia nel campo dell'architettura che in quello dell'ingegneria civile.

Una condizione chiaramente espressa nell'organigramma funzionale redatto da Giuseppe Vaccaro per il progetto della nuova sede della Facoltà di Ingegneria, inaugurata nel 1935, dove la sezione di architettura corrispondeva al Gabinetto di Architettura tecnica, al tempo diretto da Attilio Muggia, ovvero ciò che poi saranno gli Istituti e i Dipartimenti. Vaccaro consegue qui la laurea in architettura nel 1920, per poi assumere l'incarico di assistente dello stesso Muggia per il corso di Architettura tecnica, di cui otterrà il titolo di libero docente presso la Regia Università di Roma nel 1934. Il ruolo esercitato dalla figura di Muggia<sup>1</sup> nel promuovere l'impiego della costruzione in cemento armato, soprattutto come concessionario della ditta Hennebique per l'Italia centrale, costituisce il trait d'union tra i due mondi sopracitati, quello della meccanica delle costruzioni, a cui corrispondeva l'elaborazione del calcolo e quello della progettazione architettonica, che comprendeva anche la formulazione delle soluzioni tecniche. Pierluigi Nervi, che qui si laurea in Ingegneria Civile nel 1913, è la figura simbolo della condizione di apertura verso il nuovo mondo del cemento armato che connota questa stagione della formazione accademica della Facoltà di Ingegneria di Bologna e alla quale appartiene l'insegnamento di Muggia, al pari di quello offerto da Silvio Canevazzi, professore di Meccanica delle costruzioni e membro della commissione che scrisse la prima normativa italiana sulle prescrizioni d'impiego delle strutture in cemento armato<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Attilio Muggia consegue nel 1885 la Laurea in Ingegneria Civile presso la Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Bologna (classificandosi al 1° posto). Nel 1892 è Incaricato di Architettura tecnica nella medesima Scuola. Nel 1895 diviene Concessionario ed Agente Generale della Maison Hennebique per il centro Italia (Emilia, Toscana, Marche). Nel 1898 è Straordinario di Architettura tecnica presso la Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Bologna. Nel 1906 viene nominato membro della commissione nazionale per il regolamento delle costruzioni in cemento armato. Nel 1912 è Ordinario di Architettura tecnica. Negli anni 1923-27 è Direttore della Scuola di Applicazioni per gli Ingegneri di Bologna. Nel 1925 è Membro della commissione incaricata per le revisioni delle prescrizioni sulla normativa nazionale sul cemento armato (del 1925 e del 1933).

<sup>2</sup> Silvio Canevazzi consegue nel 1873 la Laurea in Ingegneria Civile a Milano. Nel 1873 è Assistente di Meccanica Applicata alle Costruzioni alla Regia Università di Roma. Nel 1877 è Incaricato di Meccanica Applicata alle Costruzioni alla Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Bologna. Nel 1880 diviene Ordinario di Ponti e Costruzioni idrauliche. Nel 1900 viene nominato membro della commissione incaricata di redigere il primo regolamento italiano sul cemento armato e nel 1909 di quella per la redazione del regolamento delle costruzioni asismiche a seguito del terremoto di Messina-Reggio Calabria del 1908. Nel 1911 viene eletto Direttore della Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Bologna.

Tale funzione di raccordo sfumerà poi gradualmente quando alla figura di Muggia succederà Giuseppe Nicolosi, che assumerà la titolarità dalla cattedra di Architettura tecnica nel 1941, e poi di Giovanni Michelucci che, seppure chiamato a Bologna per coprire l'insegnamento di Architettura e Composizione architettonica, assumerà al contempo il ruolo di Direttore dell'Istituto di Architettura tecnica e di coordinatore della sottosezione Edile del corso di Ingegneria Civile che si voleva costituire.

Sono infatti questi gli anni in cui le nuove istanze dettate dalla crescita sociale ed economica del paese sollecitano un ammodernamento dei programmi didattici con una maggiore articolazione dell'offerta formativa per ambiti settoriali legati alle specifiche competenze professionali. I corsi di studio si arricchiscono così di nuovi insegnamenti, seguendo la naturale mutazione che porta dalla visione olistica e totale del sapere di matrice ottocentesca, alla parcellazione disciplinare per ambiti tematici a cui far corrispondere l'esercizio della professione. In questo quadro l'insegnamento dell'Architettura tecnica perde la sua genesi originaria per adattarsi alla complessità indotta dal progresso tecnologico.

A Bologna questo passaggio è fortemente guidato dall'indirizzo culturale seguito dalla direzione dell'Istituto, che nel 1965, con l'arrivo di Fernando Clemente, modifica il nome in Architettura ed Urbanistica.

La misura di riferimento è infatti primariamente la dimensione professionale dell'attività del docente, non certo quella della didattica o della ricerca, peraltro allora quasi irrilevante. Il presupposto ancora in vigore al tempo e che permarrà fino alla riforma universitaria della 382/80, era che un professore di discipline applicative fosse espressione di un livello qualificato di competenze tradotte da un esercizio professionale, dovendo trasferire ai discenti un corpus di conoscenze derivate da un rapporto diretto con la pratica, sia progettuale che tecnica. Il ruolo preminente in questo ambito della formazione accademica è infatti quello del "Professore Incaricato", ovvero di una figura esterna alla pianta organica dell'istituzione universitaria e capace di garantire un costante aggiornamento dei contenuti didattici tramite un serrato confronto con il mondo del lavoro.

Sotto la direzione di Clemente, il focus tematico è rappresentato dal progetto a scala urbana, con un approccio interscalare che comprende anche la dimensione del tipo edilizio e delle relative componenti tecnologiche. Un orientamento culturale ed anche organizzativo, che segnerà la struttura dell'istituto per i successivi trent'anni, fino alla costituzione del Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale nel 1993. In questo contesto il contributo offerto dal settore dell'Architettura tecnica, rappresentato in primis da Ivo Tagliaventi, Adolfo Dell'Acqua, Giampiero Cuppini e Claudio Comani, verterà nella prima fase sui temi dell'industrializzazione edilizia e della progettazione sistemica – in analogia al più ampio quadro tracciato da Mandolesi di cui detto sopra – e poi sulle indagini tipologiche dei sistemi insediativi e sulla riqualificazione architettonica ed ambientale alla scala urbana. Il tema della residenza e quello dell'edilizia scolastica, compresa quella universitaria, diventano infatti i temi dominanti nel dibattito sullo sviluppo delle aree della prima

cintura urbana fuori le mura del centro storico, per dare risposta alle istanze sociali indotte dalla crescita demografica e da nuovi bisogni abitativi. La sperimentazione di inediti modelli insediativi trova infatti, nel caso dell'edilizia sociale di Bologna, una felice congiunzione tra le determinanti tecniche, economiche e sociali, tramite gli strumenti della pianificazione urbanistica e della progettazione integrale connessa ai processi industrializzati.

La successiva fase che determinerà una nuova centralità per la disciplina dell'Architettura tecnica nell'offerta formativa della Facoltà di Ingegneria di Bologna, sarà decretato dalla nascita del corso quinquennale di Ingegneria Edile - Architettura che prende avvio alla fine degli anni Novanta. Come noto il corso di Ingegneria Edile - Architettura è figlio di un progetto culturale concepito dai tre ordinari di Architettura tecnica delle sedi di Roma, L'Aquila e Pavia, nelle figure di Enrico Mandolesi, Luigi Zordan, Gianpaolo Calvi e che si proponeva di formare un profilo di ingegnere progettista quale espressione di sintesi tra l'ideazione e la tecnica, la critica e l'analisi. Il più diretto e concreto esito di questa operazione fu la possibilità concessa ad un laureato in ingegneria di poter svolgere la professione di architetto dopo aver superato il relativo esame di stato, eliminando una iniquità di trattamento tra le due figure di laureato, poiché al dottore in architettura è concesso di sostenere l'esame di stato per ingegnere ma non è permesso ad un dottore in ingegneria accedere a quello per architetti, essendo l'architettura una categoria professionale protetta che richiede un percorso formativo specifico.

Nel caso di Bologna questo passaggio si combina con la coeva decisione di attivare una Facoltà di Architettura nella sede di Cesena nel 2001 e poi del corso di Ingegneria Edile a Ravenna nel 2003, come parte integrante del progetto di ampliamento dell'insediamento universitario dell'Alma Mater nelle province romagnole. La scelta di promuovere questo doppio canale formativo all'interno di una stessa classe di laurea ha trovato giustificazione sia in ragione della diversa dislocazione logistica dei due corsi, sia per il diverso orientamento culturale in termini di contenuti e finalità attese.

In questo scenario il settore dell'Architettura tecnica ha riacquisito il suo status originario di disciplina di raccordo tra i saperi specialistici e di indirizzo per la codificazione di una forma di conoscenza votata all'innovazione tecnica e al *problem solving*, qui intesi come strumenti per la strutturazione di una capacità critica che consenta di affrontare la complessità del mondo contemporaneo, con una visione aperta verso il futuro.

### 2.24.2. Architettura-Tecnica: la ricerca di una sintesi

Nella serie dei contributi che seguono vengono narrati i momenti dell'attività didattica e di ricerca nel complesso ambito disciplinare di Architettura Tecnica presso l'Università di Bologna, cercando di organizzarli in senso cronologico secondo i periodi storici in cui nella società emergevano determinati problemi e sensibilità.

L'intenzione è quella di offrire elementi di conoscenza su come si esplicò e si esplica ancora la dialettica, tendente ad una sintesi, tra il binomio Architettura-Tecnica<sup>3</sup> e gli insegnamenti che lo circondano<sup>4</sup>.

## 2.24.2a. Gli esordi: dalla fondazione della Scuola di Applicazione per Ingegneri alla Seconda guerra mondiale. Tradizione compositiva e nuove tecniche costruttive

*Maria Beatrice Bettazzi*

La Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Bologna<sup>5</sup> apre regolarmente tutte le annualità con il 1877/78, dopo la riforma che aveva abolito i Corsi pratici. Le lacune che caratterizzavano l'insegnamento che veniva fornito dai Corsi pratici per ingegneri era riportata alla mancanza di una istruzione specifica per ciò che riguardava un settore (anzi, un linguaggio) ritenuto fondamentale come il disegno di cui la Facoltà di Scienze matematiche, fisiche e naturali si faceva in qualche modo carico<sup>6</sup>. Altri vuoti erano avvertiti nell'Idraulica, nella Fisica Tecnica, nella Scienza delle Costruzioni e nella Composizione Architettonica. Nel 1859/60 gli studenti della Facoltà di Matematica che proseguivano verso l'ingegneria affrontavano al terzo anno un Esame di Licenza e al quarto svolgevano la «Pratica nello studio di un ingegnere approvato», sostenendo poi un Esame di Laurea. Per superare finalmente l'esame di Libera pratica, frequentavano un quinto anno in cui svolgevano di nuovo la «Pratica nello studio un Ingegnere approvato» e la «Pratica nello studio di un Architetto o di un Idraulico approvato».

<sup>3</sup> La dizione Architettura-Tecnica (termini uniti col trattino) fu proposta da Enrico Mandolesi, figura centrale nello sviluppo dell'Architettura Tecnica nel secondo dopoguerra, con l'intenzione di sottolineare il carattere relazionale della disciplina nei confronti della *concezione formale*, del *programma funzionale* e dello *studio dei sistemi e procedimenti costruttivi* nel progetto di architettura. Secondo quanto affermato da V. Gregotti: «Le parole tecnica e tecnologia si usano nel linguaggio corrente spesso come equivalenti [...]. Questo accade anche se tecnologia definisce lo studio dell'insieme dei procedimenti tecnici (piuttosto che la pratica materiale delle tecniche) e dei loro rapporti con le scienze e implica più direttamente la questione del ruolo sociale dei tecnici [...]». Cfr. V. Gregotti, *Architettura, tecnica, finalità*, Laterza, Roma-Bari 2002, p. 12. Gregotti sottolinea anche la «tecnica come finalità» del fare architettonico: «A partire dall'era della meccanizzazione ciò che si è lentamente e progressivamente trasformato è quindi il luogo occupato dalle tecniche nel processo creativo [...]», V. Gregotti, *Architettura, tecnica, finalità*, cit., p. 96.

<sup>4</sup> Per esigenze di spazio il testo non riporta in nota le numerose pubblicazioni dei docenti di Architettura Tecnica susseguitesi negli anni, ma solo i riferimenti a pubblicazioni esterne di carattere storico.

<sup>5</sup> Solo con la Riforma Gentile, nel 1923, il diploma conferito dalle Scuole di Applicazione per gli Ingegneri diviene una vera e propria laurea, dando diritto al titolo di dottore. In tale anno le Scuole si avviano a diventare Facoltà universitarie nel senso proprio del termine.

<sup>6</sup> Cfr. G.C. Calcagno, *La Scuola per gli Ingegneri dell'Università di Bologna tra Otto e Novecento*, Annali v. 1. Vedi Centro interuniversitario per la storia delle Università italiane, [www.cisui.unibo.it](http://www.cisui.unibo.it). Documento disponibile al sito: [https://areweb.polito.it/strutture/cemed/SUST\\_didattica.bk/2005/2005\\_STO\\_INGE/INGE\\_Gian%20Carlo%20Calcagno.pdf](https://areweb.polito.it/strutture/cemed/SUST_didattica.bk/2005/2005_STO_INGE/INGE_Gian%20Carlo%20Calcagno.pdf), ultimo accesso marzo 2019.

La situazione viene modificata con il Decreto 26 ottobre 1875 che fa coincidere l'attivazione del primo anno della Scuola di Applicazione, a partire dal primo novembre 1875, con l'abrogazione del vecchio Corso pratico, e con il Decreto 14 gennaio 1877 che attiva il triennio completo a partire dal primo novembre 1877. Il primo Direttore della Scuola è Cesare Razzaboni, tipica figura di ingegnere totale, matematico e idraulico nonché autore del teatro di Reggio Emilia. La vocazione della Scuola bolognese, al centro di una regione dall'assetto economico ancora prevalentemente agrario, si attesta perlopiù sul versante della costruzione edilizia e delle infrastrutture (ferroviarie, stradali e idrauliche).

Nel 1875 gli insegnamenti di Geometria descrittiva e proiettiva e del Disegno d'ornato e di architettura elementare sono presenti nel biennio propedeutico da seguire presso la Facoltà di Scienze matematiche. Quest'ultimo corso è tenuto da Fortunato Lodi (1805-1882), professore di Disegno e Architettura, che fin dal 1859/60 impartiva lezioni di Architettura civile ai futuri ingegneri all'interno di quella Facoltà, ma presso l'Accademia di Belle Arti. Le lezioni teoriche di Lodi, nel corso di Architettura al primo anno, coprivano un ampio campo di saperi, secondo la tradizione ottocentesca. Trattavano non solo di Storia dell'Arte e della «Copia e composizione di Edifici nei diversi stili Architettonici», ma anche di questioni tecniche, legate alla conoscenza delle diverse qualità di terreno in cui si deve edificare, alle diverse specie di «fondamenti» e alle loro proporzioni, nonché alla conoscenza, alla scelta, e all'uso dei «materiali di costruzione».

La denominazione «Architettura tecnica»<sup>7</sup> compare per la prima volta nel 1876/77, al secondo anno del triennio della Scuola, proprio per sottolineare il carattere *tecnico* dell'insegnamento all'interno del nuovo programma. Nel 1877/78 il corso triennale per gli Ingegneri si completa con l'ultimo anno: Lodi compare negli Annuari<sup>8</sup> come incaricato di Architettura tecnica e di Progetti di architettura, entrambi tenuti nelle stesse giornate, il lunedì e il giovedì dall'una fino alle cinque, continuando peraltro a insegnare Disegno d'ornato e di architettura al biennio. È con il 1879/80 che compare quella che diverrà la consueta partizione degli insegnamenti afferenti all'architettura nella Scuola di Applicazione. Al primo anno, infatti, gli Annuari registrano la presenza di un corso di Stili architettonici tenuto da Raffaele Faccioli (1836-1914), ingegnere, anch'esso docente proveniente dall'Accademia di Belle Arti<sup>9</sup>. Al terzo anno rimane invariata, invece, la titolarità di Architettura Tecnica di Lodi insieme all'insegnamento di Progetti. Faccioli com-

<sup>7</sup> L'insegnamento di «Architettura tecnica» viene sempre riportato negli Annuari con la parola *tecnica* scritta in minuscolo. Nel proseguo del testo si è deciso di riportare entrambi i termini in maiuscolo secondo l'uso corrente nelle guide web. Tale uso deriva probabilmente dal fatto che nei titoli scritti in inglese le iniziali delle parole sono tutte in *capital letters*.

<sup>8</sup> Gli Annuari dell'Università di Bologna (1859-1936 e 1936-42) sono consultabili sul sito AMS Historica: <https://amshistorica.unibo.it/annuariunibo>.

<sup>9</sup> Faccioli insegna anche Disegno geometrico e tecnologico presso il Regio Istituto Pier Crescenzi. Cfr. *Antologia Centocinquantenaria. Istituto Crescenzi Pacinotti Bologna 1862-2012*, Istituto Crescenzi Pacinotti, Bologna, 2014, vol. 3: Album biografico, pp. 49-54.

pare anche come direttore del Gabinetto o Collezione scientifica per Stili architettonici, il primo nucleo di materiali per la didattica dell'architettura agli allievi ingegneri. All'inizio del 1882 Fortunato Lodi muore l'anno successivo lo sostituisce Antonio Zannoni (1833-1910).

Se con Lodi l'interconnessione con l'Accademia è strettissima, con Faccioli, ma soprattutto con Zannoni, i punti di contatto saranno sempre meno, per quanto nei consigli di amministrazione di ciascuna istituzione figurino sempre un membro dell'altra. I contenuti delle lezioni, come emergono dagli Annuari, affrontano in modo molto sintetico gli elementi funzionali costitutivi delle abitazioni.

Raffaele Faccioli, che rivestirà nella maturità professionale un ruolo di primo piano in qualità di Capo dell'Ufficio Regionale per la Conservazione dei Monumenti dell'Emilia<sup>10</sup>, inizia la sua carriera, dopo un primo periodo romano, nei cantieri cittadini del napoletano Antonio Cipolla, presenza qualificante nel panorama bolognese dell'immediato periodo postunitario. In prima persona costruisce edifici nel nuovo salotto bolognese, la zona di piazza Cavour. I programmi dell'insegnamento presenti sugli Annuari prevedono l'inevitabile *rassegna di stili* dall'egizio fino al classicismo che culmina con lo sguardo sull'attualità e su «gli odierni tentativi di creare un nuovo stile [...] l'Ecclettismo, studio e restauro dei monumenti medievali, studio dei nuovi materiali per le costruzioni e le decorazioni»: a questo segue l'indagine sulle modalità profonde che dominano l'evoluzione degli stili e li radicano in determinati periodi storici connotati da precise condizioni politiche, civili o religiose. La metodologia didattica prevede lezioni orali, interrogazioni e conferenze ma anche «misurazioni, disegni e schizzi tratti da carte murali, da modelli in rilievo e talvolta dagli edifici».

Antonio Zannoni si laurea in Matematica a Roma nel 1859 e poi si trasferisce a Bologna per seguire il biennio pratico per ingegneri, laureandosi nel 1861. La notorietà di Antonio Zannoni (1833-1910) si deve soprattutto all'opera di archeologo divenendo lo scopritore di una necropoli etrusca di grande importanza per la storia delle origini della città, durante i lavori alla Certosa, il cimitero dei bolognesi. La sua fisionomia di docente agli ingegneri lo vede impegnato presso la cattedra di Architettura Tecnica, al terzo e ultimo anno di corso. In carico dal 1882/83, quando sostituisce Fortunato Lodi, tiene l'insegnamento fino alla morte, nel 1910<sup>11</sup>. Oltre che docente di Architettura Tecnica, Zannoni è altresì responsabile del relativo Gabinetto, insieme a quello diretto da Muggia per Costruzioni civili, in crescita di anno in anno con l'acquisizione di volumi e materiali didattici<sup>12</sup>. Zannoni è il tipico *ingegnere totale*, esperto di tutto e in grado di formulare progetti su una gamma ster-

<sup>10</sup> P. Stivani, *Raffaele Faccioli 1845-1916*, Associazione Bologna per le arti, Bologna, 2002.

<sup>11</sup> A. Muggia, *Commemorazione dell'ing. prof. arch. Antonio Zannoni nel centenario della sua nascita: tenuta il 29 dicembre 1933 a Faenza in una sala del Palazzo comunale*, Tip. P. Neri, Bologna 1934.

<sup>12</sup> Presso la sezione architettura dell'Archivio storico dell'Università di Bologna è conservato circa un migliaio di documenti della Scuola, fra prove degli studenti e tavole sparse provenienti da album e raccolte di disegni dei principali monumenti del mondo. Le esperienze didattiche proposte da Zannoni erano incentrate sull'osservazione dell'architettura europea attraverso la pubblicitica dell'epoca.

minata di temi vantando competenze su problemi di viabilità stradale e ferroviaria, di irregimentazione di acque e progettazione di acquedotti, su questioni relative a progetti architettonici di nuova costruzione e restauri di edifici storici, ma anche studi di tipologie particolari come quelle ospedaliere, oltre che una grossa parte dedicata all'archeologia. Questa complessità è favorita da un'attività densissima di incarichi pubblici e privati. Stilisticamente, a fronte del classicismo neocinquecentista imperante, Zannoni sembra in cerca di una propria autonomia formale, spesso virando verso esiti estremi di marca neomanierista. Oltre alla continua implementazione dei materiali didattici a corredo, Zannoni lascia in eredità i frutti di un insegnamento, almeno in teoria, molto aggiornato e consapevole di quanto si produceva all'estero, soprattutto in Francia. Oltre a ciò, un'abbondante riflessione tipologica riguardo ai nuovi edifici per la città moderna, ospedali e mercati prima di tutto, va di pari passo nell'insegnamento con un'idea ampia di spazio urbano inteso non solo come sequenza teatrale di quinte architettoniche, ma un vero e proprio organismo pulsante fatto di reti infrastrutturali, idriche, stradali, ferroviarie, organismo soggetto a piani razionali di intervento e di sviluppo<sup>13</sup>.

In linea con gli studi e le attività progettuali di Zannoni si inserisce Attilio Muggia (1861-1936), figura di particolare rilevanza a livello nazionale, non solo in ambito accademico, ma anche in ambito professionale per il contributo fornito all'applicazione del cemento armato nelle costruzioni in Italia fin dagli inizi del Novecento<sup>14</sup>. Egli si diploma in Ingegneria Civile presso la stessa RSAI nel 1885 e assume immediatamente il ruolo di assistente. In quegli anni l'Architettura Tecnica era insegnata al terzo anno da Zannoni (lezioni e progetti) sia per gli aspiranti al diploma d'Ingegneria Civile, sia per gli aspiranti al diploma di Architettura. In realtà, i secondi costituivano una percentuale molto ridotta di studenti: dei 1108 diplomati presso la Scuola nel periodo 1877-1908, solo 17 seguirono il curriculum in architettura. Per i diplomandi architetti, oltre che di "Architettura tecnica", presso il Regio Istituto di Belle Arti si impartivano al terzo anno lezioni di "Architettura artistica", Ornato, Plastica e Storia dell'Arte.

Una veloce carriera senza interruzione di continuità porta Muggia ad ottenere nel 1891 la libera docenza in Architettura Tecnica e nel 1892 l'incarico di insegnamento di quella stessa disciplina, attiva al primo anno. L'Architettura Tecnica (anche se per un periodo al primo anno verrà sostituita dall'insegnamento di Costruzioni civili, rurali e fondazioni, tenuto da Muggia) si configura in questo momento come materia qualificante del Corso e punto di osservazione e di governo dei *saperi sull'architettura* nell'ambito della Scuola per Ingegneri. I *materiali* e gli *elementi delle fabbriche* erano invece oggetto di un corso specifico tenuto da Luigi Venturi fino al 1897; il corso viene poi rilevato da Muggia per la parte degli elementi delle fabbriche. Anche

<sup>13</sup> Cfr. A. Zannoni, *Architettura tecnica. Prolusione al I corso 1891-92 della R. Scuola di Applicazione degli Ingegneri in Bologna*, soc. Tip. Azzoguidi, Bologna 1892.

<sup>14</sup> Cfr. M.B. Bettazzi, P. Lipparini, *Attilio Muggia: una storia per gli ingegneri*, Ed. Compositori, Bologna 2010.

Muggia, come il collega Zannoni, cura con particolare scrupolo la didattica e i suoi strumenti, apprestando dispense e accumulando immagini, dapprima su supporto cartaceo e poi su diapositiva. Nel 1912 Muggia diviene professore stabile alla cattedra di Architettura Tecnica, che mantiene fino al 1935 quando è collocato a riposo. Nei vent'anni d'insegnamento egli impartisce lezioni ad allievi che saranno protagonisti di primo piano nel *dibattito internazionale sul Moderno*: Giuseppe Vaccaro, Nino Bertocchi, Enrico De Angeli, Pier Luigi Nervi, Angiolo Mazzoni Del Grande, e altri<sup>15</sup>. Si può dire dunque che Zannoni e Muggia siano accomunati dal ruolo di traghettatori attraverso i non facili tempi dei grandi cambiamenti attorno al volgere del secolo, sia sul versante tecnico con l'avvio e la diffusione della pratica del cemento armato, sia sul piano estetico, nella consapevolezza che gli stili storici non siano più adeguati a interpretare l'involucro architettonico, nell'impossibilità, tuttavia, di immaginare un nuovo linguaggio adeguato.

Nel 1935 nasce la Facoltà di Ingegneria, ospitata dall'anno seguente nel nuovo edificio fuori porta Saragozza progettato da Vaccaro. Nell'anno 1935/36 l'ordine degli studi di Ingegneria Civile prevede l'insegnamento di Architettura Tecnica in ognuno dei tre anni del corso, materia organica di riferimento per l'ambito dell'architettura. Per esso è incaricato Giovanni Setti, libero docente dal 1930, mentre Mario Fabbrini, libero docente dal 1936, insegna un corso complementare con indirizzo tecnologico di Materiali da Costruzione e Tecnologia delle Fabbriche. Il corso di Fabbrini è assai articolato e prevede una prima ampia parte sulla *tecnologia delle fabbriche*: materiali, strutture murali, di legname e metalliche, archi, "voltigrafia", solai e scale, opere complete, "sistema vascolare", tecnica del cemento armato, cantiere, manutenzione, riparazione e rifacimento, tipi di edifici industriali, analisi dei prezzi e criteri generali per la redazione del progetto. Prevede inoltre una seconda parte di esercitazioni pratiche sopra le fabbriche esistenti o in corso di costruzione ed altre esercitazioni, basate su disegni e schizzi di strutture eseguite con materiali litoidi, legno e metallo, su dettagli costruttivi vari e su esercizi di calcolazione e progetto delle parti principali esistenti nelle costruzioni civili ed industriali.

Col pensionamento di Muggia si assiste ad un breve periodo di incertezza per Architettura Tecnica, fino all'approdo a Bologna, provenendo da Roma, di Giuseppe Nicolosi (1901-1981), nel 1938. L'attività a Bologna di un'importante figura come quella di Nicolosi<sup>16</sup> rimane tuttavia limitata nel tempo, a causa dello scoppio della guerra. La sua adesione a un pacato razionalismo è attestata da due tavole pittoriche ancora presenti all'interno del Dipartimento di Architettura, una delle quali raffigurante l'interno dell'Aula Magna dell'Università di Bologna, oggetto di concorso nel 1931. Di lui resta anche un primo progetto per la sistemazione di Piazza Scaravilli

<sup>15</sup> G. Gresleri, P.G. Massaretti (a cura di), *Norma e Arbitrio. Architetti e Ingegneri a Bologna 1850-1950*, cat. mostra, Marsilio, Venezia 2001.

<sup>16</sup> S. Poretti, M. Rebecchini, M. Rebora, F. Storelli (a cura di), *Giuseppe Nicolosi: figura, opere, contesto*, volume monografico di «Rassegna di architettura e urbanistica», n. 55, Roma 1983; P. Belardi (a cura di), *Giuseppe Nicolosi (1901-1981) Architettura università città, Atti del Convegno*, Perugia 2006, Melfi 2008.



(1941), con un edificio in quel momento destinato a Lettere. Ancora fino al 1941, l'Istituto di Architettura Tecnica, come si denomina in questi anni il nucleo storico dell'attuale Dipartimento di Architettura, è diretto da Nicolosi, che oltre a tenere i corsi di Architettura Tecnica, di cui è professore ordinario dal 1941, ha iniziato quello di Tecnica Urbanistica (negli annuari figura libero docente di Urbanistica), mentre Giovanni Setti, ingegnere e Accademico clementino già assistente di Muggia, tiene un corso di Architettura e Composizione Architettonica. Appartiene a questo incipiente periodo bellico l'inserimento della Composizione e dell'Urbanistica nelle Facoltà di Ingegneria, materie che da allora in poi faranno in un certo senso concorrenza ad Architettura Tecnica su molti temi legati all'architettura.

Negli anni a cavallo della guerra si assiste al trasferimento di Nicolosi, che torna a Roma, e alla suddivisione fra Fabbrini e Setti di tutti i corsi dell'area. Architettura Tecnica nel primo e nel secondo anno viene insegnata da entrambi, mentre Setti mantiene in più il corso di Architettura e Composizione e sostituisce Nicolosi in Tecnica Urbanistica. L'inasprirsi delle condizioni dovute alla guerra e, successivamente, l'occupazione della Sede di Ingegneria da parte degli alleati a fini ospedalieri bloccano l'attività didattica fino all'anno accademico 1947/48.

### **2.24.2b. La ricostruzione postbellica e il boom economico (1945-65)**

*Luca Guardigli*

Nell'*Annuario* del 1946, numero unico dedicato agli anni dalla guerra, il Rettore Edoardo Volterra, nel constatare la ripresa delle attività dell'Università ricorda i caduti nella Resistenza e il lavoro di riassegnazione delle cattedre e il ripristino degli edifici, in particolare quello delle aule di Ingegneria; emerge in generale una certa continuità con il periodo precedente. Nel campo dell'insegnamento dell'architettura si assiste invece ad una significativa cesura: dopo il ritorno a Roma di Nicolosi nel 1947, giunge dalla Facoltà di Architettura di Firenze Giovanni Michelucci. La Laurea in Ingegneria Civile ha ora una sottosezione Edile e Michelucci, professore e noto architetto del Gruppo Toscano vincitore del concorso per la stazione di Santa Maria Novella a Firenze, ha l'incarico di sviluppare quella sottosezione. Nell'anno accademico 1947/48 egli assume il ruolo di professore ordinario di Architettura e Composizione Architettonica e diventa Direttore dell'Istituto di Architettura Tecnica, essendo anche incaricato dell'insegnamento di Tecnica Urbanistica.

Dei membri dell'Istituto presenti nel 1941 rimangono nell'anno accademico 1947/48 solo due liberi docenti: Italo Gasperi Campani, professore incaricato di Architettura Tecnica (parte I) al terzo anno, primo del triennio in Ingegneria Civile, e Mario Fabbrini docente di Architettura Tecnica (parte II), al quarto anno. Italo Gasperi Campani, laureatosi a Bologna nel 1940, sostituisce Setti, scomparso nel 1947; nel 1950 lascia il ruolo di assistente volontario per proseguire la carriera universitaria fuori Bologna, diventando professore di Topografia e Costruzioni rurali nella Facoltà di Agraria di Firenze. Di lui si ricorda il progetto, assieme a Rodolfo

Bettazzi, per il grande complesso della chiesa di Santa Maria del Suffragio e del teatro Dehon a Bologna.

Mario Fabbrini rappresenta la continuità culturale tra il periodo pre-guerra e il periodo post-guerra, essendo confermato nel 1941 come libero docente di Materiali da Costruzione e Tecnologia delle Fabbriche. L'impostazione del corso ha come riferimenti bibliografici, tra gli altri, i manuali di Breymann, Giovannoni, Pincherle Muratori, Roccatelli, Fabbrichesi e Griffini. L'arrivo di una figura così importante e culturalmente connotata come quella di Michelucci tende tuttavia a ridurre la centralità dei contenuti tecnico-scientifici proposti da Fabbrini all'interno dell'Istituto. Fino alla fine degli anni Sessanta, Fabbrini continuerà a seguire quello che si potrebbe definire un proprio autonomo solco tecnologico nell'ambito di Architettura Tecnica, privilegiando lo studio dei materiali e delle tecniche costruttive, con particolare riferimento ai cementi speciali e ai materiali innovativi.

Il *progetto di architettura* diventa quindi il tema dominante degli insegnamenti dell'Istituto di Architettura Tecnica nel secondo dopoguerra. Michelucci distingue quattro parti nel corso di Architettura e Composizione Architettonica, cercando peraltro di adattare l'insegnamento a un approccio tecnico-analitico, tipico delle Facoltà di Ingegneria: una prima parte di preparazione critica alla progettazione, con sopralluoghi agli edifici della città, una fase di analisi storica e due fasi finali, una che studia la relazione tra *struttura* e *forma* ed una che indaga il rapporto tra *architettura* e *ambiente*. Nel corso di Tecnica Urbanistica, Michelucci segue lo stesso metodo: parte dall'analisi storica e affronta poi il tema del rapporto tra disegno urbanistico e fattori sociali, distinguendo tra un'urbanistica spontanea ed una pianificata. Al termine del corso affronta temi tipici della "urbanistica tecnica" come la viabilità, il verde, la zonizzazione e il proporzionamento dei servizi, per concludere con il progetto.

Negli anni tra il 1948 e il 1950, fa parte dell'Istituto presieduto da Michelucci un folto gruppo di ingegneri, in gran parte assistenti volontari, che poi troveranno collocazione nel mondo professionale. Tra gli assistenti non volontari emergono però due architetti provenienti da Firenze, collaboratori di Michelucci in vari progetti toscani: Nereo De Mayer e Renzo Sansoni. Diventeranno entrambi liberi docenti di Architettura e Composizione Architettonica nel 1955.

Nereo De Mayer partecipa a numerosi progetti michelucciani e svolge alcuni lavori in proprio; tra questi la chiesa in calcestruzzo armato e pietra di San Michele Arcangelo a Sasseta, nelle montagne tra Bologna e Prato. Per l'anno accademico 1951/52 Nereo De Mayer viene incaricato dell'insegnamento di Architettura Tecnica I. Argomento del corso è la casa d'abitazione: vengono approfondite le esigenze funzionali interne, le condizioni dell'ambiente naturale, la sua tipizzazione a seconda dell'uso e la sua aggregazione ad altre unità. De Mayer tratta specificamente dei problemi legati al rapporto tra distribuzione, struttura e forma, con particolare attenzione per lo studio dell'ambiente esterno naturale e urbanistico. Renzo Sansoni è impegnato nel progetto di Michelucci per il Villaggio dipendenti Enel a Larderello (1954-59).

Mario Fabbrini rimane docente di Architettura Tecnica II fino al 1967, seguendo il proprio percorso squisitamente tecnologico: la parte centrale del corso affronta lo studio completo degli elementi costruttivi dell'architettura, dalle murature alle strutture in cemento armato, fino alle finiture. Fabbrini sarà Direttore dell'Istituto dal 1962 al 1965.

Sono gli anni in cui l'*architettura organica* trova spazio nel dibattito culturale all'interno delle Facoltà di Architettura e vi è una certa insofferenza per le produzioni dell'International Style. Michelucci introduce questo dibattito a Bologna, anche con l'aiuto dei propri collaboratori. Nell'ambito della ricerca i giovani assistenti dell'Istituto si confrontano su quotidiani e riviste nazionali, tra cui "La Nuova città", "Urbanistica", "Inarcos" ed "Aedilis". In particolare, la rivista "La Nuova Città", fondata da Michelucci nel dicembre 1945 per rappresentare sulla scena fiorentina e italiana una "ventata di rinnovamento" nei riferimenti culturali, nei temi e nelle proposte architettoniche, accoglie molti scritti dei membri dell'Istituto. Su di essa scrive anche Marco Dezzi Bardeschi, assistente volontario ed a tutti gli effetti, tramite la Scuola di Bologna, allievo di Michelucci. Negli Annuari degli anni Cinquanta si registra una sua notevole attività pubblicistica, in gran parte autonoma e per altre riviste italiane.

Nell'anno accademico 1951/52, il gruppo di assistenti volontari si allarga a diciannove e comprende l'ingegner Ivo Tagliaventi, l'architetto Franco Carpanelli, l'ingegner Valerio Valeriani e l'ingegner Pierluigi Giordani. Franco Carpanelli, laureatosi a Firenze, segue poi Michelucci a Bologna. Dopo pochi anni si sposterà nella sua città di Parma, dove diventerà professore di Architettura. Per la nuova sede del Campus dell'Università di Parma progetterà una serie di edifici. Pierluigi Giordani concentra le proprie ricerche sull'architettura minore e rurale ed inoltre sulla pianificazione e lo sviluppo del territorio, in particolare della bassa pianura padana. Nella sua carriera accademica insegnerà Tecnica Urbanistica a Bologna e a Padova. Valerio Valeriani sarà successivamente titolare di Disegno, materia, quest'ultima, definitivamente inglobata nell'Istituto e funzionale alle altre materie, mentre ai tempi di Faccioli era ancora esterna alla Scuola, in quanto insegnata nel biennio. Leonardo Lugli si laurea con Michelucci a Bologna ed è di fatto l'unico allievo bolognese di Composizione Architettonica che proseguirà la carriera universitaria nella stessa città, essendo già assistente nel 1954.

Ivo Tagliaventi, diventato libero docente di Architettura Tecnica nel 1956, viene a far parte del gruppo di allievi di Michelucci ma, a differenza degli allievi toscani, segue un percorso autonomo nell'impostazione della propria ricerca, mediando tra il campo tecnico dell'ingegneria e l'interesse per lo studio dell'architettura e dell'*organismo architettonico*, raccordandosi con le discipline umanistiche. I suoi temi di approfondimento riguardano anche argomenti squisitamente tecnologici come la prefabbricazione, la normalizzazione e il coordinamento modulare degli edifici ed inoltre l'approfondimento critico di architetture storiche. In proposito si ricordano gli studi sulla cattedrale gotica e su Eugène Viollet-le-Duc ed inoltre sull'unità e continuità in architettura e sulla costituzione dell'organismo architettonico. Tagliaventi

segue da vicino Michelucci in alcuni progetti, tra cui quello della chiesa di Larderello, ma in qualità di strutturista. Michelucci si caratterizza soprattutto come progettista di architettura, con una formazione differente da quella degli “architetti tecnici”, che considera, appunto, soprattutto “tecnici specialistici”. In questo senso può essere interpretato il rapporto tra Michelucci e il giovane Tagliaventi. L’influenza di Michelucci nello sviluppo dell’Architettura Tecnica, considerata come disciplina, si può ritenere quindi non particolarmente significativa.

Nell’anno accademico 1960/61 l’Istituto si arricchisce di nuove materie: Nereo De Mayer è incaricato di Edilizia Sociale, intesa come edilizia pubblica (teatri, ospedali, ecc.). Ivo Tagliaventi è titolare dell’insegnamento di Fabbricati e Costruzioni Industriali, trattando di molteplici argomenti quali: la tipologia delle costruzioni per l’industria, lo studio del layout distributivo, degli aspetti economici di costruzione e manutenzione e delle tematiche ambientali, con particolare riferimento all’acustica. Tagliaventi integra l’attività didattica con quella professionale. Negli anni Settanta progetterà e costruirà a Verona l’Autogerma, magazzino centrale e sede italiana di Volkswagen.

L’Italia sta vivendo un periodo di grande espansione edilizia. La ricerca sull’architettura nel ventennio 1945-65 non può quindi essere separata da un forte impegno di tutti i membri dell’Istituto per la pratica professionale e la realizzazione delle opere. La ricerca accademica è quasi interamente a supporto della finalità progettuale; esiti principali sono i progetti michelucciani per la chiesa sull’Autostrada a Firenze (1960-64), a cui Tagliaventi partecipa come strutturista e assistente alla direzione lavori, e per gli Istituti di Matematica e Geometria dell’Università di Bologna (1955-65), a cui collabora Lugli. Con la partenza di Michelucci da Bologna nel 1962, a seguito del suo pensionamento, rimangono come testimoni del periodo precedente Tagliaventi e Lugli, uno per l’area di Architettura Tecnica, l’altro per l’area di Composizione Architettonica. Nel frattempo, l’Istituto di Architettura Tecnica cambia nome e diviene Istituto di Architettura e Urbanistica. Con l’arrivo del nuovo Direttore Fernando Clemente, nel 1965, si apre una fase diversa, con l’espansione delle materie urbanistiche e la formazione di nuovi equilibri tra le diverse discipline.

### **2.24.2c. Dalla fine degli anni Sessanta agli anni Novanta: industrializzazione edilizia, metodi sistematici di progettazione, cambiamenti dei paradigmi civili, economici e industriali**

*Andrea Guidotti*

Nel 1965, con l’arrivo a Bologna di Fernando Clemente, si ha un deciso cambiamento nell’offerta didattica e nell’organizzazione della ricerca all’interno dell’Istituto di Architettura e Urbanistica. Clemente proviene da Pisa, dove era stato assistente di Luigi Pera, professore di Architettura Tecnica, e dove aveva insegnato Urbanistica. Egli giunge come docente di Tecnica Urbanistica al posto di Michelucci e diviene Direttore dell’Istituto. In quell’anno l’insegnamento di Composizione Architettonica è tenuto per incarico da Nereo De Mayer, con assistenti Leonardo Lugli, Vittorio Zamboni,

Silvano Casini e Adolfo Dell'Acqua. L'insegnamento di Architettura Tecnica è tenuto per incarico ancora da Fabbrini, con assistenti Renzo Sansoni, Gian Luigi Agnoli, Claudio Comani e Francesco Spina. De Mayer e Fabbrini manterranno gli insegnamenti ancora per tre anni, fino al 1968. L'insegnamento di Caratteri Distributivi degli Edifici è tenuto da Clemente, con assistenti Cesare Botti e Norberto Tubi; Clemente insegna anche Tecnica Urbanistica. L'insegnamento di Edilizia Sociale è tenuto da Pierluigi Giordani, con assistenti Giampiero Cuppini e Franca Farina (primo nome di donna a comparire negli Annuari all'interno dell'Istituto). Tagliaventi rimane incaricato di Fabbricati e Costruzioni Industriali fino al 1975.

A cavallo tra gli anni Sessanta e Settanta, l'ampia formazione nel campo dell'architettura e una grande capacità organizzativa portano Clemente a invitare nell'Istituto studiosi internazionali, progettisti di società di ingegneria, realizzatori di grandi complessi e architetti di fama: Felix Candela illustra le proprie costruzioni a volta sottile e i semplici calcoli ad esse relativi, Konrad Wachsmann promuove le proprie strutture modulari e la prefabbricazione a pannelli. Con riferimento alle ricerche di Wachsmann, Clemente organizza gruppi di lavoro sui metodi di *progettazione sistematica*, in sintonia con i contemporanei studi di Serge Chermayeff e Christopher Alexander. Uno degli obiettivi del lavoro è rendere razionale la distribuzione degli spazi negli edifici complessi, superando una visione tradizionale del progetto di architettura. In quegli anni erano stati avviati nuovi studi sul progetto, che doveva scaturire, partendo da una *matrice di requisiti e relazioni*, dalle aggregazioni per giustapposizione di spazi di un organismo complesso. Ciò era reso possibile anche grazie ai nuovi programmi di calcolo su schede perforate ideati da Nicholas Negroponte al MIT; l'output dei programmi era costituito da rettangoli accostati, formati da serie di lettere impresse da una stampante che operava come un plotter primordiale.

A partire dai primi anni Settanta si intensifica dunque la collaborazione tra le persone dell'Istituto e anche le persone afferenti all'ambito disciplinare di Architettura Tecnica si conformano a questo nuovo schema organizzativo. Le competenze tendono ad integrarsi nel progetto di architettura alle varie scale e a volte a sovrapporsi. Tra i giovani allievi che Clemente sceglie nell'ambito dell'urbanistica e della pianificazione territoriale per seguire queste attività vi sono Carlo Monti, Alberto Corlaita, Celestino Porrino, Giovanni Crocioni e Piero Secondini. Tutte persone che proseguiranno la loro attività nell'Istituto – poi Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale (DAPT) dal 1993 – in posizioni di apice fino agli anni Duemila, fornendo peraltro un importante contributo operativo alla pianificazione urbanistica e territoriale della Regione.

Agli inizi degli anni Settanta un gruppo di lavoro coordinato da Clemente si occupa dei modelli insediativi dell'Università di Bologna nel proprio territorio metropolitano, con una sperimentazione progettuale sul nuovo campus di Ozzano. In questo contesto viene ideato un edificio con una strutturazione modulare e una copertura reticolare spaziale. In questo periodo si svolgono interessanti studi sull'edilizia per la didattica e la ricerca, che si avvalgono di indagini compiute presso sedi

universitarie estere (1970-72): le Università di Ginevra, di Karlsruhe, di Stoccarda e di Londra e i Politecnici di Losanna e Zurigo. Importanti sono i viaggi di studio compiuti da Adolfo C. Dell'Acqua e Fabio Selva in Svizzera, organizzando incontri con Fritz Haller presso il laboratorio di modellistica strutturale. Haller, già ospite dell'Istituto a Bologna, aveva illustrato in appositi seminari le proprie ricerche sui sistemi modulari secondo un'impostazione unitaria ed interscalare della strutturazione costruttiva a livelli di *micro*, *medio* e *macro-struttura*.

Nel periodo 1970-75 studi tipologici specifici sfociano in una proficua attività progettuale, con il coordinamento di Clemente, riguardante gli insediamenti universitari di Bologna-Ozzano, Parma e Pisa. Vi partecipano Franco Nuti, Adolfo Dell'Acqua e Alberto Pratelli. Franco Nuti è parte molto attiva nei gruppi di lavoro su temi progettuali inter-disciplinari. Rappresenta una figura di progettista e ricercatore in cui gli interessi per gli aspetti compositivi e tecnico-funzionali si fondono. Dopo la laurea con Clemente, Nuti diviene assistente di Composizione Architettonica, ma poi tiene il corso di Complementi di Architettura Tecnica dal 1975 al 1979 e quindi quello di Processi Industriali applicati all'Edilizia fino al 1984. I temi di ricerca riguardano la *progettazione sistemica* e l'*industrializzazione edilizia*, temi peraltro comuni a molti docenti dell'Istituto in quel periodo. Nel 1984 Nuti si trasferisce a Trieste in qualità di ordinario di Architettura Tecnica e, successivamente, a Firenze.

Figura centrale nelle attività progettuali promosse dall'Istituto è nella seconda metà degli anni Settanta Leonardo Lugli, allievo di Michelucci, che subentra a De Mayer come docente di riferimento del settore compositivo. Egli mantiene il ruolo di professore ordinario di Composizione Architettonica dal 1974, con una decisa autonomia rispetto all'impostazione delle ricerche nell'ambito di Architettura Tecnica, fino alla sua scomparsa nel 1988. È il Direttore dell'Istituto dopo Clemente, dal novembre 1975. La sua attività è focalizzata sulla progettazione dei nuovi quartieri di espansione della città, virando sempre più sull'impegno sociale e sul tema della *progettazione partecipata*. L'influenza di Michelucci risulta ancora abbastanza chiara nei progetti degli anni Settanta, per esempio nel progetto per il complesso delle Aule nuove della Facoltà di Ingegneria scavato nella collina sul retro dello storico edificio di Vaccaro. È un esempio di "architettura in sezione": l'edificio ha la falda di copertura che segue l'andamento a gradoni delle aule e si integra perfettamente, nonostante i cinque livelli, col profilo della collina. Negli anni Settanta Lugli è coadiuvato, oltre che da Franco Nuti, anche da Giorgio Praderio, Luisella Gelsomino e Giorgio Trebbi. Trebbi, già Direttore dell'Ufficio diocesano per le Nuove Chiese e successivamente fondatore del Centro Studi Oikos, nonché uno degli animatori del Cuore Mostra del SAIE, terrà per anni il corso di Caratteri Distributivi degli Edifici. Praderio insegnerà Disegno II e poi Composizione Architettonica, organizzando per molti anni attività di interesse anche per l'area di Architettura Tecnica. Tra queste, a riprova del carattere di interdisciplinarietà delle iniziative del Dipartimento, si cita il programma europeo Eu-City, a cura di Praderio e Dell'Acqua, promosso nel quadro di una collaborazione con gli Atenei di Barcellona e Lione e relativo al confronto tra esperienze progettuali in tema di spazio pubblico urbano. Dagli anni Ottanta

Praderio, assieme a Roberto Mingucci, è il referente dell'Istituto per l'associazione eCAADe, promotrice dell'insegnamento e della ricerca nel campo della progettazione assistita dal computer. Questo filone è oggi ancora vivo e seguito da Alessio Erioli. Alberto Pratelli lavora come Praderio nell'ambito del settore del Disegno e mantiene degli stretti rapporti tra i docenti dell'Istituto di Architettura e Urbanistica di Bologna e l'Istituto di Urbanistica e Pianificazione di Udine, organizzando vari convegni in Friuli, tra i quali si ricorda, in particolare, quello dal titolo "La trasmissione delle idee dell'architettura".

In questo contesto di varie discipline, il corso di Architettura Tecnica per Ingegneria Civile è al terzo anno ed è incaricato Giampiero Cuppini dall'A.A. 1968/69 al 1980/81. Nello stesso periodo il corso di Complementi di Architettura Tecnica – solo per la sezione Edile – è al quarto anno ed è tenuto prima da Ivo Tagliaventi, fino al 1974/75, poi da Franco Nuti dal 1975/76 al 1978/79 e da Adolfo Dell'Acqua dal 1977/78 al 1979/80. Il corso termina in quell'anno. Il settore di Architettura Tecnica si completa con l'insegnamento di Fabbricati e Costruzioni Industriali, riservato in una prima fase ad altri corsi di laurea del ramo industriale (Elettrotecnica e Chimica) e poi allargato anche ai Civili; il corso è tenuto prima da Ivo Tagliaventi, fino al 1975, poi da Adolfo Dell'Acqua e, quindi, da Claudio Comani fino al 1978/79.

Giampiero Cuppini, architetto di formazione fiorentina e allievo di Quaroni, mantiene per anni un profilo ricco di interessi: da una parte concentra la propria ricerca sull'edilizia storica – suo il noto volume sui Palazzi Senatori bolognesi, del 1974 –, dall'altra si interessa di nuove questioni tecnologiche, come quelle relative alla Normativa Tecnica e alla progettazione bioclimatica. Sul finire degli anni Settanta la crisi petrolifera fa esplodere quest'ultimo tema: sulla scia dei metodi analitici di verifica del *comfort termico* e *adattivo* introdotti alcuni anni prima da Olgyay<sup>17</sup>. Cuppini non solo trasmette questo approccio a livello didattico, ma è promotore di alcune iniziative progettuali per edifici scolastici, sperimentando tra i primi in Italia l'uso di *sistemi solari passivi* e *attivi*, anche con la collaborazione di Jacques Michel (muro solare Trombe-Michel). Questo progettista francese viene poi invitato a Bologna anche come docente a contratto nel corso di Complementi di Architettura Tecnica, tenuto da Dell'Acqua. Da ricordare anche la collaborazione di Cuppini con il *team* di Renzo Piano per alcuni innovativi progetti in Puglia in tema di *housing*.

Tra il 1979 e il 1981 si ha un riassetto degli insegnamenti tenuti dai docenti dell'area di Architettura Tecnica dell'Istituto nel corso di laurea in Ingegneria Civile sez. Edile; questo assetto durerà quasi immutato per un decennio, fino all'istituzione del nuovo corso di studi in Ingegneria Edile. A partire dall'A.A. 1980/81 Ivo Tagliaventi viene a tenere l'insegnamento di Architettura Tecnica, che passa al quarto anno; il corso viene sdoppiato e tenuto parallelamente, dall'anno successivo, anche da Adolfo Dell'Acqua. Al terzo anno viene attivato il corso di Elementi di Architettura Tecnica, tenuto per un anno da Dell'Acqua e poi stabilmente da Cuppini, fino alla fine degli

<sup>17</sup> V. Olgyay, *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, trad. italiana a cura di S. Los, Muzzio Ed., Padova 1990.

anni Ottanta. Nel 1979 l'insegnamento di Fabbricati e Costruzioni Industriali viene sostituito da Costruzioni per l'Industria, tenuto da Claudio Comani, e da Processi Industriali Applicati all'Edilizia, tenuto da Franco Nuti fino al 1985/86 e poi dallo stesso Comani dal 1986/87 al 1989/90. Qualche anno più tardi viene attivato anche il corso di Progetti per la Ristrutturazione ed il Risanamento Edilizio, tenuto da Giampiero Cuppini.

Negli anni Ottanta le ricerche di Architettura Tecnica sono in gran parte svolte con finanziamento ministeriale e coordinate a livello locale e nazionale in un primo tempo da Tagliaventi e successivamente da Dell'Acqua. Nell'ambito degli studi sulla prefabbricazione edilizia, tra la fine degli anni Settanta e gli inizi degli anni Ottanta, viene invitato a Bologna come docente a contratto di Complementi di Architettura Tecnica, tenuto da Dell'Acqua, Gyula Sebestyen, uno dei maggiori esperti nel campo della progettazione a pannelli prefabbricati. L'interesse profuso da parte dei docenti di Architettura Tecnica per gli studi relativi all'industrializzazione viene tuttavia progressivamente indirizzato verso le tematiche tipologico-ambientali applicate, in particolare, ai centri storici e all'edilizia sparsa di interesse storico-architettonico.

A partire da quegli anni, come metodo di analisi del contesto urbano, viene recepita l'impostazione metodologica di Saverio Muratori e di alcuni studiosi del metodo tipologico, come Caniggia e Maretto. Adolfo Dell'Acqua, Celestino Porrino e Vittorio Degli Esposti si avvicinano ai principi della scuola tipologica, sia nella Architettura Tecnica che nell'Urbanistica. Nella didattica si propone, in particolare, lo studio dei tipi edilizi di base e specialistici nella loro evoluzione storica e nei concetti di strutturazione e risoluzione formale. Gli studi di Norberg-Schulz stimolano l'interesse per l'inserimento compatibile del costruito nel luogo.

Ivo Tagliaventi persegue un'attività di ricerca sempre più attenta al progetto di architettura nel contesto costruito e rivolta a collaborazioni con altre Università e istituzioni a livello europeo, assieme ad Anna Barozzi e un gruppo di giovani collaboratori. In particolare, si deve ricordare la mostra internazionale "A Vision of Europe", organizzata assieme a Liam O'Connor e Gabriele Tagliaventi in collaborazione con il Prince of Wales's Institute of Architecture e la Fondation pour l'Architecture di Bruxelles, con l'intento di proporre la città e l'architettura tradizionale europee come modello di sviluppo dell'ambiente urbano contemporaneo. Giampiero Cuppini svolge la ricerca nel campo della sostenibilità ambientale e del recupero edilizio, accompagnata da un'importante attività professionale. Claudio Comani, invece, già assistente di Ivo Tagliaventi nel corso di Fabbricati e Costruzioni Industriali, si dedica ai temi dell'industrializzazione edilizia, che poi lo portano a tenere il corso di Processi Industriali applicati all'Edilizia e, negli anni Novanta, a dedicarsi all'insegnamento di Tecnica e Organizzazione dei Canteri (Ingegneria Civile) e Organizzazione del Cantiere (Ingegneria Edile ed Edile-Architettura negli anni Duemila), dopo essersi spostato nel settore di Produzione Edilizia, (staccatosi da Architettura Tecnica come settore disciplinare). L'ambito disciplinare di Produzione Edilizia, affine ad Architettura Tecnica, coinvolge, con notevoli risultati nella didattica e nella ricerca sulla fase costruttiva e realizzativa dell'opera, Francesco Spina, docente di Tecnica e



Organizzazione dei Cantieri per tutti gli anni Ottanta, e poi Maurizio Biolcati Rinaldi, ricercatore nell'ambito della *qualità edilizia* e del *controllo del processo edilizio*, fino a Marco Alvisè Bragadin, che svilupperà ancora il settore sui temi della *programmazione dei lavori* e del *project management*. In questi anni Comani promuove la ricerca sul tema del processo edilizio, dalla fase di ideazione e programmazione a quella di realizzazione e manutenzione, organizzando seminari, convegni e incontri con varie imprese operatrici del settore, soprattutto in ambito emiliano. Egli è responsabile, per conto dell'Università di Bologna, di un'intensa attività progettuale, indirizzata al recupero di importanti sedi dell'Ateneo bolognese tra cui l'Aula Magna di Santa Lucia, l'ex convento di San Giovanni in Monte e i palazzi Marescotti e Malvezzi.

Negli anni Novanta la nascita del corso di laurea in Ingegneria Edile conduce ad un ulteriore assetto delle materie d'insegnamento, che si specializzano ed allargano l'area di Architettura Tecnica, che diventa uno dei settori cardine di tale corso di studi. Architettura Tecnica rimane per il corso dei Civili, ma si sdoppia in Architettura Tecnica I e Architettura Tecnica II per gli Edili. I docenti dell'area – Adolfo C. Dell'Acqua, Ivo Tagliaventi, Anna Barozzi, Fabio Selva, Maurizio Biolcati Rinaldi, Claudio Comani – si alternano in questi tre insegnamenti fino ai primi anni Duemila. Anche Luisella Gelsomino e Franco Zerbini, dell'area di Composizione Architettonica, contribuiscono all'insegnamento di Architettura Tecnica. La stessa docente prosegue l'insegnamento di Caratteri Distributivi degli Edifici, tenuto precedentemente da Trebbi, secondo la nuova denominazione di Caratteri Distributivi e Costruttivi degli Edifici. Anche Dell'Acqua insegnerà questa materia, che verrà poi assorbita, per i propri contenuti interdisciplinari, nell'ambito di Architettura Tecnica e sarà tenuto da Dell'Acqua stesso con la denominazione di Caratteri Costruttivi e Distributivi degli Edifici. L'insegnamento di Processi Industriali applicati all'Edilizia viene sostituito, all'interno del nuovo Corso di Laurea in Ingegneria Edile, da Progettazione per l'Edilizia Industrializzata, con docenti Fabio Selva e Franco Zerbini.

A partire dai primi anni Novanta l'attività di ricerca del DAPT trova il proprio fulcro nel Dottorato di Ricerca in Ingegneria Edilizia e Territoriale, attivato sin dai primi cicli. Il Dottorato permette a vari docenti di Architettura Tecnica di altre sedi di confrontare le proprie ricerche nella sede bolognese; viene coordinato prima da Giancarlo Nuti, dell'Università di Pisa e poi, per vari anni, da Adolfo Dell'Acqua, nel periodo 1992/93 e 1995/96 e dal 2001/02 al 2010/11.

Negli stessi anni Dell'Acqua coordina a livello nazionale ricerche finanziate nel campo dell'analisi tipologica, cercando di promuovere una rete di scambi in questo ambito di studio; in tale ambito si rimarca il rilevante impegno operativo dell'architetto Vittorio degli Esposti. Nel 2001, Dell'Acqua promuove l'insegnamento di Architettura Tecnica e Tipologie Edilizie: docente è in un primo tempo Anna Barozzi, già ricercatrice con Tagliaventi dai primi anni Ottanta; nel 2003 Dell'Acqua subentra nell'insegnamento dello stesso corso. L'insegnamento si prefigge di sistematizzare e approfondire i concetti accennati in altri insegnamenti, tra cui Architettura Tecnica II tenuto da Dell'Acqua stesso. I temi proposti riguardano la lettura interscalare dell'ambiente antropizzato (ambiti territoriale, urbano, edilizio, architettonico),

la genesi degli isolati urbani e l'evoluzione dei tipi, intesi come organismi architettonici, edilizi e urbani. L'approfondimento di queste conoscenze di analisi storica, non sempre presenti negli insegnamenti curriculari, sono utili nel ciclo edilizio contemporaneo sempre più orientato al recupero del costruito.

Nella seconda metà degli anni Novanta viene attivato da Giampiero Cuppini, Alessandro Cocchi e Franco Sandrolini un corso post-laurea di perfezionamento in Edilizia Bioecologica, per il quale si evidenzia l'attiva partecipazione di Fabio Selva. Negli anni 2001/11 il corso post-laurea diventa Master in Architettura Ecosostenibile, sotto la direzione di Carlo Monti.

Una significativa attività di ricerca è coordinata da Cuppini nel campo del recupero e coinvolgerà in modo interdisciplinare i docenti del DAPT, sarà costituita negli anni 1998-2000 dal "Progetto Mura" (1998-2000); tale attività, scaturita da un accordo di cooperazione con il governo di Malta riguarderà lo studio di fattibilità sul recupero delle mura e, in particolare, della chiesa di Santa Caterina a La Valletta. In tema di ricerca sul patrimonio storico, si inquadrano gli studi di Cuppini sulle ville bolognesi e sui progetti degli architetti italiani a San Pietroburgo.

Nell'ambito degli studi storici dell'Architettura Tecnica, si evidenzia l'attività di Giuliano Gresleri, architetto e ricercatore nell'Istituto dal 1977. L'attività è documentata da numerosi contributi sulla storia dell'Architettura Moderna – in particolare di quella bolognese –, con interessi specifici proprio per le realizzazioni degli ingegneri della Scuola di Applicazione di Bologna tra Ottocento e Novecento, attraverso importanti mostre e la costituzione dell'archivio di architettura dell'Ateneo.

Le vicende degli anni Duemila, che prima hanno trasformato la Facoltà di Ingegneria in Scuola di Ingegneria e Architettura e poi hanno portato alla formazione del Dipartimento di Architettura (DA) sulla precedente struttura del DAPT e al suo distacco dalla Scuola, hanno condotto ad un nuovo ampliamento di discipline e ad un'organizzazione della ricerca molto più complessi, che non sono oggetto di questo contributo. Quando viene aperto il corso di studi in Ingegneria Edile - Architettura, nel 2002, le denominazioni degli insegnamenti subiscono ancora delle modificazioni e vengono creati nuovi insegnamenti. Il DA, organizzato in più sedi secondo la logica del Multicampus – risultato, in un certo senso, anche degli studi intrapresi negli anni Settanta nell'Istituto –, si arricchisce di molte persone: i docenti della sede di Bologna insegnano nel corso di studi in Ingegneria Edile - Architettura, mentre i docenti della sede di Cesena insegnano prevalentemente nel corso di studi in Architettura. I due corsi vivono di una certa autonomia. Con l'arrivo di Gianni Braghieri all'inizio degli anni Novanta il cuore della Composizione Architettonica si sposta a Cesena nella nuova Facoltà di Architettura che Braghieri stesso contribuisce a fondare. Nello stesso tempo il gruppo di collaboratori di Lugli (Luisella Gelsomino, Ottorino Marinoni, Franco Zerbini e Gabriele Giacobazzi) prosegue autonomamente e per più di due decenni l'insegnamento della disciplina a Bologna, nei corsi di Ingegneria Edile-Architettura. L'area dell'Architettura Tecnica rimane collegata con la sede di Bologna e con Ingegneria, mentre a Cesena si sviluppa quella della Tecnologia dell'Architettura.

Con l'uscita fuori ruolo di Anna Barozzi, Giampiero Cuppini, Adolfo Dell'Acqua e Vittorio Degli Esposti, dal 2012 il gruppo bolognese di Architettura Tecnica è composto da quattro persone: Riccardo Gulli, Annarita Ferrante, Luca Guardigli e Giovanni Mochi. Marco Alvise Bragadin fa parte invece del settore affine di Produzione Edilizia (ICAR 11). Le ricerche di Architettura Tecnica (ICAR10), necessariamente più competitive a livello internazionale e a minor orientamento progettuale rispetto a quelle condotte vent'anni prima, anche in seguito all'introduzione di nuovi stringenti criteri di controllo e valutazione, si orientano verso l'analisi dei processi tipologici, il recupero del costruito, la storia della costruzione, la riqualificazione ambientale e la sostenibilità nel progetto e nella costruzione. Di seguito si riportano alcuni approfondimenti su questi attuali ambiti di ricerca.

#### 2.24.2d. Architettura, tecnica costruttiva e processo tipologico

*Adolfo Cesare Dell'Acqua*

Nell'ampio e articolato quadro di discipline che connotano gli ambiti dell'Ingegneria Civile e dell'Ingegneria Edile - Architettura, l'Architettura Tecnica svolge specificamente un ruolo di cerniera e di raccordo tra l'applicazione dei procedimenti e dei sistemi costruttivi, l'organizzazione dell'impianto spaziale-distributivo e la risoluzione formale dell'intera compagine dell'organismo architettonico.

In tale ambito, lo studio dei caratteri tecnologici e ambientali dell'organismo costituisce un aspetto fondamentale della progettazione, con particolare riferimento al ruolo dei materiali e delle tecniche nel conseguimento della qualità dell'oggetto architettonico, in rapporto al contesto d'inserimento. Nell'ottica di un inquadramento storico del processo edile ai diversi livelli e scale ambientali, s'impone il superamento di una visione "tecnicistica" e "parzializzante" – ed essenzialmente "economicistica" – della progettazione e produzione edilizia, come tale svincolata dalle reali esigenze dell'ambiente culturale e sociale di riferimento<sup>18</sup>.

A tale proposito, gli studi condotti sui caratteri ambientali di specifici organismi insediativi, mediante un approccio *fenomenologico* alla storia del luogo<sup>19</sup>, sottolineano l'importanza di una nuova concezione globale e sintetica del tipo edilizio, che trova riferimento in una stretta correlazione tra le sue componenti materiche, strutturali-costruttive, spaziali e formali.

L'accezione di *tipo* come schema classificatorio viene superata per assumere il significato di *struttura* di un processo che caratterizza lo sviluppo formativo di uno specifico ambiente costruito. La rivalutazione della componente tecnico-costruttiva si inquadra, quindi, in una visione unitaria del processo formativo dell'organismo

<sup>18</sup> Sul concetto di *umanizzazione* delle scelte tecniche v. S. Muratori, *Architettura e Civiltà in crisi*, Centro studi di Storia urbanistica, Roma 1963; E. De Carli, E. Scatà (a cura di), *Antologia critica degli scritti di Saverio Muratori*, Alinea, Firenze 1991.

<sup>19</sup> Sul metodo fenomenologico nella lettura del luogo costruito, cfr. C. Norberg-Schulz, *Architettura: presenza, linguaggio e luogo*, Skira, Milano 1996.

architettonico, nei rapporti che intercorrono tra le fasi di valutazione logica dei materiali, attuazione tecnico-economica della struttura costruttiva, organizzazione dell'impianto spaziale-distributivo e risoluzione formale dell'organismo<sup>20</sup>.

Per questo approccio a una concezione globale della strutturazione architettonica, occorre una procedura critico-operativa, nella quale si realizzi l'integrazione tra "mezzo tecnico" e finalità dell'architettura. La fase applicativa della tecnica rientra, pertanto, in una ricostruzione del processo tipologico che faccia riconoscere la continuità storica, la cultura e il linguaggio edilizi di uno specifico ambiente costruito. Attraverso la tecnica si può, così, ripercorrere il cammino storico che contraddistingue lo sviluppo del processo edile in una determinata area culturale.

Nel quadro di questa ricostruzione storico-tipologica dei fenomeni insediativi, un ruolo fondamentale viene svolto, pertanto, da una tecnica positivamente orientata a connettere la valutazione logica, relativa all'impiego di materiali e all'applicazione dei procedimenti costruttivi, in modo rispondente ai caratteri ambientali di uno specifico luogo di inserimento. Una lettura integrata dei diversi tipi insediativi nelle loro fasi formative consente, inoltre, di legare la *memoria* del luogo ai suoi caratteri di identità e organizzazione spaziale. Il rapporto della strutturazione costruttiva con il luogo fisico e costruito, con i materiali e la *consuetudine edilizia* locale porta, quindi, a una *revisione critica* del ruolo svolto dalla componente tecnologica nella progettazione dell'organismo edilizio e architettonico.

Sulla base del rapporto biunivoco tra tecnica e luogo, si richiede necessariamente una nuova impostazione anche nella fase produttiva di materiali, elementi tecnici e componenti. Questa nuova prospettiva porta, infatti, a una revisione delle diverse attività del processo edile e delle loro implicazioni normative, non più viste in un'ottica settoriale, ma allargata alle molteplici esigenze dell'inserimento ambientale. Nell'*inquadramento dinamico* delle varianti tipologiche, è, pertanto, individuabile una stretta connessione con il *metodo fenomenologico* relativo alla lettura di *spazi, forme e configurazioni* concrete del luogo<sup>21</sup>; secondo questo indirizzo metodologico, i caratteri di *permanenza* e *mutazione* esprimono l'aderenza al divenire storico e alle continue trasformazioni del contesto sociale di riferimento.

Il recupero di una visione unitaria e sintetica della tecnica trova una totale corrispondenza nell'inquadramento tipologico, secondo un globale coinvolgimento di tutte le componenti e di tutti i rapporti complementari che intervengono nel processo formativo degli organismi insediativi alle successive scale. Al riguardo, si può osservare che questa impostazione unificante spesso non trova riferimento sia nelle esperienze didattiche e di ricerca che nell'elaborazione progettuale, dove prevale uno studio analitico e settoriale, caratterizzato da un'ottica di aggregazione e montaggio di singoli elementi tecnici o componenti industrializzati<sup>22</sup>.

<sup>20</sup> Cfr. E. Benvenuto, *Architettura e Tecnica*, «L'Architettura – cronache e storia», n. 360, 1985.

<sup>21</sup> Sui *momenti d'uso del luogo* e sulle componenti ambientali di *spazio, forma e figura*, cfr. C. Norberg-Schulz, *Architettura*, cit.

<sup>22</sup> P. Maretto, *Realtà naturale e Realtà costruita*, Alinea, Firenze 1984; G. Cataldi, *Lezioni di architettura*, Alinea, Firenze 1981.

L'indagine sul costruito, nelle sue fasi costitutive, realizza invece un'efficace strumentazione per l'intervento progettuale, superando le carenze dovute a un quadro normativo specialistico, che tende a settorializzare le prestazioni riferite alle singole parti della costruzione. Una lettura critica dell'organismo architettonico evidenzia, quindi, il rapporto di consequenzialità logica tra scelte materico-costruttive e luogo fisico e costruito d'inserimento. Occorre, pertanto, individuare *zone di strutturazione* in una prospettiva d'insieme delle diverse parti d'involucro, nelle loro connessioni con i caratteri ambientali del patrimonio edilizio preesistente.

Il rapporto tra scelte materico-costruttive e luogo d'inserimento, porta a individuare, nell'iter progettuale, diversi *gradi di organicità* – a livello strutturale, funzionale-spaziale e formale –, corrispondenti alle fasi di sviluppo del processo tipologico. Viene così a realizzarsi (in modo organico) un'interdipendenza tra contesto costruito e ambiente produttivo, in grado di rispondere da un lato, al variare delle esigenze abitative e delle risorse locali, dall'altro, ai caratteri ambientali individuati nella ricostruzione tipologica. Le tecniche costruttive, esecutive e produttive coinvolgono, nel processo formativo degli organismi insediativi, l'insieme dei diversi livelli scalari. L'integrazione della tecnica con le altre componenti dell'organismo ambientale, alle diverse scale d'intervento, si inquadra, pertanto, nelle fasi operative dell'intero processo edile, non più considerato in un'ottica essenzialmente economico-produttiva, ma secondo una visione allargata all'intero quadro esigenziale.

Il metodo tipologico, essenzialmente caratterizzato da una lettura progettuale, tende a una ricostruzione storico-critica dei processi insediativi; in tale finalità progettuale, si evidenzia, pertanto, una sostanziale aderenza alle trasformazioni del luogo naturale e costruito. Questo carattere di apertura alle *mutazioni ambientali* corrisponde a una *lettura dal vero* dei fenomeni insediativi, orientata ad una *tipologia ambientale*<sup>23</sup> come sintesi dei processi progettuali alle successive scale d'intervento. In tale inquadramento dinamico delle varianti tipologiche, i caratteri di permanenza e di mutazione assicurano, pertanto, l'aderenza al divenire storico e alle continue trasformazioni del contesto locale di riferimento.

Quanto esposto nelle precedenti considerazioni sul metodo tipologico nella lettura del contesto costruito e sulle tematiche concernenti i rapporti tra tecniche costruttive e caratteri ambientali, fa riferimento a studi e progetti di ricerca svolti da diversi anni presso il Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale (oggi Dipartimento di Architettura), per la maggior parte condotti in collaborazione con altri Dipartimenti e Centri di Ricerca operanti a livello nazionale e internazionale.

Le ricerche, anche in stretta connessione con l'attività didattica, hanno riguardato essenzialmente i seguenti ambiti tematici:

- valutazione della qualità edilizia e architettonica in rapporto ai requisiti tecnologici e ai caratteri tipologici di organismi edilizi di base;

<sup>23</sup> Sui concetti di tipo e organismo ambientale cfr. G. Caniggia, G.L. Maffei, *La lettura dell'edilizia di base*, Marsilio, Venezia 1979; Id., *Il progetto nell'edilizia di base*, Marsilio, Venezia 1987.

- lettura del linguaggio tecnico-architettonico in specifici contesti costruiti, con riferimento ai criteri di intervento progettuale;
- lettura operante e progetto;
- condizioni di operatività ambientale e adeguamento normativo;
- tecniche costruttive tradizionali e loro evoluzione nei contesti insediativi minori, in rapporto ai criteri di salvaguardia ambientale;
- fattori di rendimento e linee-guida negli interventi di riqualificazione ambientale;
- adeguamento tecnologico e ambientale, in relazione alla lettura tipologica di organismi e tessuti edilizi residenziali nel loro sviluppo storico.

### 2.24.2e. Gli ambiti del recupero edilizio e della storia della costruzione

*Giovanni Mochi*

Tra i temi in cui si sono declinate nel tempo le attività didattiche e di ricerca nel settore dell'Architettura Tecnica comparvero, agli inizi degli anni Ottanta del secolo scorso, anche il *recupero edilizio* e la *storia delle tecniche edilizie*. Fu Enrico Mandolesi che, in un suo intervento al Convegno "Metodi e risultati delle ricerche svolte nelle Facoltà di Ingegneria nell'ambito delle discipline architettoniche"<sup>24</sup>, tenutosi a Trieste nel 1982, delineando le competenze proprie dell'area disciplinare dell'Architettura Tecnica, sottolineò con chiarezza come i due ambiti citati dovessero caratterizzare il settore, oltre a quelli della progettazione e dei procedimenti costruttivi, degli aspetti funzionali e delle tipologie costruttive, della guida e controllo del processo edilizio, del controllo ambientale, degli impianti tecnici e delle tecniche di elaborazione automatica del processo edilizio.

Sino a quel momento gli interessi del settore erano stati concentrati principalmente sull'industrializzazione nel settore delle costruzioni, seguendo le necessità di sviluppo edilizio conseguenti alla crescita ed allo sviluppo della nazione, ma la crisi economica e sociale della seconda parte degli anni Settanta costrinse ad un ripensamento anche delle tematiche su cui concentrare le azioni di ricerca e le attività didattiche. Anche la risonanza internazionale ottenuta dall'esperienza dei piani di recupero del centro storico bolognese ebbe una notevole importanza nell'indirizzare gli interessi accademici del settore disciplinare verso una sempre maggiore attenzione al *patrimonio edilizio esistente*.

Ulteriormente, si crede che non furono secondarie, ai fini di una maggiore presa di coscienza, le vicende connesse alle crisi sismiche prima del Friuli (1976) e successivamente dell'Irpinia (1980) che misero a nudo come le comunità accademiche non avevano sufficienti conoscenze e competenze da mettere in campo ai fini sia di una cosciente ricostruzione, sia in termini di strategie per la prevenzione<sup>25</sup>.

<sup>24</sup> Cfr. M. Pugnaletto (ed.), *Operosità di Enrico Mandolesi*, coordinam. tra centro studi del CNI e redaz.: M. Pittau; elab. grafica e impaginaz.: A. Russo, 2 v., Gangemi, Roma 2007.

<sup>25</sup> Antonio Giuffrè fu tra i primi a studiare il comportamento dei tessuti storici ai fini della prevenzione. A. Giuffrè (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Laterza, Bari 1993.

Seguendo quindi un percorso di rinnovamento, dettato anche dalle evoluzioni normative in atto negli anni Ottanta in merito alla riorganizzazione degli studi universitari e specificamente di quelli nel settore dell'architettura, ecco che le diverse sedi dove operavano docenti di Architettura Tecnica iniziarono ad attivare corsi mirati al recupero del patrimonio esistente.

A Bologna, con l'apertura nel 1990 del corso in Ingegneria Edile, conseguente all'emanazione del D.P.R. 20/05/1989, venne attivato il corso di Progetti per il Risanamento ed il Recupero Edilizio inserito al V anno di corso. Esso venne affidato a Giampiero Cuppini. Il docente indirizzò l'attività didattica anche verso le costruzioni di notevole valore architettonico per cui l'insegnamento si avvicinò ai caratteri propri di un corso di Restauro dell'Architettura, ambito che il docente praticava con merito anche nel campo professionale.

Con l'apertura del corso di Ingegneria Edile - Architettura (A.A. 2002/03), diventando obbligatorio l'insegnamento di Restauro Architettonico specificamente dedicato alle costruzioni monumentali, venne aperto il corso di Recupero e Conservazione degli Edifici, affidato a Claudio Galli e ad altri collaboratori di Giampiero Cuppini, da quel momento docente di Restauro.

Nel novembre 2003 giunse a Bologna Riccardo Gulli, mentre l'anno precedente aveva preso servizio, in qualità di ricercatore universitario, Giovanni Mochi. I due avevano avuto esperienze nella ricostruzione conseguente al sisma umbro-marchigiano del 1997/98 ed iniziarono ad inserire nei programmi di insegnamento i temi propri del *recupero edilizio in ambito sismico*. Quindi il corso di Recupero e Conservazione degli edifici si consolidò negli anni, sotto la guida di Gulli e, successivamente, con la collaborazione di Giovanni Mochi, come insegnamento opzionale dedicato ai temi del recupero in ambito sismico, con una parte dedicata anche alla *riqualificazione energetica del patrimonio esistente*.

Negli ultimi anni anche il corso di Restauro Architettonico, assegnato a Claudio Galli dopo l'uscita dall'insegnamento di Cuppini, contempla temi didattici inerenti al comportamento degli edifici murari sotto sisma, come d'altra parte anche il corso di Architettura Tecnica II, sino all'A.A. 2017/18 ha fornito agli studenti le conoscenze di base necessarie all'analisi degli edifici murari esistenti in contesti sismici ed all'individuazione degli interventi idonei a garantire un *miglioramento* delle condizioni di sicurezza strutturale in caso di azioni orizzontali.

Oltre che nella didattica, il recupero edilizio in ambito sismico viene declinato in diversi temi di ricerca, specialmente indirizzati verso la definizione di protocolli operativi idonei a stimare la *vulnerabilità* di specifici tipi edilizi e degli aggregati costituenti i centri storici e nella sperimentazione su soluzioni innovative di intervento su edifici esistenti.

In continuità e in collegamento con studi e ricerche tra diversi anni in corso presso l'attuale Dipartimento di Architettura sui temi del rapporto tra l'Architettura Tecnica e le tipologie edilizie si colloca l'ambito della Storia della Costruzione. Esso caratterizza gli interessi di alcuni docenti del settore dell'Architettura Tecnica. I temi maggiormente indagati riguardano le costruzioni voltate sottili in laterizio e quelle

in pietra da taglio, le capriate lignee, le vicende e gli artefici della comparsa e della diffusione del conglomerato cementizio armato a Bologna e, più in generale, la costruzione moderna italiana.

Questo indirizzo di studi, emerso nel panorama internazionale con l'organizzazione di convegni a cadenza triennale che raccolgono centinaia di ricercatori (a partire dal primo congresso di Madrid nel 2003) connota l'ambito dell'Architettura Tecnica in maniera peculiare poiché da sempre il settore pone particolare attenzione ai temi della costruzione dell'architettura. L'interesse mostrato dal settore per i temi sul recupero del patrimonio esistente ha comportato anche la rinascita delle ricerche sulle tecniche costruttive del passato, passo necessario per non incorrere in errori interpretativi e per eliminare interventi inappropriati sul patrimonio edilizio esistente; ciò ha creato un sempre maggiore interesse verso riflessioni che più in generale tendono ad occuparsi non solo della comprensione degli aspetti tecnici della costruzione storica, funzionale alla definizione degli interventi, ma anche delle condizioni e delle conoscenze che hanno permesso tali soluzioni.

A riprova della fortuna incontrata da quest'ambito di studi nel settore disciplinare dell'Architettura Tecnica può essere considerata l'alta percentuale di ricercatori del settore che partecipano ai congressi internazionali, come anche alle sessioni nazionali che le diverse società scientifiche organizzano nei propri Paesi (Spagna, Francia, Regno Unito e Stati Uniti in particolar modo). Ricercatori bolognesi hanno presentato ed esposto le proprie memorie in ciascuno dei congressi internazionali che si sono tenuti in questo ambito e allo stato attuale si registra il perdurare di ricerche sui temi della Storia delle Costruzioni, in maniera continuativa ed aperta anche a spunti innovativi di indagine.

## **2.24.2f. L'assetto disciplinare e gli orientamenti culturali del restauro architettonico**

*Claudio Galli*

Nell'ambito dell'offerta formativa dell'Ateneo bolognese nel 2001, come già avvenuto a Roma, Pavia e L'Aquila, viene attivato il corso di laurea magistrale a ciclo unico in Ingegneria Edile-Architettura. Il corso offre una laurea ad accesso programmato in linea con la Direttiva CEE 384/85 che prevede l'armonizzazione delle figure professionali nel settore dell'architettura all'interno degli Stati membri ed è conforme al D.M. 270/2004 che regola l'attuale Ordinamento universitario.

Il D.P.R. 328/2001 relativo ai requisiti per l'ammissione agli esami di Stato, sancisce che i laureati in Ingegneria Edile - Architettura possono iscriversi sia all'Ordine degli Ingegneri che all'Ordine degli Architetti: altre, successive normative andranno a meglio definire i requisiti professionali, il riconoscimento del titolo e le nuove regole per la mobilità dei professionisti in Europa. Il piano di studi del nuovo corso di laurea prevedeva quale materia di indirizzo l'insegnamento di Restauro Architettonico, che per la prima volta faceva ingresso nella facoltà di Ingegneria del nostro Ateneo.



L'insegnamento di Restauro Architettonico trae le sue origini nel contesto dell'attivazione della Regia Scuola superiore di Architettura di Roma (1920) ad opera di Gustavo Giovannoni, che l'aveva considerato disciplina fondamentale per la formazione dell'architetto e aveva mantenuto per sé la cattedra, mentre nelle Facoltà di Ingegneria non è stata materia di insegnamento per molti decenni. Insegnamenti afferenti al recupero del patrimonio edilizio nell'Ateneo bolognese saranno introdotti rispettivamente nel 1985 per il corso di laurea in Ingegneria civile, Sez. Edile e nel 1991 per il corso di laurea in Ingegneria Edile, ma furono ricondotti al raggruppamento disciplinare di Architettura Tecnica (ICAR 10), non essendo equiparate le lauree di questi corsi a quella in Architettura.

La prima lezione di restauro ebbe luogo il 24 settembre 2001.

In sostituzione di Giampiero Cuppini (affidente al raggruppamento disciplinare di Architettura Tecnica) la lezione fu tenuta da Claudio Galli che manterrà il corso continuativamente dal 2005, anno della presa di servizio in qualità di ricercatore, primo strutturato dell'Ateneo nel raggruppamento disciplinare ICAR 19. *Ricerca filologica e tensione interpretativa* costituiscono la base metodologica nell'approccio agli studi di tale disciplina, poiché il significato del testo architettonico che è fatto di segni, tracce e linguaggi, impegna in un dialogo attento e ravvicinato con la realtà del manufatto stesso e precede qualsivoglia *intervento o progetto di restauro*.

La complessità delle questioni legate al restauro infatti richiede una formazione ampia e *multidisciplinare* in quanto, a fianco delle discipline tecniche e scientifiche, il professionista deve possedere competenze e sensibilità di carattere *storico-critico*, estetico ed etico, dovendo intervenire su edifici portatori di molteplici valori, tutelati ai sensi del d.lgs. 42/2004, il c.d. Codice Urbani.

Con i colleghi di Architettura Tecnica e Recupero e Conservazione degli Edifici, Giovanni Mochi e Riccardo Gulli, si è creata una sinergia di pensiero in merito alla ricerca di modalità di intervento sulle strutture murarie, anche se con sfumature diverse ma con linee di pensiero convergenti nel convincimento che solo con una rigorosa modalità conoscitiva si possano sviluppare le istanze conservative e del restauro, affinché la trasmissione del bene al futuro sia un atto consapevole della storicità dell'agire umano.

La disciplina costituisce pertanto una sorte di ponte fra materie scientifiche e umanistiche che dialogano per raggiungere l'obiettivo ultimo costituito dalla *conservazione del bene culturale*<sup>26</sup> ed è pertanto contrassegnata da una forte connotazione legata alla ricerca. Il corso intende fornire agli studenti gli strumenti concettuali utili all'elaborazione del progetto di restauro, quale momento di dialogo e sintesi interdisciplinare, in cui convergono giudizio storico-critico e capacità tecnico-scientifiche<sup>27</sup>.

<sup>26</sup> Cfr. M. Dezzi Bardeschi, *Restauro: punto e da capo. Frammenti per una (impossibile) teoria*, Franco Angeli, Milano 1991; Id., *Restauro: due punti e da capo*, Franco Angeli, Milano 1994.

<sup>27</sup> Cfr. G. Carbonara, *Avvicinamento al restauro. Teoria, storia, monumenti*, Liguori, Napoli 1997; Id. (dir.), *Trattato di restauro architettonico*, UTET, Torino 1996; P. Marconi, *Arte e cultura della manutenzione dei monumenti*, Laterza, Bari 1984.

Tale obiettivo viene perseguito fornendo un panorama generale della storia del restauro e un quadro teorico di riferimento della disciplina, illustrando ed educando alla comprensione delle specificità architettoniche dell'edilizia storica e delineando, inoltre, gli strumenti metodologici e operativi per un corretto approccio alla disciplina e al progetto.

Ne consegue che la modalità di insegnamento portata avanti nel laboratorio, che affianca e integra le lezioni frontali, viene concepita quale autentico esercizio integrato di ricerca e didattica per consentire agli allievi di impadronirsi delle competenze utili ad indagare in settori ancor da loro poco trattati e in cui l'innovazione delle tecniche di intervento è tuttora in fieri. Ciò al fine di praticare una corretta valutazione culturale e critica del manufatto storico e del suo contesto ambientale, operazione propedeutica alla definizione del progetto di restauro e di conservazione, che gli studenti affrontano con ottica professionalizzante. Indagini archivistiche, rilievo manuale e con strumentazioni e uso di tavole tematiche sono azioni che acquistano valore se vengono condotte intrecciando fra loro le informazioni provenienti dalle diverse fonti con la realtà del monumento per poi elaborarle in forma critica.

Questo al fine di comprendere i complessi significati reconditi dell'opera e il valore da attribuirsi ai restauri succedutisi nel tempo.

Di particolare interesse è risultata la ricerca sull'origine della formazione di una *cultura del restauro* a Bologna all'epoca sia delle Commissioni Ausiliarie che Conservatrici. Questo ha portato a documentare in modo sempre più approfondito il contributo che i restauratori locali hanno apportato nella formazione di una sensibilità nei confronti della tutela dell'intero tessuto storico e non solo delle emergenze. Tale sensibilità, che si diffonderà nel tempo su tutto il territorio nazionale, chiarisce come i restauratori abbiano concepito interventi conservativi in anticipo sui tempi, sia in campo pittorico – grazie a personaggi come Marcello Oretti, Luigi Crespi e Francesco Algarotti – che architettonico.

Nel caso di Bologna, questo approccio ha rappresentato un'innegabile occasione per affrontare temi di ricerca ancora non sufficientemente praticati, quali lo studio dei caratteri tecnici, costruttivi e formali dell'architettura locale, per la definizione di un Atlante dell'architettura bolognese e per il superamento di preconcetti e semplificazioni ideologiche, che per troppo tempo hanno caratterizzato le ricerche sulla storia del restauro locale.

## **2.24.2g. Gli ambiti della riqualificazione ambientale e della sostenibilità nel progetto e nella costruzione**

*Annarita Ferrante*

Uno fra i temi di grande interesse nel settore della ricerca e della didattica per l'architettura nell'ambito dell'Ingegneria è certamente rappresentato dalla *qualificazione ambientale* e dalla *sostenibilità* applicate al progetto tecnico dell'architettura.

A Bologna, come in molte scuole universitarie, sono stati creati corsi per l'insegnamento del design e dell'architettura sostenibile, sia in risposta alle crescenti sfide e richieste di sviluppare nuove idee per un design e una costruzione compatibile con l'uomo e l'ambiente, sia per definire le modalità di sviluppo verso un futuro più sostenibile per gli edifici esistenti, per il tessuto e per le infrastrutture urbane. Recentemente, inoltre, in seguito alla pubblicazione delle recenti normative a livello internazionale e nazionale, che richiedono un impatto energetico degli edifici nella fase di funzionamento «quasi zero»<sup>28</sup>, il concetto di sostenibilità ha intrapreso un percorso di convergenza con gli aspetti relativi all'efficienza energetica, in quanto più direttamente connesso ed integrato con il progetto e la costruzione degli edifici.

Tali prescrizioni, inizialmente concepite per la nuova costruzione, si sono poi trasferite anche all'ambito della *riqualificazione*, settore che domina ormai da anni la scena della trasformazione dell'ambiente costruito. Difatti, l'interesse crescente che oggi alimenta gli studi sulla riqualificazione architettonica e prestazionale del patrimonio esistente ha origine e si consolida come conseguenza ed esito del lungo processo espansivo del mercato edilizio, che a partire dal secondo dopoguerra ha catalizzato gli investimenti economici e le risorse professionali generando una sostanziale saturazione delle aree urbanizzate ed una forte flessione della domanda di nuovi insediamenti. Tale interesse è naturalmente generato anche dalla mutata sensibilità che ha accompagnato dagli anni Novanta l'ingresso dei temi della sostenibilità nel campo dell'innovazione di prodotti e componenti ed in quello dei processi progettuali che governano le pratiche di intervento. Nell'ambito di un'edilizia eco-sostenibile, già a partire dalla fine degli anni Settanta Giampiero Cuppini aveva compiuto studi innovativi, sulla base delle esperienze europee. Più recentemente, Anna Barozzi negli anni Novanta e, quindi, Annarita Ferrante e Luca Guardigli, hanno continuato studi e ricerche in tale direzione.

All'ambito delle pratiche d'intervento appartiene la rinnovata attenzione assegnata al comparto della *riqualificazione energetica e architettonica*, quale frontiera aperta alla sperimentazione di strategie di intervento e criteri applicativi, volti a risolvere la duplice sollecitazione della conservazione delle identità originarie e dell'adeguamento agli attuali requisiti prestazionali in materia energetica.

Le valutazioni di ordine generale, a cui corrispondono i dettati normativi oggi in vigore, appaiono però fortemente condizionate dalle specificità correlate alla variabilità delle condizioni climatiche e alla eterogeneità dei caratteri tipologici e costruttivi del patrimonio esistente. Una risposta coerente a tali istanze viene pertanto oggi ricercata attraverso l'individuazione di porzioni del patrimonio costruito sufficientemente omogenee per essere trattate a sistema, ovvero di insiemi di edifici accomunati da una serie di indicatori che consentano la messa in atto di pratiche di intervento unitarie, all'interno di una stessa area geografica e in un determinato confine temporale.

---

<sup>28</sup> Si vedano in particolare la Direttiva Europea 31/2010/CE e le varie leggi e decreti di recepimento italiani e dell'Emilia-Romagna.

In questo contesto della riflessione critica si muove dunque lo spirito che alimenta gli insegnamenti della sostenibilità nell'ambito del progetto tecnico dell'architettura, incrociando anche sentieri inesplorati in cui coesistono, arricchendosi a vicenda, diversi indirizzi di indagine: dalla riflessione sulla natura tecnica dei prodotti, a quella sulla rispondenza ai criteri di funzionalità d'uso e prestazionale, fino al design associato alla *riconfigurazione architettonica* dell'involucro, dell'edificio e degli spazi aperti di pertinenza del costruito.

Si tratta di un campo di indagine che si apre ad accogliere una sinergia multidisciplinare e interscalare e che trova, nei suoi obiettivi costituenti, quelli della formulazione di criteri, metodi e strumenti per il progetto; oltre a questo si riscontra una sicura rispondenza alla sfera di interesse del progetto tecnico dell'architettura e alla sua evoluzione in termini di sostenibilità fisico-ambientale e sociale.

Oggi, infatti, in un periodo di profonda trasformazione sociale, culturale ed economica, anziché ipotizzare grandi piani edilizi di nuova concezione, appare sempre più adeguato indirizzare le ipotesi di trasformazione del costruito verso operazioni di riqualificazione e rinnovamento del patrimonio edilizio esistente, attraverso interventi incentrati sulla qualità tecnico-costruttiva e figurativa degli edifici e dei relativi spazi di pertinenza, includendo la rispondenza ad una dimensione socio-orientata delle scelte tecniche e progettuali. In tali ambiti del costruito esistente, soprattutto se inseriti in contesti urbani, è dunque necessario instaurare un preciso rapporto di corrispondenza tra forma, struttura e funzione, traendone occasione di re-interpretazione e valorizzazione dell'esistente inteso quale risorsa ambientale, nell'integralità delle sue componenti.

Viene così stabilito il quadro di riferimento per una lettura operativa, che diventa la matrice di origine delle ipotesi progettuali: le esigenze climatico-ambientali vengono combinate con la necessità di realizzare luoghi di catalizzazione pubblica e sociale; tale comprensione del luogo, seguendo un inquadramento fenomenologico, appare in grado di ricomporre, in un insieme unitario e riconoscibile, i flussi di arrivo, di sosta e di partenza, le attrattività – sia potenziali che in essere – del paesaggio costruito e del paesaggio naturale circostante<sup>29</sup>.

Gli obiettivi generali di sostenibilità ambientale e di contenimento/azzeramento dei consumi energetici nel progetto e nella costruzione dell'architettura devono, soprattutto quando inseriti nell'ambito della riqualificazione dell'esistente, essere necessariamente affiancati anche dalla ricerca sulle tecniche e sulle modalità finalizzate all'utilizzo contestualizzato dei sistemi passivi e attivi di controllo energetico e ambientale. È infatti necessario riportare l'attenzione su alcuni aspetti legati al tema della sostenibilità e della qualificazione energetica. Il recupero dell'esistente, la nuova progettazione e l'inserimento delle tecnologie per il risparmio e la produzione dell'energia possono – e devono – essere considerate come possibilità di ulteriore qualificazione dell'architettura alle diverse scale del costruito, dall'integrazione spaziale ed

<sup>29</sup> M. Santamouris (a cura di), *Energy and Climate in the Urban Built Environment*, James & James (Science Publisher)/Earthscan, London 2001.

urbana alle tecnologie d'involucro. È importante verificare la possibilità di attivare una convergenza fra l'utilizzo di questi sistemi, siano essi passivi che attivi, e la forma costruita del progetto architettonico<sup>30</sup>.

In tale prospettiva, il tema della riqualificazione energetica dell'esistente può diventare occasione per una promozione della qualità edilizia ed urbana di ampie proporzioni. Pensiamo alle opportunità offerte dalla presenza del vasto patrimonio rappresentato dagli immobili dell'edilizia sociale, le cui necessità di recupero sono peraltro dettate anche dalle mancate caratteristiche di rispondenza ai dettami normativi attuali. Ci riferiamo a tutti gli ambiti di riqualificazione urbana caratterizzati dalla presenza di un patrimonio edilizio dismesso con potenzialità di riconversione (per esempio, le strutture commerciali ed industriali). Riflettiamo, infine, su tutte quelle occasioni, anche non necessariamente identificate o codificate dalla strumentazione normativa, che consentano una più ampia applicazione delle tecnologie finalizzate al controllo ambientale e all'efficienza energetica. Si tratta di ambiti tematici i cui orizzonti, eccezionalmente vasti, prospettano inestimabili possibilità d'implementazione della qualità architettonica, urbana e tecnologica alle diverse scale del costruito.

Nell'ambito dei laboratori di progettazione di Architettura Tecnica e nei corsi di Progettazione Sostenibile, tenuti da Annarita Ferrante negli anni accademici compresi tra il 2008 e il 2017 presso l'Università di Bologna, si sono progettati, ad esempio, prototipi abitativi per verificare e testare questa necessità di integrazione, di convergenza e coincidenza tra il progetto di architettura, i procedimenti costruttivi e le istanze di sostenibilità ambientale ed energetica.

È noto come le condizioni di comfort degli spazi abitati derivino, in primo luogo, dalla loro ubicazione nell'ambito dell'organismo architettonico, in relazione alle funzioni che in questo si svolgono e alle condizioni climatiche esterne. Oltre alla distribuzione planimetrica degli spazi, riveste particolare importanza la loro distribuzione in verticale, cioè sulla sezione degli edifici, ed in particolare tutto quanto riguarda il profilo dell'edificio, l'attacco a terra, la forma della copertura. A tali entità spaziali si affianca una moltitudine di possibili sistemi di facciata e di chiusura dell'involucro edilizio, cui fa riscontro una progressiva ripetizione e una conseguente stratificazione degli elementi di chiusura, finalizzati, tra l'altro, a compensare l'assenza d'inerzia termica. Tali sistemi tecnologici (serre, facciate a più strati, doppi involucri, ecc.), per le complessità tecnologico-funzionali che implicano sia in fase di progettazione che manutenzione, possono dare luogo anche fenomeni indesiderati come, ad esempio, surriscaldamento e/o dissipazione del calore. L'analisi e la puntuale identificazione del rischio, la combinazione integrata fra sistemi di raffrescamento e di riscaldamento, l'associazione con sistemi impiantistici di tipo attivo, diventano, dunque, strumenti necessari all'individuazione delle soluzioni finalizzate a evitare inefficienze e costi imprevisi in fase di costruzione ed esercizio.

---

<sup>30</sup> M. Santamouris (a cura di), *Environmental Design of Urban Buildings. An Integrated Approach*, Routledge, London 2006.

Dalle considerazioni fin qui tratteggiate, è possibile rilevare la complessità relazionale, ulteriormente connotata dalle soluzioni tecnologiche innovative finalizzate alle prestazioni climatiche, tra i caratteri tipologico-formali della progettazione tecnica degli edifici e le relative definizioni costruttive degli involucri di chiusura e di facciata.

Appare inoltre evidente come le verifiche fisico-tecniche siano uno degli aspetti più connessi alla tecnica dell'architettura in materia di sostenibilità fisico-ambientale e come questa combinazione, insieme a molte altre possibili nella comune sfera di interesse dell'ambito prestazionale degli edifici, diventi occasione di una rinnovata integrazione – intellettuale e scientifica – intorno al *progetto tecnico dell'architettura*, qualificandone le capacità aggregative e confermandone il ruolo centrale all'interno del processo di ideazione e costruzione degli edifici.

Di qui l'importanza della collocazione degli insegnamenti tecnici dell'architettura inseriti all'interno dei corsi di Ingegneria, i pochi – se non i soli – a poter fornire il necessario supporto analitico e scientifico a un ambito, quello della sostenibilità applicata al progetto e alla riqualificazione del costruito, altrimenti destinato all'indeterminatezza dei confini di competenza.

A riprova della fortuna incontrata da questo settore di studi dell'Architettura Tecnica, può essere considerato anche il successo nell'ambito delle ricerche competitive internazionali (progetti europei H2020 promossi e coordinati da Annarita Ferrante), oltre che la numerosa partecipazione alle conferenze delle diverse società scientifiche nazionali ed internazionali.

## 2.25. LA STORIA DELL'AUTOMATICA COME DISCIPLINA SCIENTIFICA A BOLOGNA.

### DALLA SUA NASCITA AI GIORNI NOSTRI

*Claudio Melchiorri*

#### 2.25.1. Definizione di "Automatica"

Non è semplice descrivere compiutamente i contenuti scientifici e tecnologici rappresentati dal termine "Automatica". Si tratta di una disciplina di origini antichissime, e la sua stessa natura può essere ascritta al desiderio innato dell'uomo di osservare e modificare il proprio ambiente, per "migliorarlo" o "farlo funzionare" secondo opportuni desiderata.

La difficoltà di trovare una definizione esaustiva è data anche dalla natura metodologica stessa dell'Automatica: pur essendo presente in pratica in tutti i sistemi che ci circondano giornalmente, è "nascosta" e di essa ne facciamo un uso quasi sempre inconsapevole. «Control is ubiquitous. We live our everyday lives surrounded by all sorts of control systems, and we are for the most part unaware of them», viene riportato sulle pagine introduttive della IEEE Control System Society, una delle maggiori associazioni scientifiche internazionali che includono ricercatori e tecnici del settore [1]. Si dice anche

Control is everywhere. Aircraft and spacecraft, process plants and factories, homes and buildings, automobiles and trains, cellular telephones and networks [...] these and other complex systems are testament to the ubiquity of control technology. Some artifacts of modern times would simply not be possible without control. And for many others, substantial, even revolutionary, advances in their performance, safety, reliability, and affordability have been achieved as a result of the ingenuity and effort of control engineers and scientists.

Una definizione di "Automatica" ci viene da Antonio Lepschy (1931-2005), uno dei primi e maggiori ricercatori italiani del settore: «Area disciplinare che si occupa di teoria dei sistemi dinamici e del loro controllo e delle applicazioni ingegneristiche in campo industriale e civile» [2].

Certamente, elementi essenziali di un sistema di controllo sono:

- un *sistema* (fisico o meno) che presenta "comportamenti" che vogliamo modificare per adeguarli a determinate nostre aspettative (ad esempio la temperatura di una stanza o il posizionamento di una macchina automatica);
- una descrizione – in genere matematica – del sistema (cioè un *modello*);
- la *misura* delle grandezze che si vogliono modificare (cioè *controllare*);
- un dispositivo che ci consente di *agire sul sistema* per ottenere il comportamento desiderato;
- una *legge di controllo* che ci permette di calcolare con quale azione agire sul sistema.

Tutti questi elementi, tecnologici o metodologici, rientrano nella disciplina dell'Automatica.





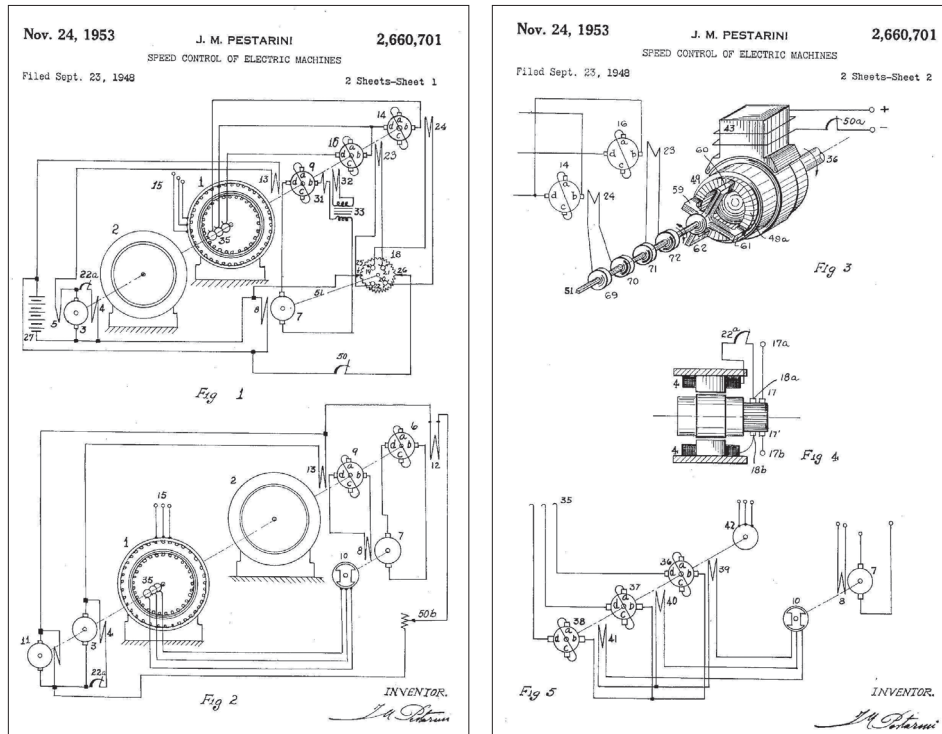


Figura 2. Immagini estratte dal brevetto di "Speed control of electric machines" (US 2660701) rilasciato a Pestarini, novembre 1953.

Da un punto di vista didattico, nel primo decennio dopo la fine della Seconda guerra mondiale in Italia, nell'ambito delle Facoltà di Ingegneria, qualche nozione relativa al controllo (si parlava allora prevalentemente di "regolazione") era inserita in corsi di Meccanica applicata o di Macchine, e qualche nozione sulla retroazione era impartita nei corsi di Radiotecnica.

### 2.25.3. Prime attività a Bologna

A Bologna fu Giuseppe Evangelisti<sup>1</sup> (1903-1981), professore di *Costruzioni Idrauliche* dal 1939, il promotore di molte importanti iniziative locali, nazionali ed internazionali, alle quali l'Automatica deve l'acquisizione di una fisionomia ed un ruolo propri ed indipendenti da altre discipline. Evangelisti è nato a Molinella, in provincia di Bologna, il 25 novembre 1903, e si è laureato con lode in Ingegneria Civile all'Università di Bologna nel 1927. Dopo un periodo in cui ha esercitato attività professio-

<sup>1</sup> La figura di Giuseppe Evangelisti e l'impatto che ebbe il Centro di Calcoli e Servomeccanismi da lui fondato e diretto per diversi anni sono descritti con maggiore dettaglio nel contributo di Giovanni Marro, *infra*.

nale, nel 1931 ha iniziato la sua carriera presso l'allora Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, ottenendo la "libera docenza" in *Idraulica* nel 1936 e diventando professore ordinario di *Costruzioni Idrauliche* nel 1939.

Tra i contributi notevoli di Evangelisti che si possono citare nel campo dell'Automatica vi sono:

- il *Trattato sulla regolazione delle turbine idrauliche* pubblicato nel 1947;
- l'essere stato (unico rappresentante italiano) tra i firmatari nel 1956 della costituzione della *International Federation of Automatic Control – IFAC*;
- la costituzione del *Centro Calcoli e Servomeccanismi* nel 1957;
- l'avvio alla carriera accademica di illustri ricercatori quali Enzo Belardinelli e Giovanni Marro;
- l'essere stato il primo docente a Bologna di corsi di *Controlli Automatici*.

#### *Trattato sulla regolazione delle turbine idrauliche (1947)*

Il libro è il risultato delle attività di ricerca di Evangelisti degli anni 1942-44, in piena Seconda guerra mondiale. Nonostante fosse scritto in italiano, è stato molto apprezzato a livello internazionale e considerato fra le opere più significative concernenti i sistemi di controllo negli anni Cinquanta.

#### *Centro Calcoli e Servomeccanismi (1957)*

Il "Centro Calcoli e Servomeccanismi" fu costituito all'Università di Bologna nel 1957 per iniziativa di Giuseppe Evangelisti e seguì di poco il "Laboratorio di Servomeccanismi" della Fondazione Bordononi inaugurato a Roma nel 1955. Presso il centro, che prese il posto della precedente "Sala calcoli" di cui Evangelisti era già Direttore dal 1951, furono installati alcuni tra gli elaboratori elettronici più avanzati del momento, con la tecnologia digitale che stava allora prendendo il sopravvento su quella analogica.

Il Centro Calcoli e Servomeccanismi fu importante per lo sviluppo a Bologna delle discipline dell'Informatica e dell'Automatica.

In questo centro, infatti, iniziarono a lavorare nell'area che sarebbe poi divenuta l'Automatica Enzo Belardinelli, Eugenio Sarti e successivamente Giovanni Marro. Va anche riportato il fatto che da questo centro sono poi nati nella Facoltà di Ingegneria l'Istituto di Elettronica (1965), l'Istituto di Automatica (1970) ed il Centro di Calcolo.

#### *I primi corsi di Controlli Automatici (1960)*

Negli ultimi anni Cinquanta fu avviata una nuova organizzazione degli studi di ingegneria, entrata in vigore con un decreto pubblicato nella primavera del 1960. Tra i dieci insegnamenti del triennio "obbligatori sul piano nazionale" per il corso di laurea in Ingegneria Elettronica (che era di nuova attivazione) fu inserito anche quello di Controlli Automatici.

A livello nazionale, il primo corso per studenti di Ingegneria (allora Elettrotecnica) che abbia portato un titolo specifico relativo al campo del controllo automatico fu probabilmente quello di *Servomeccanismi*, tenuto per incarico a Padova da Giuseppe Francini, allora straordinario di Elettronica Applicata, nell'anno accademico 1959/60.

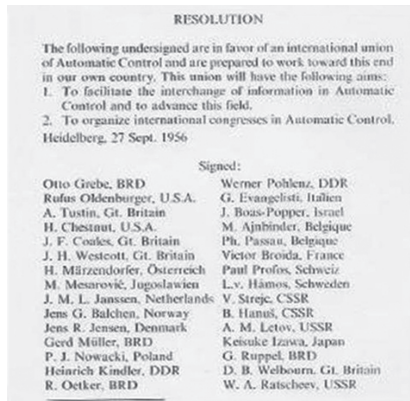


FIG. 2. Executive Council: standing from left to right – Chang, Ajnbinder, Evangelisti, Nowacki, Coates; sitting from left to right – Gurecke, Letov, Chestnut, Broida, Ruppel (Rome, 1959-63).

Figura 3. Il documento di costituzione di IFAC – International Federation of Automatic Control e primo Executive Council.

A Bologna, fu lo stesso Evangelisti a tenere per primo con regolarità corsi di Controlli Automatici negli anni 1960-1965.

Negli anni Sessanta vi furono poi i primi concorsi per la libera docenza in Controlli Automatici. A Bologna, fu attribuito il titolo a Eugenio Sarti e a Giovanni Marro, mentre Enzo Belardinelli ottenne la libera docenza in Radiotecnica.

Gli anni Settanta videro infine i primi vincitori di cattedra in Controlli Automatici a Bologna: Giovanni Marro nel 1973, Eugenio Sarti e Giuseppe Basile nel 1976, Gianni Bertoni e Claudio Bonivento nel 1978.

#### 2.25.4. Le tematiche di ricerca

Numerosi e qualificati sono i risultati ottenuti dai ricercatori bolognesi nel campo dell'Automatica, risultati che hanno spesso ottenuto visibilità e riconoscimenti internazionali.

*Giovanni Marro* ha il merito, unitamente a Giuseppe Basile e Roberto Laschi, di avere introdotto nel 1968 gli strumenti fondamentali dell'approccio geometrico per la soluzione dei problemi di analisi e sintesi legati allo studio del controllo multivariabile: i concetti di *sottospazio invariante controllato* e di *sottospazio invariante condizionato*.

Tale approccio costituiva un'importante innovazione metodologica, e Marro, da vero pioniere, fu coinvolto nello studio, pubblicazione e diffusione dei suoi fondamenti teorici e delle sue principali applicazioni<sup>2</sup>.

L'approccio geometrico negli anni successivi è stato oggetto di ampio lavoro di ricerca in sede internazionale, arricchito con molti interessati contributi nella let-

<sup>2</sup> Ai libri scritti dal professor Marro relativi a questo ambito di ricerca (*Controlled and Conditioned Invariants in Linear System Theory*) e ai suoi corsi universitari (*Controlli automatici, Fondamenti di teoria dei sistemi, Teoria dei sistemi e del controllo*) sono dedicate altre sezioni di questo libro.



Figura 4. Il professor Giovanni Marro.



Figura 5. Il professor Roberto Guidorzi.



Figura 6. Il professor Gianni Bertoni (a sinistra) ad un convegno IFAC nel 1999.

teratura e riconosciuto come lo strumento più conveniente per stabilire un ambito metodologico completo per i problemi e le metodologie di base per lo studio del controllo di sistemi multivariabili.

Come docente, il professor Marro è stato per anni punto di riferimento a livello nazionale, e il suo libro *Controlli Automatici*, edito dalla Zanichelli, è stato a lungo uno dei testi maggiormente adottati in corsi universitari in Italia.

Tra i suoi meriti scientifici, va citato l'interesse del professor Marro per le tematiche della "Teoria dei Sistemi"<sup>3</sup>, di cui è stato anche il primo docente a Bologna (anno accademico 1972/73). Anche in questo ambito la sede di Bologna ha prodotto negli anni risultati di eccellenza grazie al lavoro, tra gli altri, di Roberto Guidorzi (Fig. 5), Umberto Soverini, Roberto Diversi, molto attivi anche nei campi delle proprietà strutturali, invarianza e realizzazione dei sistemi multivariabili, dell'identificazione dei processi multivariabili, degli schemi di stima e di filtraggio ad errori nelle variabili.

Un'altra attività di ricerca che ha avuto, ed ha ancora oggi, notevole importanza è quella relativa all'applicazione di tecniche di controllo al volo e allo spazio. Questa linea di ricerca, iniziata dal professor Gianni Bertoni (Fig. 6), è ora portata avanti presso la sede di Forlì da Paolo Castaldi, Matteo Zanzi, Elisabetta Penati.

Numerosi altri docenti e ricercatori hanno operato e/o operano tuttora presso l'Ateneo di Bologna o altre sedi nazionali ed estere, sviluppando diverse linee di attività. Si ricordano tra i tanti Marco Tibaldi, Gloria Capitani, Fulvio Terragni, Roberto Zanasi, Elena Zattoni, Andrea Paoli, Nicola Mimmo.

Una figura di rilievo che ha portato lustro alla sede di Bologna nel campo dell'Automatica per i suoi numerosi interessi scientifici e per avere di fatto creato una "scuola bolognese" avviando alla carriera accademica numerosi ricercatori è stata quella del professor *Claudio Bonivento*. A lui va riconosciuto il merito di aver saputo intuire prima di altri nuove direzioni di ricerca: la stabilità dei sistemi dinamici, i sistemi di controllo digitale, la regolazione di sistemi nonlineari, la robotica. Nel 1986 ha promosso, assieme al professor Alberto Tonielli, la creazione del Laboratorio di

<sup>3</sup> Alla Teoria dei Sistemi è dedicato il contributo di Roberto Guidorzi, *infra*.



Figura 7. Il professor Claudio Bonivento.



Figura 8. Claudio Bonivento e Giovanni Marro con signore in un momento conviviale.

Automazione e Robotica (LAR), punto di riferimento delle attività di ricerca applicata e sperimentale nel settore dell'Automatica, e si è impegnato nella creazione e nello sviluppo scientifico del centro di ricerca CASY (Complex Automated SYstems), dedicato allo studio dei sistemi di automazione complessi.

Claudio Bonivento è da considerarsi un innovatore anche nel campo della didattica, essendo stato tra gli artefici del corso di laurea in Ingegneria dell'Automazione<sup>4</sup> (ad oggi uno tra i percorsi di studio di maggior successo di Ingegneria) e promotore di programmi internazionali.

Al momento, le metodologie di controllo per sistemi complessi e non lineari e la robotica sono tra i principali ambiti di ricerca sviluppati presso la sede bolognese. Per quanto riguarda la robotica, Bologna è stata una delle prime sedi universitarie in Italia a dotarsi, sin dalla metà degli anni Ottanta, di un laboratorio (LAR – Laboratorio di Automazione e Robotica) meritevole di importanti riconoscimenti internazionali. Presso il LAR sono stati sviluppati, in collaborazione anche con ricercatori del Dipartimento di Ingegneria Meccanica di Bologna (prima DIEM ed oggi DIN), numerosi prototipi innovativi di “mani robotiche” ed altri dispositivi robotici per diverse applicazioni in campo industriale, spaziale, marino.

Queste ricerche, iniziate da Bonivento e Tonielli agli inizi degli anni Ottanta, sono portate ora avanti principalmente da Claudio Melchiorri e Gianluca Palli.

Presso il LAR si svolgono anche importanti attività di ricerca nel campo dell'automazione industriale e del controllo di sistemi elettromeccanici, avviate da Tonielli negli anni Ottanta e condotte attualmente da Andrea Tilli e Carlo Rossi.

Gli aspetti metodologici legati alla teoria del controllo di sistemi dinamici complessi e non lineari sono sviluppati da Lorenzo Marconi, Alessandro Macchelli, Roberto Naldi. Queste tematiche, sviluppate principalmente presso il CASY, vertono su aspetti di regolazione robusta con retroazione dell'uscita, principio del modello interno per sistemi non lineari, analisi e controllo di sistemi infinito dimensionali. Da un punto di vista applicativo il centro di ricerche CASY ha nel tempo acquisito competenze e tecnologie specifiche nel campo dei velivoli aerei privi di pilota (droni) sviluppando sistemi di controllo robusto e sistemi di navigazione autonoma.

<sup>4</sup> Al corso di studi in Ingegneria dell'Automazione è dedicato il contributo di Lorenzo Marconi, *infra*.

### 2.25.5. Conclusioni<sup>5</sup>

L'Automatica, se pur da un punto di vista storico non sia stata una delle prime discipline dell'Ingegneria, ha avuto dagli anni Cinquanta del secolo scorso un rapido e costante sviluppo. Essa rappresenta attualmente un'area scientifica culturalmente molto vivace, capace di coniugare importanti risultati metodologici ed alta tecnologia. Ciò si riscontra anche presso la Scuola di Ingegneria di Bologna, ove – fin dai primi anni e poi con continuità sino ai giorni nostri – ricercatori lungimiranti hanno dedicato attenzione ed energie a questo ambito disciplinare.

Grazie a loro, la “Scuola di Automatica” di Bologna è divenuta un centro nodale di eccellenza da un punto di vista sia scientifico sia didattico, caratterizzato da un forte impatto sul tessuto industriale regionale, estremamente ricettivo delle tematiche del settore: l'Emilia-Romagna è infatti nota a livello internazionale come la *Packaging Valley* per via delle sue numerose e importanti aziende nel settore delle macchine automatiche.

Vi sono tutti gli elementi per credere in un brillante futuro di questo settore presso la sede di Bologna.

#### ***Elenco dei docenti e ricercatori in Automatica attivi a Bologna dagli anni Settanta ad oggi***

Sono riportati in ordine cronologico rispetto all'anno della presa di servizio del ruolo più alto. Viene anche indicato, ove noto, l'anno di pensionamento o passaggio ad altro ente.

<i>Professori Ordinari</i>	<i>Professori Associati</i>	<i>Ricercatori</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marro, Giovanni (1973-2010) professore emerito</li> <li>• Sarti, Eugenio (1976-2000)</li> <li>• Basile, Giuseppe (1976-2003)</li> <li>• Bertoni, Gianni (1978-2010)</li> <li>• Bonivento, Claudio (1978-2011) professore emerito</li> <li>• Guidorzi, Roberto (1984-2011) professore emerito</li> <li>• Tonielli, Alberto (2000-2007)</li> <li>• Melchiorri, Claudio (2001-)</li> <li>• Marconi, Lorenzo (2016-)</li> <li>• Notarsefano, Giuseppe (2018-)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beghelli, Sergio (1983-1995), passato come professore ordinario all'Università di Ferrara</li> <li>• Capitani, Gloria (1985-2003)</li> <li>• Terragni, Fulvio (1985-1998)</li> <li>• Tibaldi, Marco (1985-†1998)</li> <li>• Soverini, Umberto (2003- )</li> <li>• Rossi, Carlo (2004-)</li> <li>• Tilli, Andrea (2014-)</li> <li>• Diversi, Roberto (2015-)</li> <li>• Palli, Gianluca (2018-)</li> <li>• Macchelli, Alessandro (2018-)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penati, Maria Elisabetta (1986-2019)</li> <li>• Piazza, Aurelio (1990-1992), ora professore ordinario presso l'Università di Parma</li> <li>• Zanasi, Roberto (1994-1998), ora professore ordinario presso l'Università di Modena e Reggio Emilia</li> <li>• Castaldi, Paolo (1995-)</li> <li>• Zanzi, Matteo (2001-)</li> <li>• Zattoni, Elena (2001-)</li> <li>• Paoli, Andrea (2008-2014), ora Principal Lecturer alla Lincoln University, UK</li> <li>• Naldi, Roberto (2011-)</li> <li>• Scarcia, Umberto (2015-2018)</li> <li>• Mimmo, Nicola (2017-)</li> </ul>

<sup>5</sup> Quanto riportato deriva esclusivamente da una ricostruzione personale di fatti e persone. Nella speranza di non avere omesso nulla, desidero in ogni caso scusarmi per eventuali imprecisioni e dimenticanze.

## Bibliografia

- [1] <http://www.ieeecss.org/control-systems-are-ubiquitous-2016>.
- [2] A. Lepschy, *L'Automatica in Italia dal 1945 al 1975*, «Automazione e Strumentazione» (XLV, n. 9, Ottobre 1997, pp. 91-97) ed anche su «AEI» (già «L'Elettrotecnica», LXXXVII, n. 12, Dicembre 2000, pp. 47-51).
- [3] O. Mayr, *The origins of Feedback control*, The MIT Press, Cambridge (MA), 1970.
- [4] A. Lepschy, G.A. Mian, U. Viaro, *Feedback control in ancient water-and mechanical clocks*, «IEEE Trans. On Education», vol. 31, pp. 3-10, 1992.
- [5] S. Bennett, *A history of Control Engineering 1800-1930*, Peter Peregrinus, London, 1979.
- [6] S. Bennett, *A history of Control Engineering 1930-1955*, Peter Peregrinus, London, 1993.
- [7] C. Bonivento, G. Marro, *La regolazione delle turbine idrauliche by Giuseppe Evangelisti - Review of the book*, Historic Books in Control, Janos Gertler Ed., Elsevier, pp. 126-130, 2006.
- [8] G. Guardabassi, *The dawn of control science in Italy. From intuitive engineering to modern control theory and automation technology*, E.J.C., vol. 13, no.1, pp. 36-48, 2007.
- [9] C. Bonivento, *Un percorso ragionato nella storia dell'Automatica*, Conferenze di Facoltà, Bologna, 23 aprile 2009.
- [10] Annuari dell'Università di Bologna dal 1942.

## 2.26. IL CONTRIBUTO DEL PROFESSOR EVANGELISTI: L'AUTOMATICA E IL CENTRO DI CALCOLO\*

*Giovanni Marro*

### 2.26.1. La persona

È compito non facile presentare la figura o riassumere i punti essenziali e qualificanti della multiforme attività di Giuseppe Evangelisti. I suoi interessi si estendevano dalla matematica pura alle applicazioni ingegneristiche, le sue ricerche erano sempre originali e intuitive degli sviluppi successivi, le sue impostazioni didattiche sembrano tutt'ora valide, quasi attuali.

A parte gli eccezionali meriti scientifici, il professor Giuseppe Evangelisti possedeva virtù umane eccezionali e una non comune statura morale. Il suo spirito di Scienziato non fu mai inquinato da manie di potere e grandezza.

Io, come senz'altro tutti coloro che l'hanno conosciuto, lo ricordo come una persona di vastissima cultura, entusiasta per la conoscenza e con una straordinaria capacità di introspezione in egual misura sia nella ricerca scientifica sia nei rapporti umani, che sapeva condurre ad un elevato standard di costruttività, sincerità e rispetto reciproco. Il lavoro d'équipe e la collaborazione, di qualunque tipo essi fossero, scientifico, organizzativo, amministrativo, con lui come guida, erano possibili con una naturalezza che io, personalmente, non ho più rivissuta. Ricordo, in particolare, la sua capacità di comunicare in modo immediato e preciso, anche solo con il comportamento o con lo sguardo. Appare quindi singolare come Evangelisti, studioso di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, abbia creato e diretto una struttura, il Centro Calcoli e Servomeccanismi, da cui si sono diramate, nel 1970, due entità di dimensioni ragguardevoli della nostra Facoltà:

- L'Istituto di Automatica, cui afferivano insegnamenti di Automatica, Informatica e Ricerca operativa;
- Il Centro di Calcolo.

Queste note vogliono ricordare, insieme alla figura del professor Evangelisti, la storia del Centro Calcoli e Servomeccanismi, la cui nascita e il cui sviluppo appaiono quasi fortuiti, ma in realtà sono una misura della stima e del rispetto che per le suddette qualità il professor Evangelisti ricevette da parte di tutti i suoi colleghi di questa e di altre Facoltà.

Lo schema riportato in Fig. 1 sintetizza l'attività e i contributi del professor Evangelisti negli anni in cui era Direttore prima della Sala Calcoli e poi del Centro Calcoli e Servomeccanismi. Nelle pagine seguenti vengono prese in considerazione e descritte le principali attività di questa struttura.

---

\* Mi sembra doveroso precisare che, quanto scritto nelle pagine seguenti, fa riferimento ad una mia conferenza, tenuta il 6 gennaio del 2006 presso la facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna e di essa mantiene lo stile e spesso ne riporta il testo.



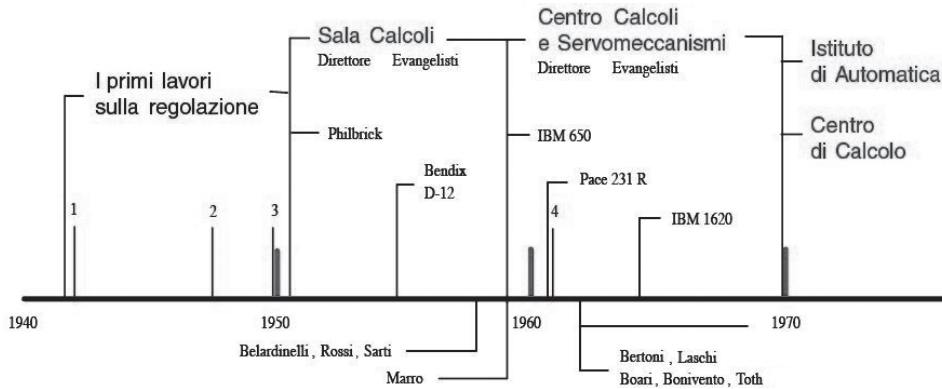


Figura 1. Evoluzione delle strutture di calcolo della Facoltà di Ingegneria.

### 2.26.2. I primi lavori sulla regolazione

Già nel 1939, il professor Evangelisti rivela l'originalità del suo pensiero scientifico e l'attività delle sue ricerche con lo studio del fenomeno del "colpo d'ariete", per mezzo del calcolo simbolico, con cui analizza i relativi fenomeni oscillatori.

Per tale lavoro viene subito inserito, e a ragione, fra i più prestigiosi ricercatori sull'argomento, fra i quali vale la pena menzionare Lorenzo Allievi. Da questo momento la maggior parte della sua attività scientifica sarà dedicata alla ricerca *sul moto vario nei sistemi in pressione*.

Molti sono i suoi studi, riflessioni e memorie, ma per ricordare i suoi studi ho scelto di riferirmi, in particolare, a tre lavori attinenti ai problemi di Controlli Automatici e di Teoria dei Sistemi, scritti in epoca in cui tali discipline non erano ancora state sviluppate. Nel 1941 compone il suo primo lavoro dal titolo *Alcune osservazioni sul colpo d'ariete e sulla regolazione delle turbine idrauliche*. Strettamente connesso a questo, e sicuramente, come riconosciuto in seguito, più importante è la pubblicazione del 1942, in cui presenta un'estensione della condizione di Thoma per la stabilità degli impianti idroelettrici in condizione di regolazione di potenza. È del 1947 il celebre trattato sulla *Regolazione delle turbine idrauliche*. Forse si è originato dalla volontà di sistemare una serie di problematiche nate dal primo lavoro. Ha la struttura e, in parte il contenuto, di un libro di Controlli Automatici. In esso le diverse parti di cui è costituito il sistema vengono analizzate separatamente, per ciascuna di esse viene dedotto un modello matematico rigoroso e vengono poi presentati gli algoritmi per la soluzione dei problemi e discusso il campo di validità di possibili ipotesi semplificative utili al progettista.

Il terzo lavoro, del 1951, *Sopra la stabilità delle grandi oscillazioni dei pozzi piezometrici*, presenta uno dei risultati più importanti della sua ricerca: dimostra che il ciclo limite nel piano delle fasi e il relativo campo di stabilità per oscillazioni di grande ampiezza è sempre contenuto in una circonferenza centrata nell'origine e di cui riesce ad individuare la misura del raggio. Infante e Clark, anni dopo, riprendono il

problema determinando anch'essi il ciclo limite, ma dando una diversa definizione del dominio di stabilità. Il sottoscritto, Giovanni Marro, già allora collaboratore del professor Evangelisti, su suo incarico, ha verificato i risultati di Infante e Clark sulla calcolatrice analogica PACE 231R provandone l'esattezza e, per insistenza sempre del professore, ha pubblicato il risultato sulla rivista "Energia Elettrica", vol. 41, n. 12, 1964. Anche in questo caso si evince la volontà di presentare risultati non solo rigorosi, ma anche applicabili senza difficoltà in assenza di dispositivi di calcolo automatico per la soluzione delle equazioni differenziali non lineari.

Vengono di seguito riportati alcuni stralci delle pubblicazioni citate:

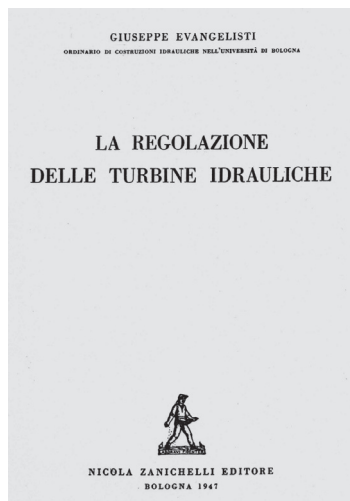
### **Adduzioni in pressione e stabilità di regolazione negli impianti idroelettrici<sup>1</sup>**

Prof. Ing. Giuseppe Evangelisti

*Professore Ordinario di Costruzioni idrauliche nella Università di Bologna*

È noto che nella moderna tecnica idroelettrica le esigenze di regolarità di marcia delle turbine sono oltremodo rigide: ed è pure noto che, nell'indispensabile processo della regolazione automatica, esistono diverse cause che insidiano questa regolarità, e che possono anche raggiungere un'importanza tale da rendere il funzionamento instabile.

Oltre alle cause di origine meccanica – cioè dovute agli organi regolatori – ne esiste un'altra di carattere esclusivamente idraulico, avendo essa sede nel complesso esterno di adduzione e scarico. Quest'ultima causa è conosciuta da tempo: sperimentalmente dal 1904 in un caso divenuto notissimo, quello dell'impianto idroelettrico di Heimbach, nella Svizzera; teoricamente dal 1910, attraverso una classica memoria del Thoma, il quale riuscì ad impostare analiticamente e spiegare in modo soddisfacente l'essenza del fenomeno.



*Figura 2. La copertina del testo del professor Evangelisti sulla regolazione delle turbine idrauliche.*

<sup>1</sup> Estratto dalle relazioni della 41<sup>ma</sup> Riunione della Società Italiana per il Progresso delle Scienze – Roma, 1942.

### Sopra la stabilità delle grandi oscillazioni nei pozzi piezometrici<sup>2</sup>

Prof. Ing. Giuseppe Evangelisti

#### Sommario

Si considera il problema della stabilità dei sistemi galleria in pressione-pozzo piezometrico degli impianti idroelettrici di fronte alle grandi ampiezze di regolazione. La ricerca si svolge secondo entrambi i moderni indirizzi della meccanica non lineare: indagini topologiche nel piano delle fasi, e integrazione approssimata con criteri di media. Riconosciuto che i termini non lineari generano un ciclo limite instabile, si forniscono le condizioni affinché le oscillazioni restino interne a questo ciclo limite. Da ultimo, si esprimono le ritrovate condizioni di stabilità in una forma nuova, di costituzione semplice e di impiego immediato.

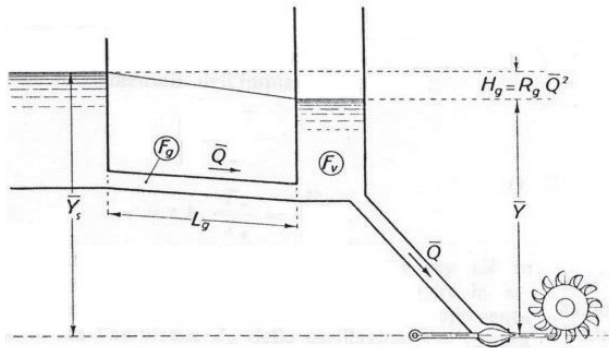


Figura 3. Impianto idroelettrico con pozzo piezometrico.

In Figura 3 viene schematizzato un impianto di produzione di energia elettrica, in condizione di regolazione di potenza, per cui il prodotto della portata nella condotta forzata con la quota nel pozzo piezometrico è costante. Malgrado l'ipotesi che in un impianto idraulico valgano le condizioni di Thoma, si possono sempre verificare delle oscillazioni eventualmente anche instabili e le Figure 4 e 5 indicano il comportamento della traiettoria nei due differenti casi: nel primo (Fig. 4) la traiettoria della portata in funzione del tempo, tendente ad un ciclo limite stabile, parte dall'origine e resta limitata, nel secondo (Fig. 5) la traiettoria, tendente ad un ciclo limite instabile, non ha origine nel centro.

### 2.26.3. La Sala Calcoli

Gli inizi del Calcolo elettronico presso la Facoltà di Ingegneria di Bologna si possono ricondurre alla capacità e alla lungimiranza del professor Giuseppe Evangelisti. In particolare la Sala Calcoli nasce con l'acquisto del primo calcolatore: la calcolatrice analogica Philbrik.

<sup>2</sup> «L'Energia Elettrica», vol. 28, n. 12, 1951.

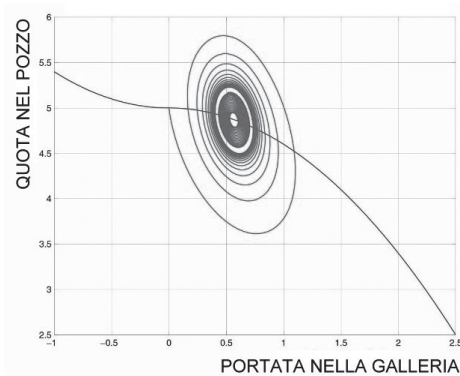


Figura 4. Impianto idroelettrico – Traiettorie tendenti ad un ciclo limite stabile.

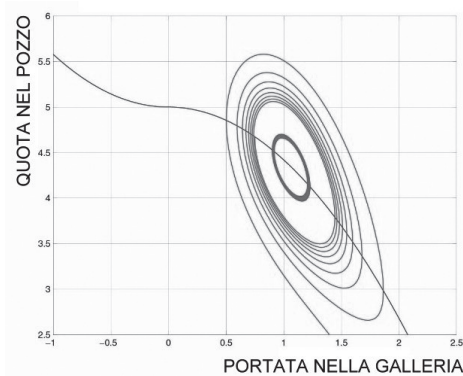


Figura 5. Impianto idroelettrico – Traiettorie relative ad un ciclo limite instabile.

Il 5 dicembre 1950 – su proposta del professor Giuseppe Evangelisti, Direttore dell'Istituto di Costruzioni Idrauliche, e del professor Aristide Prosciutto, Direttore dell'Istituto di Macchine – il Consiglio di Facoltà decide la destinazione di fondi ERP (European Recovery Program) all'acquisto della prima calcolatrice elettronica, un'analogica Philbrick.

Nelle pagine seguenti (Fig. 6) vengono riportate alcune parti del verbale del Consiglio di Facoltà, in cui appare la scrittura ed un possibile appunto dello stesso professore e in cui vengono appunto assegnati alla Sala Calcoli i fondi ERP.

Di seguito viene riportata la lettera (Fig. 7), pervenuta nello stesso Consiglio di Facoltà, in cui il professor Prosciutto illustra il tipo di ricerche e problematiche che l'Istituto di Macchine, di cui è il Direttore, intende perseguire e per il cui approccio si rende necessario l'utilizzo del calcolatore analogico.

Avvenne così che:

14 marzo 1951 - La calcolatrice viene imbarcata a New York sul piroscafo S.S. Algenquin Victory.

12 aprile 1951 - La calcolatrice è disponibile in Italia.

13 maggio 1951 - La calcolatrice viene inaugurata alla presenza di numerosi invitati. Essa è sistemata in una Sala Calcoli presso la Biblioteca di Facoltà, la cui direzione è affidata al professor Evangelisti. Egli svolgerà il ruolo di direttore per circa 10 anni.

Le calcolatrici analogiche erano costituite da un certo numero di amplificatori operazionali, dai relativi alimentatori e da dispositivi di visualizzazione dei segnali, tipicamente oscilloscopi, plotter e voltmetri digitali. La programmazione consisteva nell'inserire opportune reti di retroazione in tali amplificatori e nell'interconnetterli in modo da ottenere una funzione di trasferimento uguale a quella del sistema da studiare. L'ingresso del sistema, in genere fornito da un generatore di forme d'onda, riproduceva poi l'ingresso del sistema reale. Le calcolatrici analogiche operavano quindi come un simulatore dei sistemi analizzati la cui evoluzione nel tempo veniva riprodotta dalla tensione di uscita della rete impostata sulla

Università di Bologna  
 Facoltà d'Ingegneria  
 Istituto di Costruzioni Idrauliche

Pre-memoria del Prof. Giuseppe Evangelisti  
sopra l'uso della calcolatrice analogica

*Recupero presso l'Istituto di Costruzioni Idrauliche*

*Le Prof. Evangelisti*

Lo scrivente ha in corso, già da lungo tempo, indagini sistematiche sui problemi di regolazione delle centrali idroelettriche considerate nel loro complesso, tenendo cioè conto di tutta quanta la catena dei fattori influenti: elementi idraulici di adduzione e scarico, macchine idrauliche ed elettriche coi relativi regolatori, rete utilizzatrice. Lo studio si è finora concretato nel seguente complesso di memorie scientifiche:

1. Alcune osservazioni sul colpo d'ariete e sulla regolazione delle turbine idrauliche. - L'Energia Elettrica, 1941.
2. Adduzioni in pressione e stabilità di regolazione negli impianti idroelettrici. Atti del Congresso S.I.P.S. del 1942. Roma; Società Italiana Progresso Scienze, 1949.
3. Sulla stabilità di regolazione nelle installazioni idroelettriche. L'Energia Elettrica, 1946
4. La regolazione delle turbine idrauliche, Bologna, Zanichelli, 1947.

./.

Figura 6. Estratto del verbale del Consiglio di Facoltà del 5 dicembre 1950.

- 2 -

5. Problemi tecnici e sperimentali intorno alle vasche di oscillazione. L'energia elettrica, 1947.
6. Sopra una ricerca sperimentale riguardante le vasche di oscillazione. Atti, Accademia Scienze di Bologna, 1948.
7. Pozzi piezometrici e stabilità di regolazione L'Energia Elettrica, 1950.

I lavori sopra elencati riguardano essenzialmente i diversi aspetti del problema della regolazione in un gruppo generatore in servizio isolato, senza approfondire l'altro problema, strettamente connesso, del funzionamento in parallelo (il quale ultimo viene appena adombrato nel volume n.3, ed è considerato in un solo caso particolare della monografia n.6). E' precisamente su questo secondo problema, il comportamento e la stabilità idraulica, meccanica ed elettrica dei paralleli, che vertono le ricerche attualmente in corso; alcune di esse sono già ben delineate, tanto nei metodi di attacco quanto nei risultati; altre si trovano ancora sotto forma di spunti in attesa di sviluppo. I punti fondamentali di ricerca sono i seguenti.

a) indagine fondamentale del parallelo fra due gruppi idroelettrici, mettendo in conto le azioni reattive del complesso adduttore: lo studio riguarda:

- 1) -carattere delle reciproche interferenze, e del conseguente scambio di riserve di stabilità e di azioni instabili;

./.

- 3 -

2)- comportamento dei due tipi di stabilizzazione -accelerometrico o per asservimento cedevole- e spostamenti del loro proporzionamento più opportuno di fronte al caso del servizio isolate.

b)- Influenza della rete elettrica utilizzatrice, con le sue azioni sia stabilizzanti (variazione di potenza assorbita in funzione della frequenza e della tensione) sia contrarie alla stabilità (tendenza all'uscita del sinorismo dei generatori interconnessi).

c)- Moderni problemi della regolazione - frequenza - potenza per governare i programmi di interscambio di energia fra le reti interconnesse.

I problemi sopraelencati hanno in comune una caratteristica: l'elevato numero di gradi di libertà. Ed è appunto per un tale motivo che la trattazione puramente analitica trova un limite nella eccessiva complicazione delle formule risoltrici; mentre d'altro canto, la visione e la discussione del problema, sono condizionate a un vasto programma di esplorazioni numeriche. E' appunto questo il campo specifico in cui il computer analogico entra in considerazione come strumento d'indagine non tanto utile quanto praticamente indispensabile.

Onde lo <sup>scrittore</sup> ~~scrittore~~ può ben affermare che le ricerche che egli ha in programma importeranno una immediata, sistematica e prolungata utilizzazione della calcolatrice analogica; anzi, senza l'intervento di un simile strumento il programma esposto sarebbe destinato a una sostanziale decurtazione, se non a rimanere addirittura lettera morta.

IL DIRETTORE DELL'ISTITUTO

*Giuseppe Evangelisti*  
(Prof. Ing. Giuseppe Evangelisti)

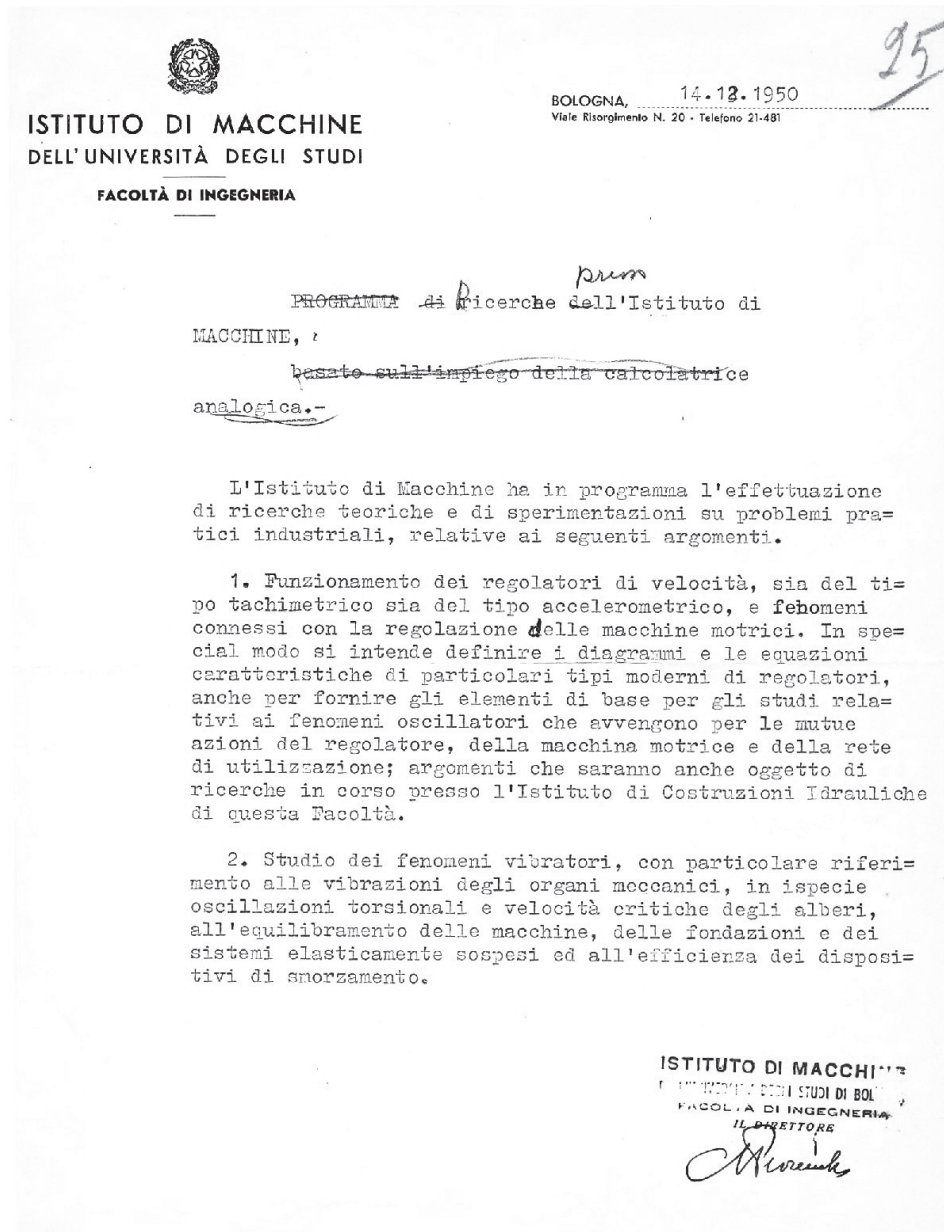


Figura 7. Lettera del Direttore dell'Istituto di Macchine professor Prosciutto del 14 dicembre 1950.



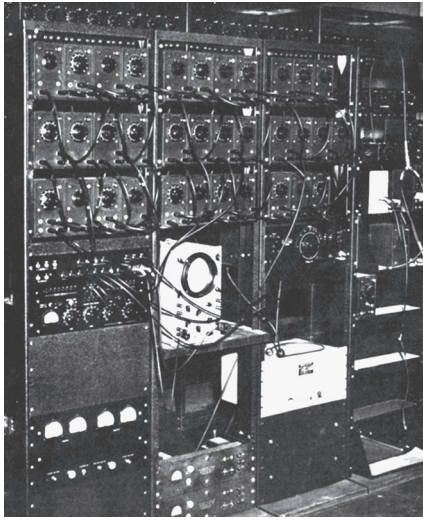


Figura 8. La figura sopra riportata si riferisce ad un modello della calcolatrice analogica Philbrick disponibile all'epoca in cui essa fu ordinata.

calcolatrice; l'osservazione di tale segnale forniva le informazioni desiderate sul comportamento del sistema studiato.

È curioso osservare come, una volta effettuate le necessarie interconnessioni, la macchina non potesse venire utilizzata per studiare altri problemi se non eliminando le interconnessioni effettuate e impostandone altre. Per ovviare a questo problema e consentire una maggiore fruizione del sistema, poteva essere presente, come nella Pace 231R, un pannello amovibile sul quale effettuare le interconnessioni. La disponibilità di due o più pannelli consentiva di passare dallo studio di un sistema a quello di un secondo sistema tramite lo scambio dei relativi pannelli che costituivano l'equivalente dei programmi nei calcolatori digitali. L'ingombro e il costo di tali pannelli, tuttavia, ne riducevano, in

pratica, la disponibilità a pochissime unità per ogni macchina.

La Philbrick consisteva in un supporto con numerose mensole (in inglese: *rack*), ciascuna sostenente un certo numero di contenitori (che noi studenti chiamavamo "scatolini") contenenti, a loro volta, opportuni circuiti elettronici. In ogni contenitore erano presenti mediamente tre *amplificatori operazionali*. La Philbrick risultava, perciò, componibile e, forse, fu proprio questo il motivo per cui fu scelta dall'Università di Bologna, in quanto l'acquisto della macchina, nonché del numero dei contenitori, fu dimensionato in funzione della disponibilità economica.

Va anche osservato che la Philbrick a quei tempi era l'unico calcolatore analogico disponibile sul mercato, ed era costituito, da circuiti che potevano essere utilizzati per riprodurre le equazioni che servivano a descrivere i diversi processi fisici. I contenitori anche se in numero ridotto erano alimentati con tensione di  $+ / - 300$  volt.

La Bendix D12 fu la seconda calcolatrice elettronica acquistata dall'Università di Bologna:

18 febbraio 1955 - La Facoltà di Ingegneria, sentita la relazione del pro-

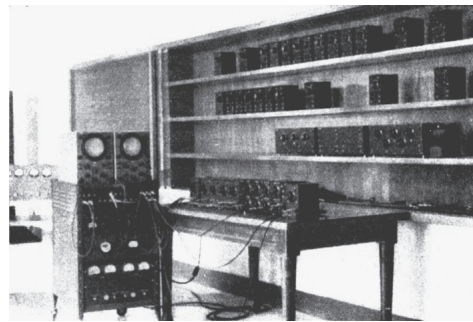


Figura 9. La calcolatrice analogica Philbrick nella Sala Calcoli (i due oscilloscopi sulla sinistra sono dei Dumont 304 utilizzati per visualizzare l'andamento dei segnali generati dalle simulazioni. Uno di questi è pervenuto, ancora funzionante, fino ad oggi).

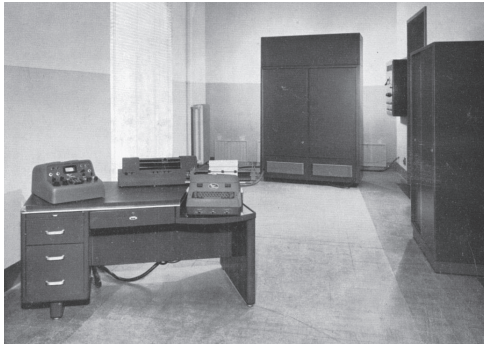


Figura 10. La calcolatrice digitale Bendix nella Sala Calcoli.

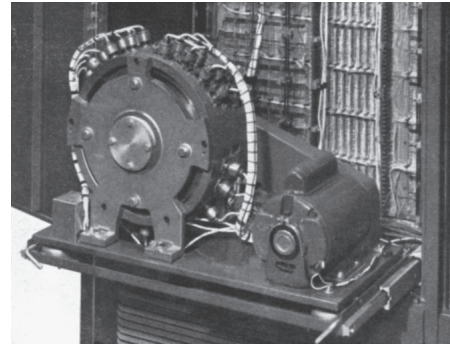


Figura 11. La memoria a tamburo della Bendix (25.000 bit).

fessor Evangelisti, direttore della Sala Calcoli, decide di destinare fondi ministeriali all'acquisto di una calcolatrice elettronica digitale. Verrà scelta la Bendix D12, che sarà installata nella Sala Calcoli nel 1956, come appare nella immagine riportata in Fig. 10.

La memoria, benché a tamburo, rappresenta, comunque, una importante innovazione, in quanto nelle calcolatrici analogiche la memoria era costituita dalle tensioni ai capi dei condensatori delle reti. Questa macchina era particolarmente adatta a risolvere sistemi di equazioni differenziali.

#### 2.26.4. Il Centro Calcoli e Servomeccanismi

24 gennaio 1957 - Il Consiglio di Facoltà decide unanime di costituire un Centro Calcoli con propria dotazione annua, sede apposita, patrimonio bibliografico ed attrezzature scientifiche.

5 luglio 1958 - Il Consiglio di Facoltà, udite le relazioni del professor Evangelisti e del professor Basile, preso atto degli accordi intercorsi tra il Direttore del Centro Calcoli e Servomeccanismi e i Direttori degli Istituti di Macchine e di Impianti Industriali Meccanici, dà parere unanimemente favorevole alla esecuzione dei lavori previsti per l'allestimento del Centro Calcoli.

I suddetti lavori erano urgenti, perché era in arrivo il calcolatore IBM 650, il primo calcolatore numerico "general purpose", che richiedeva una struttura adeguata in termini di spazio, di controllo della temperatura ambiente, una maggiorazione della potenza elettrica disponibile e personale adibito specificamente al suo funzionamento.

Vengono sviluppati i primi programmi in linguaggio macchina. Le istruzioni dei programmi insieme ai dati vengono trasmessi al calcolatore per mezzo di schede perforate, ottenute con la perforatrice sopra riportata. Il pacco di schede veniva inserito nell'unità sinistra del calcolatore IBM 650 indicato in figura, veniva letto ed il contenuto elaborato in un sistema numerico, esadecimale. Talvolta per trovare un errore o per correggere il malfunzionamento del programma si ricorreva



Figura 12. La IBM 650 in una installazione americana del 1961.

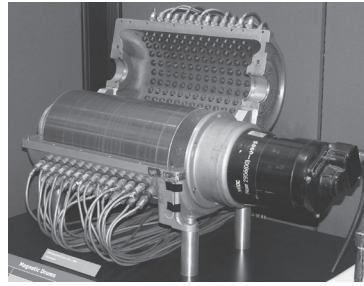


Figura 13. Una memoria a tamburo ai tempi dell'IBM 650; ruotava a 12500 giri al minuto ed il tempo di accesso era di 4,8 ms. L'IBM 650 era allora definito come "Magnetic drum computer".

al "Dumping", ossia alla stampa esadecimale del contenuto dei registri utilizzati durante l'elaborazione dal calcolatore, per analizzarne il contenuto ed individuare l'errore commesso. Si parla evidentemente dei primordi dell'informatica, ... diremmo, oggi, dell'età della pietra!

Dal verbale del Consiglio dei Professori del febbraio 1962 risulta che «il professor Evangelisti fa presente la necessità ormai inderogabile di prevedere, con una certa urgenza, la sostituzione del calcolatore IBM 650 in dotazione al Centro Calcoli ed in funzione 24 ore su 24 da oltre 3 anni (il che equivaleva ad un lavoro normale di 9 anni), perché è da ritenersi completamente fuori uso». È un modello che risulta ormai antiquato, assorbe una quantità rilevante di energia elettrica ed inoltre per il suo lungo funzionamento richiede una onerosa manutenzione. Per le richieste, sempre più numerose, degli utenti il Centro Calcoli e Servomeccanismi propone di prendere in affitto il calcolatore IBM 1620.

L'IBM 1620 utilizzava il linguaggio Fortran2 che rendeva possibile il suo uso anche da parte di utenti non specialisti. Inizia così l'era moderna dell'informatica come strumento utilizzabile nei settori più diversi dell'ingegneria.



Figura 14. La perforatrice di schede IBM 026.

Il Centro Calcoli e Servomeccanismi era da considerarsi uno strumento ormai di ricerca e di interesse per molti Istituti della Facoltà di Ingegneria, le esigenze degli utenti erano sempre maggiori e diverse, per cui si arrivò anche all'acquisto della calcolatrice analogica Pace 231R. Per l'acquisto di tale macchina il Centro Calcoli e Servomeccanismi ha ricevuto un cospicuo finanziamento, concessogli dal Consiglio di Facoltà, nell'anno 1962.

L'IBM 1620 rappresentò una scelta molto valida per le esigenze della Facoltà e venne utilizzato fino alla fine degli anni Sessanta, quando il Centro Calcoli e Servomeccanismi diede origine all'Istituto di Automatica e al Centro di Calcolo, che prese in affitto un VAX 11/780 in sostituzione dell'IBM 1620.

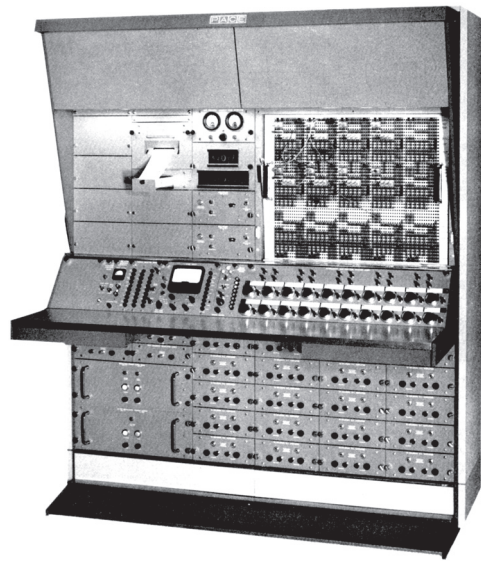
Nel 1968/69 al Centro Calcoli e Servomeccanismi afferivano i seguenti insegnamenti:

- Calcolatrici elettroniche (Belardinelli)
- Componenti dei sistemi di controllo (Sarti)
- Controlli automatici (Belardinelli)
- Programmazione (Rossi)
- Tecnologia dei controlli automatici (Marro)

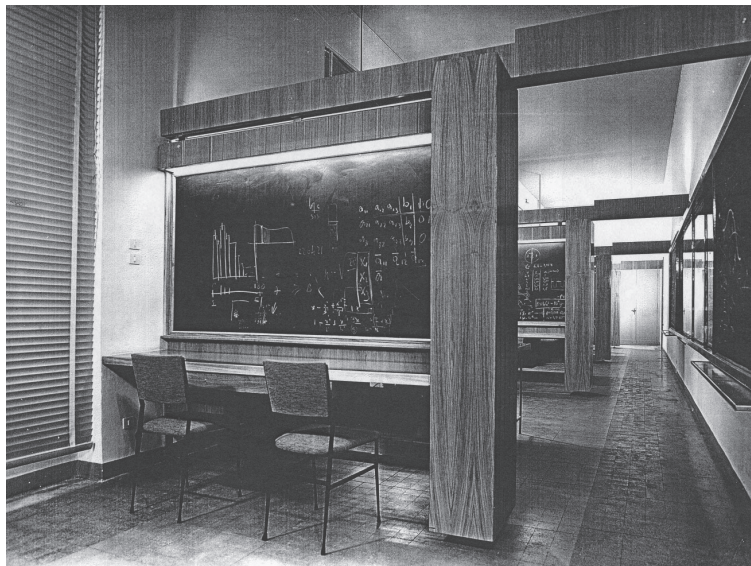
Assistenti di ruolo: Bertoni, Boari, Bonivento, Carpaneto, Colamussi, Laschi, Toth.

Personale tecnico: Mazzagardi, Tironi, Addone Zaccarelli, Bortolotti, Bassini, Gallerani, Kranjc Monti, Poggi, Bonzi, Zaccheddu.

Assistenti volontari: n. 8.



*Figura 15. La calcolatrice analogica Pace 231R. Ben visibile, sulla destra, il pannello di programmazione amovibile sul quale venivano inserite le interconnessioni tra i vari elementi dei circuiti impostati.*



*Figura 16. L'ingresso del Centro Calcoli e Servomeccanismi (1958).*

Risale al periodo dell'attività del Centro Calcoli e Servomeccanismi la stesura di alcuni lavori, che riportiamo sotto:

*E.F. Infante – L.G. Clark*  
**Sulle grandi oscillazioni di un sistema idroelettrico<sup>3</sup>**  
*(a cura del dott. ing. Giovanni Marro)*

**1. Introduzione.**

Il lavoro riporta i risultati di un'indagine qualitativa e quantitativa dell'equazione differenziale che descrive il comportamento dinamico di un sistema idraulico composto di un serbatoio, una condotta in pressione e un pozzo piezometrico a sezione costante, collegato con una centrale in cui:

$$\alpha = \frac{h_{f0}}{V_0' \left( \frac{L A}{g F} \right)^{1/2}}; \quad \beta = \frac{h_{f0}}{H_0}$$

**Modelli elettrici per reti di condotte<sup>4</sup>**

Memoria del corrispondente Giuseppe Evangelisti

*Riassunto* – La memoria riferisce sopra un lungo ciclo di ricerche svolte presso il Centro Calcoli e Servomeccanismi dell'Università di Bologna.

Le ricerche hanno avuto per oggetto la rappresentazione su modello elettrico delle reti per trasporto di fluidi in pressione, e si sono svolte col proposito di progredire, sia in vastità che in profondità, rispetto a quanto è stato realizzato finora. Ciò vale in particolare per il moto degli aeriformi, in cui è stato risolto (si ritiene per la prima volta) il problema della legge di resistenza nel caso di elevati salti di pressione, e insieme ad esso un problema di moto vario di particolare interesse tecnico.

**Modelli elettrici per reti di distribuzione di gas compressi<sup>5</sup>**

Memoria di E. Belardinelli, G. Marro ed E. Sarti

*Riassunto* – Sono studiati modelli analogici di tipo elettrico per reti di distribuzione di gas compresso, in condizioni di moto permanente e di moto vario. Dopo avere richiamato le leggi che reggono il moto di un fluido attraverso condotte uniformi, sia nel caso in cui occorra tener conto delle variazioni di densità sia nel caso in cui questa risulti trascurabile, si descrivono diversi modelli di condotta, alcuni esclusivamente impiegabili in problemi di analisi di reti già in opera, altri particolarmente atti alla soluzione di problemi in progetto. Infine sono descritti i modelli degli elementi terminali delle reti.

<sup>3</sup> «L'Energia Elettrica», vol. 41, n. 12, 1964.

<sup>4</sup> Accademia Nazionale dei Lincei, 11 marzo 1961.

<sup>5</sup> Presentata da Giuseppe Evangelisti nella seduta dell'11 marzo 1961.

### ***I riconoscimenti nazionali ed internazionali del professor Evangelisti***

Il professor Evangelisti fu accolto ed apprezzato in molti istituti accademici e culturali in Italia e all'estero:

- Accademia Nazionale dei Lincei;
- Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna;
- Istituto Lombardo di Scienze e Lettere;
- Académie des Science de Toulouse;
- Institute Belge de Régulation et d'Automation;
- Association Suisse pour l'Automation.

Fu inoltre membro del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione dal 1945 al 1954 e del Consiglio Superiore di Sanità dal 1964 al 1969.

Ricevette la laurea *honoris causa* dalla Technische Universität di Monaco di Baviera.

Il professor Evangelisti fu presto noto all'estero per i suoi lavori sulla stabilità dei sistemi non lineari e il suo volume *La regolazione delle turbine idrauliche*, che apparve come opera di riferimento sui controlli automatici nelle citazioni bibliografiche internazionali. Egli venne chiamato a far parte del gruppo che nel 1956 fondò l'IFAC (International Federation of Automatic Control), che è tuttora il più importante organismo internazionale che promuove iniziative e congressi nell'ambito dell'Automatica. Partecipò al primo Congresso IFAC (Mosca, 1960) con la memoria *On the Problem of Frequency Control in the Hydroelectric Stations*. Partecipò attivamente alle scuole "Problemi attuali di teoria dei Controlli Automatici" - Bressanone 1963-65. Fu autore della voce "Controlli Automatici" dell'Enciclopedia Treccani.

La vita di Giuseppe Evangelisti, nato a Molinella, in provincia di Bologna, il 25 novembre del 1903, si conclude a Bologna il 19 gennaio 1981.

### ***Gli insegnamenti***

Oltre l'insegnamento istituzionale di Costruzioni Idrauliche, il professor Evangelisti tenne per incarico i seguenti insegnamenti:

- Anno 1958/59: Elettronica
- Anno 1959/60: Elettronica
- Anno 1960/61: Controlli Automatici
- Anno 1961/62: Controlli Automatici
- Anno 1962/63: Controlli Automatici e Servocomandi e Regolazione
- Anno 1963/64: Controlli Automatici e Servocomandi e Regolazione
- Anno 1964/65: Controlli Automatici



*Figura 17. Lepschy, Evangelisti e Ruberti nel Centro IBM di Poughkeepsie nel 1958.*

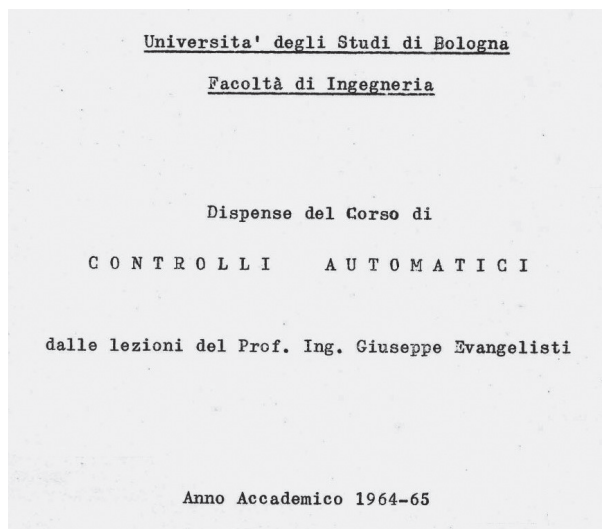


Figura 18. A.a. 1964/65.  
 Copertina delle dispense del  
 Corso di Controlli Automatici.



Figura 19. Intervento del professor Giovanni Marro presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, in occasione della dedica dell'aula 6.2 al professor Giuseppe Evangelisti.

## Bibliografia

- B. Poggi, *XVIII Convegno di idraulica e costruzioni idrauliche*, Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna, Bologna, settembre 1982.  
 G. Marro, *Il contributo del Prof. Evangelisti: L'Automatica e il Centro di Calcolo*, Conferenza presso la Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna, 2006.

## 2.27. L'OPERA DI ERCOLE DE CASTRO PER LO SVILUPPO DEL SETTORE ELETTRONICO NELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Giorgio Bacarani*

### 2.27.1. Premessa

L'interesse di Ercole De Castro su varie problematiche di natura elettronica risale alla seconda metà degli anni Cinquanta, ancor prima della nascita dell'Elettronica come disciplina a sé stante. Appartengono a quell'epoca i suoi primi lavori sulla risposta di circuiti non lineari ad oscillazioni modulate in ampiezza e in frequenza [1, 2]; sulla teoria delle oscillazioni [3], ripresi anche in tempi successivi [4]; sugli amplificatori a transistori [5, 6]; sulla stabilizzazione degli amplificatori per correnti continue a transistori [7], sui transistori a resistenza differenziale negativa [8, 9], e sulla teoria degli amplificatori parametrici [10, 11]. Queste tematiche erano allora considerate proprie delle Comunicazioni Elettriche, ma oggi possono essere riconosciute a tutti gli effetti come argomenti di Elettronica, anche se la loro applicazione era chiaramente rivolta alla disciplina sopra menzionata.

Il suo interesse per la Microelettronica propriamente intesa nacque invece verso la metà degli anni Sessanta, quando venne sviluppata la tecnologia dei primi circuiti integrati digitali in silicio. Si trattava all'epoca di semplici porte logiche in tecnologia ECL o TTL, contenenti al più una decina di transistori. La loro realizzazione in forma monolitica apriva infatti la strada ad un incremento progressivo del livello di integrazione dei circuiti, reso possibile dal processo di miniaturizzazione dei transistori, e sospinto dal loro conseguente aumento di prestazioni e dalla riduzione dimensionale dei sistemi risultanti. Da profondo conoscitore della fisica dei dispositivi, comprese immediatamente che i limiti fisici della miniaturizzazione erano all'epoca ben lungi dall'essere raggiunti, e che tale tecnologia avrebbe avuto un impatto assai profondo sull'evoluzione dei sistemi elettronici per una molteplicità di applicazioni fra cui, in particolare, le Telecomunicazioni, tema dominante della sua precedente attività di ricerca.

Un lavoro pubblicato su *Electronics* nell'Aprile del 1965 da Gordon Moore, capo del settore R&D di Fairchild Semiconductors e co-fondatore tre anni dopo di Intel, mostrava che la crescita nel livello di integrazione era proceduta dal 1959 al 1964 con legge esponenziale, caratterizzata in media da un raddoppio del numero di componenti elettronici ogni anno<sup>1</sup>. La estrapolazione ad anni successivi di tale legge empiri-

---

<sup>1</sup> La legge di Moore ha guidato per almeno cinque decenni l'evoluzione della Microelettronica, anche se con tassi di crescita mediamente più ridotti, ma pur sempre esponenziali. Il raddoppio del numero di componenti per microcircuito si è infatti avuto ogni due o tre anni, dipendentemente dalle epoche che si sono susseguite.



ca lasciava intravedere la possibilità di realizzare nell'immediato futuro sottosistemi complessi, con enormi vantaggi in termini di occupazione di area, consumo di potenza e prestazioni. All'epoca si riteneva che la principale limitazione a tale sviluppo sarebbe stata di natura economica, in quanto la specializzazione delle funzioni realizzate in forma integrata ne avrebbe ridotto il mercato potenziale. Jack Morton, vicepresidente di AT&T e capo dei laboratori Bell Telephone, parlava di «*right scale integration*» in opposizione al concetto di «*large scale integration*».

La realizzazione del primo microprocessore programmabile nell'anno 1971 presso i laboratori R&D di Intel ad opera di Ted Hoff e Federico Faggin avrebbe tuttavia consentito il superamento di tale restrizione, in quanto la programmabilità apriva la strada ad applicazioni molteplici e alla conseguente disponibilità di un mercato di grandi dimensioni.

### **2.27.2. Azioni rivolte alla diffusione della Microelettronica in Italia: fondazione del Laboratorio CNR-LAMEL**

Ercole De Castro comprese per primo in Italia che le Facoltà di Ingegneria erano all'epoca largamente impreparate a fronteggiare sul piano educativo l'impatto della nuova tecnologia emergente, i cui fondamenti poggiano sulle basi della Meccanica Quantistica e della Fisica dei solidi. Altrettanto carenti erano sotto il profilo della disponibilità di Laboratori di ricerca che potessero accompagnare, attraverso opportune attività sperimentali, il processo di crescita delle conoscenze teoriche in materia. La sua azione fu pertanto duplice: in primo luogo si adoperò per una crescita della cultura microelettronica disponibile nel suo gruppo di ricerca. A tal fine, orientò l'attività di due suoi allievi, Sergio Graffi e Pier Ugo Calzolari, sulla fisica dei dispositivi elettronici a semiconduttore. Contestualmente, inviò Giovanni Soncini all'Università di Stanford e, successivamente, Giorgio Baccarani ai Laboratori Bell Telephone di AT&T, per favorire la maturazione di un'esperienza sperimentale accelerata nell'area dei dispositivi elettronici ed optoelettronici fruibile dopo il loro ritorno in sede.

La seconda azione di De Castro fu quella di sensibilizzare il mondo accademico e industriale all'esigenza di sviluppare adeguate competenze nazionali in un settore, quello della nascente Microelettronica, da Lui ritenuto di importanza strategica per lo sviluppo del Paese. In una comunicazione al convegno sul tema: "Tecnologie avanzate e loro riflessi economici, sociali e politici", organizzato dall'Accademia dei Lincei e svoltosi a Roma nel novembre del 1969, Ercole De Castro pronunciava le seguenti parole:

È urgente rendere disponibili, per le attività di ricerca e progettazione connesse con lo sviluppo delle tecnologie elettroniche, giovani allenati alla collaborazione interdisciplinare in campo chimico, fisico ed elettronico; in particolare, ingegneri largamente aperti verso i moderni capitoli della fisica che sono alla base delle nostre conoscenze sullo stato solido; con una preparazione, inoltre, saldamente ancorata ad una consi-

stente attività sperimentale in laboratori adeguatamente attrezzati. Il che richiederà un certo sforzo di adattamento da parte delle nostre Facoltà di Ingegneria, che in questo settore presentano gravi lacune, e richiederà, d'altra parte, la disponibilità dei mezzi necessari. Occorre dunque una precisa volontà di operare in una certa direzione; occorre avere la possibilità di procedere con scioltezza e senza eccessive ristrettezze economiche; occorrerà innanzi tutto la capacità di organizzare le cose con una chiara visione degli obiettivi da raggiungere. Non è poco, ma la posta è troppo importante per potervi rinunciare.

Queste idee sono state a fondamento della sua iniziativa di dare vita, con la collaborazione dei professori Paolo Chiorboli e Paolo Spinedi, al Laboratorio CNR per la Fisica e Tecnologia dei Componenti e dei Materiali per l'Elettronica, in breve LAMEL, istituito nel 1970, e nel quale ricoprì per circa dieci anni la funzione di Presidente del Consiglio Scientifico. Questo Laboratorio, che oggi è integrato nel Macro-Istituto IMM del CNR, svolse negli anni Settanta un ruolo di promozione e di avanguardia per la diffusione della Microelettronica nel contesto nazionale ed europeo, e rappresenta storicamente il primo esempio in Italia di una iniziativa autenticamente multidisciplinare di ricerca rivolta ad un settore applicativo che oggi costituisce la tecnologia abilitante per lo sviluppo dei sistemi per l'elaborazione dell'informazione e le comunicazioni personali.

### **2.27.3. Stesura del volume *Fondamenti di Elettronica: Fisica Elettronica ed Elementi di Teoria dei Dispositivi***

All'inizio degli anni Settanta, Ercole De Castro intraprese la stesura del secondo volume di un trattato di *Fondamenti di Elettronica*, avente per oggetto *Fisica Elettronica ed Elementi di Teoria dei Dispositivi*. Il primo volume dell'opera, di cui pospose la stesura, avrebbe nelle Sue intenzioni riguardato l'Elettronica circuitale, ma rimase purtroppo incompiuto per la Sua prematura scomparsa. Di esso ci rimangono le dispense pubblicate dalla Cooperativa Libreria Universitaria ad uso degli studenti, da cui emerge comunque, pur nella sintesi degli argomenti trattati, la Sua visione sistemica della disciplina.

Pubblicato da UTET nell'anno 1975, il volume sulla Fisica Elettronica ha costituito un'opera che non è azzardato definire monumentale. Esso compendia infatti una trattazione di Meccanica Quantistica e di Fisica dei solidi, che precede l'analisi dei dispositivi a semiconduttore, nonché un corso di Ottica elettronica, che presiede al funzionamento dei tubi a vuoto, quali: tubi catodici, microscopi elettronici, klystron di potenza e tubi ad onda progressiva. Questi dispositivi conservano ancora oggi una importanza rilevante per la strumentazione di misura, per sistemi di trasmissione ad elevata potenza, e applicazioni radar. Il livello di approfondimento dei concetti trattati fece di questo volume non solo un libro di testo per studenti frequentanti i corsi di Elettronica Applicata e di Elettronica Quantistica, ma anche

uno straordinario strumento di consultazione e di studio per dottorandi e ricercatori interessati a chiarire i concetti fondamentali della Micro- e della Nanoelettronica. Il rigore scientifico di questo trattato rispecchia in pieno le linee guida dell'insegnamento di Ercole De Castro in tutti i campi in cui ha operato. Le sue finalità, sono descritte con la consueta precisione dal suo Autore nella *Prefazione*:

Il trattato in due volumi che mi accingo a presentare si prefigge un duplice scopo: innanzitutto spiegare ai giovani studiosi i concetti fisici ed i metodi matematici che sono alla base dell'Elettronica moderna, sia per quanto riguarda la fenomenologia circuitale, sia per quanto attiene alla teoria di quei particolari dispositivi che dei circuiti elettronici sono il presupposto essenziale; in secondo luogo rendere disponibile, oltre alle nozioni istituzionali che rappresentano il corredo culturale di ogni serio ingegnere elettronico, un sostanziale supplemento di materia. Ciò per consentire ai più dotati e volenterosi di allargare e di approfondire la propria preparazione generale, senza l'onere di consultare numerosi testi concepiti con finalità diverse e perciò tali da richiedere un notevole sforzo di orientamento.

Appare da queste parole la costante preoccupazione di agevolare il compito degli studenti di Ingegneria, non tanto attraverso una semplificazione della materia, quanto piuttosto mediante la creazione di un contesto coerente ed esaustivo dal quale essi potessero attingere tutti i concetti fondamentali della disciplina. E dopo aver ulteriormente precisato lo spirito della sua impostazione, aggiunge:

Per capire il significato, e quindi l'utilità di una innovazione tecnologica, nella consapevolezza delle sue intrinseche limitazioni e perciò delle sue reali prospettive di sviluppo, serve a poco la descrizione della sequenza di operazioni che essa comporta senza una chiara comprensione del processo fisico che ne è alla base. Ma una tale comprensione richiede una approfondita conoscenza di taluni capitoli della Fisica moderna, che non trovano posto nei programmi dei nostri bienni propedeutici. Basti pensare che l'interpretazione di quanto avviene nella più elementare struttura di cui si compongono i dispositivi a semiconduttori, la giunzione p-n, è fondata in modo essenziale sulla Meccanica Quantistica: senza l'uso di questo strumento concettuale, non si riesce a giustificare nemmeno il segno delle cariche in movimento, quale risulta da semplici rilievi sperimentali.

Traspare, da queste considerazioni, la visione di Università di Ercole De Castro, come sede per la trasmissione di concetti fondanti delle discipline oggetto di studio, assai più che di nozioni soggette ad obsolescenza per la rapida evoluzione della tecnologia. Consapevole delle limitazioni dei modelli matematici in uso per lo studio dei dispositivi a semiconduttore, richiama poi la necessità di conoscerne «la natura e la portata» per lo sviluppo di una reale capacità predittiva delle loro prestazioni. Allo stesso tempo, la selezione delle tematiche di studio è ancorata ad una limpida visione della evoluzione tecnologica, laddove individua nell'affidabilità dei microcircuiti e nei relativi meccanismi di guasto un tema che conserva ancora oggi un'importanza fondamentale per la fabbricazione di sistemi complessi. Afferma infatti:

Occorre inoltre avere presente che, nello studio dei dispositivi allo stato solido, i modelli matematici desunti dalle leggi fisiche più generali, sono condizionati da numerose ipotesi semplificative, delle quali è ovviamente necessario conoscere bene la natura e la portata, ove se ne voglia fare un uso corretto sia per quanto riguarda il loro campo di applicabilità, sia per quanto attiene alla precisione che è ragionevole attendersi. Tanto più che il perfezionamento dei processi di fabbricazione e le possibilità di controllo delle proprietà dei materiali giustificano ormai un affinamento dei modelli stessi, mentre lo sviluppo dei circuiti integrati, esasperando il problema delle rese di produzione, impone un'analisi sempre più approfondita dei meccanismi di guasto ed una progettazione sempre più accurata dei dispositivi.

Le considerazioni conclusive di tale prefazione sono ancora rivolte alla figura dell'Ingegnere elettronico da Lui vagheggiata, e alla preparazione di base che lo deve sostenere nella sua attività progettuale. Dopo un tributo all'«intrinseca bellezza dei più moderni capitoli della Fisica» e alla loro «utilità pratica», conclude con una sintesi delle finalità e dei contenuti del volume, che corrispondono a tre corsi universitari così delineati:

È opportuno dunque che l'Ingegnere elettronico possieda una adeguata preparazione di base anche in questo ordine di questioni, che del resto hanno il pregio di dargli l'occasione di accostarsi ai più moderni capitoli della Fisica e di comprenderne, oltre all'intrinseca bellezza, anche l'utilità pratica nelle disciplina applicative a lui più congeniali. Il secondo volume di questi "Fondamenti" è perciò dedicato alla Fisica elettronica ed agli elementi della Teoria dei dispositivi e compendia una materia che corrisponde, su per giù, al contenuto di tre corsi universitari, rispettivamente di "Complementi di Fisica", di "Ottica elettronica" e di "Teoria dei dispositivi a semiconduttori".

#### **2.27.4. L'offerta formativa per gli studenti del corso di laurea in Ingegneria Elettronica**

A seguito della riforma degli studi di ingegneria che ebbe luogo nell'A.A. 1960/61, la Facoltà venne organizzata in sette corsi di laurea comprendenti, per la prima volta, quello di Ingegneria Elettronica. Il piano degli studi, che permarrà largamente inalterato sino all'A.A. 1967/68, è illustrato nella Fig. 10 della trattazione redatta da Leonardo Calandrino, dedicata all'opera di Vittorio Gori e di Ercole De Castro nel campo delle Comunicazioni Elettriche. Come si evince dal contenuto del piano, il corso di laurea abbracciava, in aggiunta al biennio propedeutico, diverse discipline applicative, fra le quali spiccano, in aggiunta alle Telecomunicazioni, anche i Controlli automatici e i Calcolatori elettronici.

Sin dall'A.A. 1960/61, Ercole De Castro fu titolare degli insegnamenti di Comunicazioni Elettriche e di Elettronica Applicata, i cui programmi sono riportati nella Fig. 10 del suddetto capitolo. Quello di Elettronica Applicata tratta in prevalenza tematiche di carattere circuitale. Dopo alcune semplici nozioni sui tubi a vuoto e sui transistori, sulle loro caratteristiche e la loro linearizzazione, il corso si focalizza su

un'ampia varietà di amplificatori aperiodici e selettivi, a radio frequenza e di potenza. Un ampio capitolo è poi dedicato agli oscillatori quasi sinusoidali e di rilassamento e alla loro stabilità di ampiezza e frequenza. Segue lo studio sui convertitori di frequenza, sui modulatori e rivelatori di ampiezza e di frequenza, e sui multivibratori. Conclude il programma del corso una trattazione della dinamica degli elettroni veloci e delle loro applicazioni ai tubi per microonde e agli acceleratori, nonché della dinamica delle cariche mobili nei semiconduttori. Il programma del corso di Elettronica Applicata, svolto nell'A.A. 1965/66, è riportato in Appendice e designato con la sigla P1. I suoi contenuti, se comparati con quelli dello stesso insegnamento erogato nell'A.A. 1960/61, rivelano un continuo affinamento di questa disciplina ed una maggiore estensione di alcune tematiche. Spicca fra queste un programma di elementi di Fisica Elettronica rivolto ai soli allievi elettronici.

Il piano di studi del corso di laurea in Ingegneria Elettronica venne ulteriormente riformato nell'A.A. 1968/69 con l'introduzione di nuovi insegnamenti fondamentali in sostituzione di altri, ritenuti di minore importanza per la formazione dell'Ingegnere elettronico, e di insegnamenti complementari mirati ad arricchire l'offerta formativa a disposizione degli studenti. Vennero così aboliti i corsi di Geometria II e di Disegno II, e fu introdotto al secondo anno quello di Metodi di Osservazione e Misura, che assorbì, almeno in parte, i contenuti di un corso precedente di Analisi Statistica. Inoltre, l'insegnamento di Elettronica Applicata venne sdoppiato in due corsi denominati Elettronica Generale, affidato a Sergio Graffi, ed Elettronica Applicata, tenuto dallo stesso Ercole De Castro. Nel contempo, furono introdotti tre gruppi di discipline complementari orientati rispettivamente alle Comunicazioni elettriche, ai Calcolatori elettronici e ai Controlli automatici. Il nuovo piano di studi del corso di laurea in Ingegneria Elettronica relativo all'A.A. 1968/69 è riportato in Tabella I, che riproduce il contenuto dell'Annuario dell'Università di Bologna.

Dopo un rapido transitorio, i contenuti degli insegnamenti di Elettronica Generale ed Applicata trovarono un nuovo assetto, rappresentato in Appendice dai programmi P2 e P3, relativi all'A.A. 1971/72. Come si evince dai programmi di tali corsi, i concetti fondamentali dell'Elettronica circuitale furono trasferiti nel corso di Elettronica Generale, svolto al terzo anno, consentendo così all'Elettronica Applicata di evolvere gradualmente verso un corso di Fisica elettronica e di teoria dei dispositivi a semiconduttore. In tal modo, i suddetti contenuti trovarono spazio senza comprimere quelli dell'Elettronica circuitale.

Facendo uso di un approccio metodologico inconsueto all'epoca, Ercole De Castro ritenne appropriato far precedere un insegnamento di Elettronica circuitale svincolato dalle caratteristiche dei componenti, a quello specificamente dedicato agli stessi e ai loro fondamenti. Avendo vissuto in prima persona la transizione fra i tubi a vuoto e i transistori, maturò la convinzione che l'Elettronica circuitale dovesse prescindere dalla natura dei componenti utilizzati, focalizzando invece la propria attenzione sugli aspetti generali della teoria dei circuiti, fra i quali spiccano la linearizzazione delle equazioni che ne governano il funzionamento, la dinamica non lineare, nonché la teoria delle oscillazioni quasi-sinusoidali e di rilassamento.

Tabella I. Piano di studi del corso di laurea in Ingegneria Elettronica della Facoltà di Ingegneria per all'A.A. 1968/69, estratto dell'Annuario dell'Università di Bologna dello stesso anno.

LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA			
PER CHI OPTA PER IL NUOVO PIANO DI STUDI			
	Corsi a svolgimento estensivo	Corsi a svolgimento intensivo	
		I ciclo	II ciclo
1° anno	Analisi matematica I Geometria Fisica I Chimica Disegno		
2° anno	Analisi matematica II Meccanica razionale Fisica II Metodi di osservazione e misura		
3° anno	Fisica tecnica Scienza delle costruzioni	Elettrotecnica I Complementi di matematiche	Elettrotecnica II Elettronica generale
4° anno		Elettronica applicata Campi elettromagnetici e circuiti Meccanica applicata alle macchine e macchine	Comunicazioni elettriche Elettrotecnica II (*) Controlli automatici Tecnologie elettroniche
5° anno		Impianti elettrici Misure elettriche Radiotecnica	Tecnolog. elettroniche (*) Economia ed organizzazione aziendale  <i>Un gruppo a scelta:</i> <i>Gruppo I</i> Tecnica delle comunicazioni elettriche Impianti speciali radio <i>Gruppo II</i> Calcolatrici elettroniche Programmazione <i>Gruppo III</i> Componenti dei sistemi di controllo Tecnologie dei controlli automatici
<p>NOTA - Il piano transitorio elenca solo le materie da seguire per l'Anno Acc. 1968-69. Ove non diversamente specificato, gli studenti sono tenuti a superare gli esami di tutte le materie già previste per gli anni di corso precedenti a quello al quale si iscrivono.</p> <p>(*) Solo per l'anno Acc. 1968-69.</p>			

Nella prefazione al trattato sui "Fondamenti di Elettronica", pensato inizialmente in due volumi, scriveva infatti:

Il primo volume, dedicato ai circuiti elettronici, ha una impostazione nettamente sistemistica: cioè prescinde del tutto dal meccanismo di funzionamento dei dispositivi

adoperati, presupponendo noto un modello matematico atto a descrivere i vincoli che essi impongono alle grandezze fisiche accessibili. Per nulla giuoca il fatto che tale modello sia desumibile da una teoria fisica, oppure lo si consideri giustificato in sede sperimentale con un opportuno procedimento di identificazione. La necessità di specificare quantitativamente le suddette relazioni deriva ovviamente dalla esigenza di prevedere in modo preciso il comportamento di ogni circuito, ossia di valutarne prestazioni e costo.

Nell'A.A. 1969/70, i gruppi di materie complementari vennero ulteriormente estesi, con un orientamento specificamente rivolto alla Microelettronica. Questo orientamento comprendeva un nuovo insegnamento di Tecnologia dei semiconduttori, affidato a Pier Ugo Calzolari. Come rappresentato nel programma P4 in Appendice, questo insegnamento ebbe come argomento dominante la fisica dei dispositivi elettronici, con enfasi rivolta al transistor bipolare. Ad esso si aggiunse nell'anno successivo 1970/71 il corso di Elettronica Quantistica affidato a Giovanni Soncini, il cui programma P5 è orientato allo studio dei dispositivi optoelettronici, fra i quali il Laser occupa, per la sua importanza, uno spazio di gran lunga prevalente.

Nell'A.A. 1972/73 il piano di studi del corso di laurea in Ingegneria Elettronica fu ulteriormente aggiornato, e il suo quadro generale, desunto dall'Annuario dell'Università di Bologna dell'anno seguente, è riportato nelle Tabelle II (a) e II (b).

L'insegnamento di Elettronica Generale venne sdoppiato e ridenominato Elettronica Applicata I. I due corsi paralleli furono affidati a Sergio Graffi e Pier Ugo Calzolari, mentre l'insegnamento di Elettronica Applicata divenne Elettronica Applicata II. Il corso di Tecnologie dei Semiconduttori fu affidato a Giovanni Soncini, che aveva assunto la funzione di Responsabile del settore tecnologico del Laboratorio LAMEL sin dalla sua fondazione. Questi fece evolvere l'insegnamento verso tematiche relative alle strutture cristalline e alle loro tecniche di accrescimento e purificazione, nonché alle loro metodologie diagnostiche, basate su raggi X e microscopia elettronica. La seconda parte del corso sviluppò inoltre i processi della tecnologia planare del silicio, quali: l'ossidazione, la diffusione dei droganti, la litografia e l'impianto ionico.

L'insegnamento di Elettronica Quantistica fu invece affidato a Giorgio Baccarani, che riequilibrò il suo contenuto per sintetizzare nello stesso, oltre ai temi di optoelettronica, anche gli argomenti precedentemente trattati nel corso di Tecnologie dei Semiconduttori, ovvero la teoria e la modellistica dei dispositivi elettronici, con particolare riferimento ai dispositivi Metallo-Ossido-Semiconduttore (MOS), che avevano ormai soppiantato i transistori bipolari per la realizzazione di microcircuiti a larga scala di integrazione, e che avrebbero nel tempo assunto un peso dominante per tutte le applicazioni digitali. I contenuti di Tecnologie dei Semiconduttori e di Elettronica Quantistica in questa nuova configurazione sono riportati in Appendice e designati con le sigle P8 e P9. Fu così reso disponibile agli studenti un percorso orientato verso la Microelettronica.

Verso la fine degli anni Settanta, preso atto dello sviluppo delle tecnologie digitali e della crescente importanza della progettazione digitale, Ercole De Castro ritenne

Tabella II: a) Piano di studi del corso di laurea in Ingegneria Elettronica della Facoltà di Ingegneria per all'A.A. 1973/74, estratto dall'Annuario dell'Università di Bologna dello stesso anno; b) Piano di studi del corso di laurea in Ingegneria Elettronica della Facoltà di Ingegneria per all'A.A. 1973/74, estratto dall'Annuario dell'Università di Bologna dello stesso anno.

a)

## LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

### PIANO DI STUDI TRANSITORIO

#### INSEGNAMENTI A SVOLGIMENTO ESTENSIVO:

##### 1° anno:

Analisi matematica I;  
Chimica;  
Disegno;  
Fisica I;  
Geometria.

##### 2° anno:

Analisi matematica II;  
Fisica II;  
Meccanica razionale;  
Metodi di osservazione e misura.

#### INSEGNAMENTI A SVOLGIMENTO INTENSIVO:

##### 3° anno:

*I ciclo:*  
Complementi di matematiche;  
Elettrotecnica I;  
Fisica tecnica.

##### *II ciclo:*

Elettronica applicata I;  
Elettrotecnica II;  
Scienza delle costruzioni.  
Teoria dei sistemi.

##### 4° anno:

*I ciclo:*  
Campi elettromagnetici e circuiti;  
Comunicazioni elettriche;  
Meccanica delle macchine e macchine (1).

##### *II ciclo:*

Controlli automatici;  
Elettronica applicata II;  
Reti logiche e calcolatori elettronici;  
Teoria dei sistemi (2).

Gli studenti che si iscrivono al 1°, 2°, 3°, 4° anno debbono seguire il nuovo piano di studi.

#### PER CHI HA OPTATO PER IL NUOVO PIANO DI STUDI

#### INSEGNAMENTI A SVOLGIMENTO INTENSIVO:

##### 5° anno:

*I ciclo:*  
Economia ed organizzazione aziendale;  
Misure elettriche (3);

Radiotecnica.

##### *II ciclo:*

Misure elettriche (4);

(1) Sostituito ad ogni effetto dall'insegnamento di « Meccanica applicata alle macchine e macchine ».

(2) Limitatamente agli studenti che si iscrivono al 4° anno nel corrente A. A.

(3) Per gli studenti che scelgono i gruppi 2°, 3°, 5°.

(4) Per gli studenti che scelgono i gruppi 1° e 4°.



b)

Reti logiche e calcolatori elettronici (5); Impianti elettrici (6).	<i>II ciclo:</i> Sistemi per l'elaborazione dell'informazione.
<i>Gruppi a scelta:</i>	
<i>Gruppo I (Telecomunicazioni)</i>	<i>Uno a scelta tra i seguenti corsi:</i>
<i>I ciclo:</i> Calcolo elettronico.	<i>I ciclo:</i> Statistica applicata.
<i>II ciclo:</i> Tecnica delle comunicazioni elettriche.	<i>II ciclo:</i> Linguaggi di programmazione; Tecnica degli impulsi; Teoria e tecnica della ricerca operativa.
<i>Uno a scelta tra i seguenti corsi:</i>	
<i>I ciclo:</i> Teoria dei circuiti; Tecnologie elettroniche.	<i>Gruppo IV (Tecnologico)</i>
<i>II ciclo:</i> Tecnica degli impulsi; Tecnica delle microonde.	<i>I ciclo:</i> Calcolo elettronico; Tecnologie dei semiconduttori.
<i>Gruppo II (Automatica)</i>	<i>Uno a scelta tra i seguenti corsi:</i>
<i>I ciclo:</i> Calcolo elettronico.	<i>II ciclo:</i> Elettronica quantistica; Chimica fisica dello stato solido.
<i>Due a scelta tra i seguenti corsi:</i>	
<i>I ciclo:</i> Tecniche di controllo.	<i>Gruppo V (Biomedica)</i>
<i>II ciclo:</i> Elementi di analisi funzionale; Tecnica degli impulsi; Elettronica industriale; Teoria e tecnica della ricerca operativa.	<i>I ciclo:</i> Calcolo elettronico.
<i>Gruppo III (Informatica)</i>	<i>II ciclo:</i> Bioautomatica.
<i>I ciclo:</i> Calcolo elettronico.	<i>Uno a scelta tra i seguenti corsi:</i>
	<i>I ciclo:</i> Statistica applicata.
	<i>II ciclo:</i> Stumentazione biomedica; Teoria e tecnica della ricerca operativa.

## PER CHI HA OPTATO PER IL VECCHIO PIANO DI STUDI

<i>5° anno:</i>	Radiotecnica.
<i>I ciclo:</i> Economia ed organizzazione aziendale; Misure elettriche (3);	<i>II ciclo:</i> Misure elettriche (4); Reti logiche e calcolatori elettronici.

(5) Limitatamente agli studenti che si iscrivono al 5° anno nel corrente A. A.

(6) Per gli studenti che non hanno frequentato l'insegnamento al 4° anno e che non lo hanno sostituito con altri.

che il piano di studi degli studenti di questa Facoltà dovesse essere integrato con un nuovo insegnamento di Elettronica specificamente rivolto alle tecnologie digitali, ad integrazione dei contenuti generali di carattere prevalentemente metodologico del corso di Elettronica Applicata I. Il nuovo piano di studi è illustrato nelle Tabelle III (a) e III (b), che fanno riferimento alla Guida dello studente della Facoltà di Ingegneria dell'A.A. 1979/80.

Dopo un breve transitorio durante il quale si utilizzò un insegnamento disponibile di Tecnica degli impulsi, il corso fu ridenominato Elettronica Applicata II; fu attivato a partire dall'A.A. 1979/80, e fu affidato in forma sdoppiata a Giorgio Baccarani

Tabella III: a) Piano di studi del corso di laurea in Ingegneria Elettronica dell'A.A. 1979/80, estratto dalla Guida dello Studente della Facoltà di Ingegneria dello stesso anno; b) Piano di studi del corso di laurea in Ingegneria Elettronica dell'A.A. 1979/80, estratto dalla Guida dello Studente della Facoltà di Ingegneria dello stesso anno.

a)

PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1979-80						
Anno di corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - COD. 2006					
	Corsi a svolgimento estensivo			Corsi a svolgimento intensivo		
	N. cod.		N. cod.	I ciclo	N. cod.	II ciclo
I Anno	1365	Disegno	1352 1361	Analisi matematica I Chimica	1369 1377	Fisica I Geometria
II Anno			1356 1372	Analisi matematica II Fisica II	83 1381 2004	Calcolo elettronico (1) Meccanica razionale Metodi di osservazione e misura
III Anno			189 277 430	Complementi di matematiche Elettrotecnica I Fisica tecnica	2438 890 4115	Elettronica applicata I Scienza delle costruzioni Teoria dei sistemi
Per chi opta per il nuovo piano di studi (3)						
IV Anno			5698 4179 5579	Campi elettromagnetici e circuiti I Comunicazioni elettriche I Reti logiche	3694 5809	Controlli automatici I Elettronica applicata II (3) (già Tecnica degli impulsi)
Una materia dell'indirizzo di specializzazione scelto (2)						
V Anno			1386 251	Misure elettriche (4) Economia ed organizzazione aziendale	877 2632	Radiotecnica Meccanica delle macchine e macchine
Due materie dell'indirizzo di specializzazione scelto (2)						

(segue)

- (1) Sostituisce ad ogni effetto l'insegnamento di "Calcolo numerico e programmazione".
- (2) Sono contrassegnati con (+) gli insegnamenti che caratterizzano ciascun indirizzo.
- (3) Per l'equivalenza tra insegnamenti del nuovo e del vecchio ordinamento vedi pag. 32.
- (4) Coloro che hanno già frequentato "Elettrotecnica II" con il vecchio ordinamento mantengono tale insegnamento al III anno di corso. Per gli altri studenti non è prevista alcuna materia di indirizzo al III anno.
- (5) Per il presente a.a., a coloro che non hanno già frequentato tale insegnamento al IV anno, è consentito l'inserimento nel piano di studi del V anno di corso.
- (6) L'attivazione dei corsi di nuova istituzione è subordinata alla concessione del nulla-osta ministeriale, non ancora pervenuto.
- (7) Sostituito a tutti gli effetti, per il corrente a.a., da (5702) Microelettronica.

b)

(NUOVO ORDINAMENTO)  
PIANO DI STUDI PER L'ANNO ACCADEMICO 1979-80

INDIRIZZI DI SPECIALIZZAZIONE		CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA - COD. 2006			
		Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo	
		<b>1. Indirizzo Microelettronica</b>			
	123	Chimica fisica dello stato solido (V anno)	279	Elettrotecnica II (III anno) (4)	
	2034	Elettronica quantistica (V anno)	4314	*Elettronica applicata III (IV anno)	
	5702	*Microelettronica (V anno)	3980	Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (IV anno) (5)	
			3716	Calcolatori elettronici (V anno)	
			2037	Elettronica industriale (V anno)	
			5803	Progettazione automatica dei circuiti elettronici (V anno)	
		<b>2. Indirizzo Telecomunicazioni</b>			
	5699	*Campi elettromagnetici e circuiti II (V anno)	279	Elettrotecnica II (III anno) (4)	
	5700	*Comunicazioni elettriche II (V anno)	4314	Elettronica applicata III (IV anno)	
			3980	Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (IV anno) (5)	
	1048	Tecnologie elettroniche (V anno) (7)	2191	Microonde (V anno)	
			5803	Progettazione automatica dei circuiti elettronici (V anno)	
		<b>3. Indirizzo Automatica</b>			
	*4126	*Controllo dei processi (V anno)	279	Elettrotecnica II (III anno) (4)	
	5701	Metodi di ottimizzazione (V anno)	504	Impianti elettrici (V anno)	
			3980	Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (IV anno) (5)	
			3695	*Controlli automatici II (V anno)	
			2037	Elettronica industriale (V anno)	
			5574	Tecnologie dei sistemi di controllo (V anno)	
		<b>4. Indirizzo Informatica</b>			
	4524	Analisi numerica (V anno)			
	4126	Controllo dei processi (V anno)	279	Elettrotecnica II (III anno) (4)	
	4138	*Linguaggi di programmazione (V anno)	3980	*Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (IV anno) (5)	
	884	Ricerca operativa (V anno)	3716	Calcolatori elettronici (V anno)	
			5573	Gestione dell'informazione (V anno)	
		<b>5. Indirizzo Bioingegneria</b>			
	4524	Analisi numerica (V anno)	279	Elettrotecnica II (III anno) (4)	
	3569	*Bioautomatica (V anno)	3980	Sistemi per l'elaborazione dell'informazione (IV anno) (5)	
	884	Ricerca operativa (V anno)	1679	*Automazione ed organizzazione sanitaria (V anno)	
			2038	Statistica applicata (V anno)	
			4152	Strumentazione biomedica (V anno)	

e Bruno Riccò. Il programma dell'A.A. 1981/82 è riportato in Appendice e designato con la sigla P11. I contenuti dell'ex-Elettronica Applicata II vennero traslati su un nuovo insegnamento denominato Elettronica Applicata III, svolto sempre da Ercole De Castro nel quinto anno del corso di laurea. I suoi contenuti sono descritti in Appendice nel programma P12. Fu poi attivato un insegnamento denominato Microelettronica, affidato a Giovanni Soncini, che fece evolvere il corso precedente di Tecnologie dei semiconduttori, arricchendolo di contenuti relativi alla progettazione di circuiti integrati, come rappresentato in Appendice nel programma P13. Nel contempo, l'insegnamento di Elettronica Quantistica fu affidato a Massimo Rudan, che recuperò gran parte dei suoi contenuti originali di optoelettronica, come illustrato nel programma P14.

Fu così creato un vero e proprio indirizzo di Microelettronica, che si aggiunse a quelli di Telecomunicazioni, Automatica, Informatica e Bioingegneria, con un congruo numero di materie specialistiche, unite ad altre non strettamente attinenti alla

disciplina, ma di grande rilievo per la formazione ingegneristica, quali: Sistemi per l'elaborazione delle informazioni e Calcolatori elettronici. L'assetto del piano di studi era stato costantemente monitorato nella sua evoluzione da Ercole De Castro che, per la linearità delle sue considerazioni a supporto dei cambiamenti, e il suo carisma personale negli organi di governo della Facoltà, non trovava resistenza alcuna per l'approvazione delle sue proposte nel Consiglio di Facoltà.

Trovava così compimento l'opera scientifica, didattica e organizzativa lucidamente perseguita da Ercole De Castro per la creazione e la diffusione di una cultura Microelettronica nell'Università di Bologna e, più in generale, nel Paese. Il suo esempio fu seguito a breve da numerose altre Università fra cui, segnatamente, il Politecnico di Milano, e le Università di Genova, Pisa e Napoli. Oggi, tutte le maggiori Università Italiane hanno sviluppato attività di ricerca teorica e sperimentale nel campo della Microelettronica, e offrono ai loro studenti percorsi di studio ad essa attinenti.

### 2.27.5. Alcuni aspetti della personalità di Ercole De Castro

Fortemente attratto dall'insegnamento, per quale aveva una naturale predisposizione, De Castro era dotato di una straordinaria chiarezza espositiva. Nella sua visione, l'Ingegnere doveva essere dotato di una profonda cultura fisico-matematica e della capacità di porre la propria competenza progettuale al servizio di obiettivi realizzativi utili all'umanità. Alla formazione di una tale figura, dedicò ogni sforzo, e ad essa si applicò con uno spirito che non è azzardato definire missionario. Il suo metodo di insegnamento era di tipo logico-deduttivo, ed ogni singola proposizione era dimostrata matematicamente a partire da principi sottostanti e noti. Non di rado, la dimostrazione seguiva uno schema originale da egli stesso rielaborato, che non aveva l'equivalente nei libri di testo più in voga.

Come già accennato, la selezione dei temi di lezione era valutata molto attentamente, con lo scopo di trasmettere contenuti concettualmente rilevanti e non soggetti all'obsolescenza del tempo. I dettagli costruttivi degli apparati, così come i processi di fabbricazione dei circuiti integrati, ricevevano una minore attenzione nei suoi insegnamenti, ed erano al più demandati ad altri corsi di carattere complementare, nella consapevolezza che la evoluzione della tecnologia avrebbe reso quelle conoscenze meno rilevanti nel corso degli anni. Nella prefazione al volume *Fisica Elettronica ed Elementi di Teoria dei Dispositivi* infatti scrive:

La mia personale esperienza professionale, avendomi dato l'opportunità di aiutare numerosi giovani professionisti ad impostare i loro problemi, mi ha persuaso che sono le lacune concettuali, o l'inadeguata assimilazione dei metodi generali, a creare sostanziali difficoltà al progettista, anche di ordine psicologico; non certo l'insufficiente conoscenza di dettagli tecnologici, sempre acquisibili facilmente se si è in grado di recepire.

A questo proposito, giova ricordare che, negli anni Ottanta, ebbe luogo una repentina transizione dalle centrali elettromeccaniche di commutazione telefonica a quelle elettroniche, basate sulla codifica digitale dei segnali. Tale transizione rese obsolete tutte le nozioni relative ai dettagli funzionali delle centrali elettromeccaniche, e dimostrò l'importanza della codifica digitale dei segnali, che De Castro aveva sviluppato ampiamente nel suo corso di Comunicazioni Elettriche sin dall'inizio degli anni Sessanta. Questa evoluzione rappresenta un esempio quanto mai calzante a riprova della sua lungimiranza, e della validità di questo suo modo di pensare.

### 2.27.6. L'eredità di Ercole De Castro

Sono molte le eredità che questo grande Maestro ha lasciato ai suoi allievi. Una delle più importanti è, ad avviso di chi scrive, quella di aver dato vita nell'Università di Bologna a due grandi scuole di ricerca, che sono poi cresciute nel tempo forse persino al di là di quanto non prevedesse: la scuola di Telecomunicazioni e, successivamente, quella di Microelettronica. Se si considera lo sviluppo che queste discipline ebbero nei successivi 50 anni, appare in tutta evidenza la capacità di visione di cui era dotato. Ercole De Castro selezionò un nucleo di giovani e valenti ricercatori, ed insegnò loro con l'esempio personale spinto sino all'abnegazione i valori della cultura, della scienza e dell'impegno costante, sostenendo sempre il valore di una cultura scientifica a largo spettro, pur in presenza di un'inevitabile e crescente tendenza alla specializzazione.

A conclusione di questo capitolo, non appare superfluo illustrare la statura etica di Ercole De Castro, mediante la descrizione di alcuni comportamenti che praticò nelle più svariate circostanze. In primo luogo, non fece mai pesare le idee, gli stimoli e le discussioni scientifiche condotte con i suoi allievi per inserire il proprio nome nelle pubblicazioni, almeno in ultima posizione come "senior author", anche se la cosa sarebbe stata più che legittima. Considerava la funzione di Maestro come un dovere distinto dalla propria attività di ricerca, che perseguiva quasi esclusivamente in forma autonoma. Rifiutava pertanto di figurare come coautore delle pubblicazioni dei suoi allievi, anche nel caso in cui il suo contributo di idee, di cui era prodigo, fosse stato fondamentale per l'ottenimento dei risultati della ricerca. Per tale ragione, comparire in un numero assai limitato di pubblicazioni unitamente ad altri coautori, e solo qualora il suo contributo fosse stato di gran lunga prevalente.

Un secondo esempio attiene al rigore morale che soleva esercitare verso sé stesso. Negli anni Sessanta e Settanta, la linearizzazione dei circuiti non lineari veniva compiuta nei testi di riferimento linearizzando le caratteristiche statiche dei transistori, e inserendo a posteriori nel circuito equivalente opportune capacità interelettrodiche, la cui origine rimaneva non chiarita. De Castro elaborò per primo una teoria della linearizzazione delle equazioni integro-differenziali che governano il funzionamento dei circuiti elettronici. Tale procedura, di carattere squisitamente matematico, rendeva immediatamente disponibili gli effetti reattivi nel circuito equivalente per piccoli

segnali con una trattazione di grande eleganza e pulizia formale. E ai suoi collaboratori che lo sollecitavano a pubblicare questa metodologia, oppose l'argomento che Poincaré aveva già fatto uso di un metodo analogo nello studio delle traiettorie dei pianeti, e che pertanto il metodo non poteva considerarsi del tutto originale. In verità, l'applicazione alla propria disciplina di metodologie di analisi mutuata da altri campi della scienza, rappresenta di per sé un contributo di ricerca che apre la strada a nuovi sviluppi di interesse potenziale, e oggi nessun ricercatore si asterrebbe dalla pubblicazione di un simile risultato.

Un ulteriore esempio della Sua dirittura morale attiene alla decisione di interrompere ogni rapporto professionale con l'Industria all'atto della pubblicazione del D.P.R. 382 del 1980 sulla riforma dell'Università, pur nella Sua personale consapevolezza che tale collaborazione, se praticata entro opportuni limiti di tempo da lui sempre osservati, fosse di grande importanza per la crescita professionale di un docente di Ingegneria. Sin dal 1960, aveva infatti coltivato una collaborazione con Telettra, un'azienda emergente nel campo delle Telecomunicazioni, con una speciale vocazione per i sistemi e gli apparati di trasmissione. La sua collaborazione con Telettra fu prodiga di risultati per l'azienda, e raggiunse il suo maggiore coinvolgimento quando l'ingegner Floriani, suo fondatore, gli offrì di diventare componente del C.d.A. della Società. De Castro si dimise tuttavia da tutte le cariche ricoperte in Telettra quando il D.P.R. 382 del 1980 impose ai docenti Universitari di optare per un regime di impegno a tempo pieno o a tempo parziale. Il suo impegno per l'Università era così totalizzante che non accettò mai di essere considerato un professore universitario a tempo parziale.

Ma l'esempio forse più importante della sua statura etica fu l'atteggiamento di virile coraggio che dimostrò quando seppe di essere affetto da un male incurabile. Consapevole del dolore che la sua scomparsa avrebbe arrecato alla famiglia e, segnatamente, ai suoi figli ancora giovanissimi, lottò contro di esso con tutti i mezzi per differire nel tempo l'inevitabile epilogo. Questo non gli impedì tuttavia di continuare il proprio lavoro di docente e di ricercatore, che esercitò con determinazione e grande serenità sino alla crisi che, nel dicembre 1984, lo sottrasse all'affetto della famiglia e di quanti ebbero il privilegio di conoscerlo e di apprezzarlo come Maestro.

Ercole De Castro fu dunque un educatore, uno scienziato, un inventore, un organizzatore della ricerca (oggi diremmo un *manager*) e un amministratore, e rappresenta colui che, a conoscenza di chi scrive, ha meglio di ogni altro interpretato la funzione di docente universitario sotto il profilo culturale, scientifico ed etico. Se è vero che la grandezza di una scuola si evince dal successo delle carriere degli allievi che da essa provengono, noi possiamo annoverare fra gli allievi di Ercole De Castro il compianto professor P.U. Calzolari, già Rettore dell'Università di Bologna e Direttore del Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica (DEIS); il professor L. Calandrino e il professor G. Masetti, già Presidi della Facoltà di Ingegneria di Bologna, il professor Carlo Morandi, già Preside della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Parma, il professor G. Immovilli, già Direttore del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Modena e Reggio

Emilia, e il professor Enrico Sangiorgi, già Preside della Facoltà di Ingegneria con sede in Romagna, e Direttore del Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione "Guglielmo Marconi" (DEI). Attualmente, Enrico Sangiorgi è Prorettore alla Didattica di questa Università. Il Centro di Ricerca sui Sistemi Elettronici "Ercole De Castro", istituito presso l'Università di Bologna nell'anno 2001 per iniziativa di Giorgio Baccarani, fu a lui dedicato. In un contesto Industriale, è d'obbligo citare l'ingegner Guido Vannucchi, che fu Direttore Generale di Telettra, e che con lui ebbe un lungo rapporto di vicinanza negli anni della sua collaborazione con l'Azienda.

Nel 1981 De Castro divenne Membro Corrispondente dell'Accademia dei Lincei e, nello stesso anno, gli fu conferita dal Presidente della Repubblica la medaglia d'oro di Benemerito della Scuola, della Cultura e dell'Arte.

## Bibliografia

1. E. De Castro, *Considerazioni sulla risposta dei circuiti non lineari ad oscillazioni modulate in ampiezza ed in frequenza con legge qualsiasi*, «La Ricerca Scientifica», n. 2, 1956.
2. E. De Castro, E. Stanghellini, *Sul trasferimento della modulazione di ampiezza in modulazione di frequenza operato da taluni circuiti limitatori*, «Alta Frequenza», n. 3, 1957.
3. E. De Castro, *Sulla stabilità delle oscillazioni di rilassamento sincronizzate mediante impulsi*, «Alta Frequenza», n. 4, 1960.
4. E. De Castro, *Sulla sincronizzazione mutua di un insieme di oscillatori accoppiati. Considerazione sull'effetto di pace-maker nelle cellule cardiache*, Atti dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, Febbraio 1979.
5. E. De Castro, *Amplificatori per correnti continue a transistori*, Atti del Congresso di Elettronica, Roma 1956.
6. E. De Castro, *Sull'impiego di curve universali nel progetto di stati amplificatori a transistori*, Note, Recensioni, «Notizie dell'ISPT», n. 3, 1957.
7. E. De Castro, R. Rossi, *La stabilizzazione degli amplificatori per correnti continue. Note sull'impiego di convertitori c.c. - c.a. a transistori*, Atti del Congresso di Elettronica, Roma 1958.
8. E. De Castro, *I transistori a giunzione come bipoli a resistenza negativa*, «Rendiconti AEI», 1959.
9. E. De Castro, *Stabilizzazione del guadagno dei convertitori di frequenza a diodi tunnel*, Atti del Congresso di Elettronica, Roma 1961.
10. E. De Castro, *Sulla teoria degli amplificatori parametrici e di convertitori amplificatori di tipo resistivo*, «Alta Frequenza», n. 6, 1961.
11. E. De Castro, V.A. Monaco, *Amplificatori parametrici di tipo degenere*, Atti del Congresso di Elettronica, Roma 1961.
12. E. De Castro, *Fondamenti di Elettronica: Fisica Elettronica ed Elementi di Teoria dei Dispositivi*, UTET, 1975.

## Appendice

In questa Appendice sono riportati i programmi di alcuni insegnamenti di contenuto elettronico svolti nella Facoltà di Ingegneria di Bologna nell'arco temporale compreso fra gli anni accademici 1965/66 e 1981/82, quali risultano dall'Annuario dell'Università di Bologna o dalla guida dello studente della Facoltà. Gli insegnamenti citati sono soltanto quelli appartenenti al corso di laurea in Ingegneria Elettronica, mentre quelli tenuti da docenti di materie elettroniche per diversi corsi di laurea non sono qui considerati. Le annualità prescelte corrispondono ad anni accademici collocati più o meno a metà fra due successive riforme del piano di studi. In tal modo, è possibile ricostruire l'evoluzione temporale dei piani di studio e dei contenuti dei corsi resi disponibili agli studenti che avessero optato per l'orientamento, o l'indirizzo, di Microelettronica. I programmi citati sono ordinati temporalmente e numerati con le sigle P1, P2, ..., P14.

### ELETRONICA APPLICATA – Ercole De Castro (anno 1965/66)

Generalità sui problemi di amplificazione, generazione di oscillazioni, conversione di frequenza, modulazione e demodulazione. Dispositivi elettronici: poliodi a vuoto ed a semiconduttori (caratteristiche esterne, effetti reattivi, cenni di interpretazione microscopica). Circuiti equivalenti alle variazioni. Amplificatori aperiodici e selettivi. Amplificatori per correnti continue. Amplificatori operazionali. Amplificatori a retroazione. Generatori di oscillazioni a resistenza negativa: regime quasi sinusoidale e di rilassamento. Circuiti a scatto. Oscillatori a retroazione. Convertitori di frequenza, modulatori d'ampiezza ed amplificatori parametrici. *Per i soli allievi elettronici*: Elementi di Fisica Elettronica. Moto di cariche elettriche nel vuoto. Cenni sugli effetti del tempo di transito. Moto di cariche entro solidi. Equazioni del trasporto e teoria delle giunzioni.

P1. *Programma del corso di Elettronica Applicata svolto da Ercole De Castro nell'A.A. 1965/66, quale risulta dall'annuario dell'Università di Bologna dello stesso anno.*

### ELETRONICA GENERALE – Sergio Graffi (anno 1971/72)

Generalità sullo studio dei circuiti elettronici a parametri concentrati. Descrizione delle proprietà di alcuni componenti elettronici. Procedimento di linearizzazione. Circuiti equivalenti. Analisi di circuiti lineari in regime sinusoidale: uso delle matrici. Applicazioni ai principali stadi amplificatori a transistor. Amplificatori operazionali. Amplificatori di potenza. Generalità sui circuiti elettronici non lineari. Circuiti con bipoli a resistenza negativa. Oscillatori sinusoidali. Multivibratori. Principali circuiti non lineari impieganti diodi raddrizzatori.

P2. *Programma del corso di Elettronica Generale svolto da Sergio Graffi nell'A.A. 1971/72, quale risulta dall'annuario dell'Università di Bologna dello stesso anno.*

### ELETRONICA APPLICATA – Ercole De Castro (anno 1971/72)

Il Corso di lezioni si articola nelle tre seguenti parti, presso a poco di eguale ampiezza. 1) *Movimento degli elettroni nel vuoto e dispositivi ad alto vuoto*. Proprietà corpuscolari degli elettroni. Tubi a raggi catodici e spettrografi di massa. Ottica elettronica. Effetti di carica spaziale. Poliodi ad alto vuoto. Cenni sui tubi per microonde. 2) *Movimento degli elettroni nei solidi ed elementi di teoria dello stato solido*. Cenni di struttura della materia. Elementi di Meccanica Quantistica. Vibrazioni reticolari e stati elettronici nei monocristalli. Statistica di Fermi. Conduttori, isolanti, semiconduttori. Elettroni e lacune nei semiconduttori. 3) *Teoria dei dispositivi a semiconduttori*. Equazioni che governano il trasporto delle cariche.



Giunzioni. Diodi a giunzione p-n ed a barriera Schottky. Transistori ad effetto di campo. Transistori bipolari. Modelli circuitali. Cenni sulla tecnologia planare e sui circuiti integrati.

P3. *Programma del corso di Elettronica Applicata svolto da Ercole De Castro nell'A.A. 1971/72, quale risulta dall'annuario dell'Università di Bologna dello stesso anno.*

#### **TECNOLOGIE DEI SEMICONDUTTORI – Pier Ugo Calzolari (1971/72)**

Richiami su alcune questioni di fisica dei solidi: onde di Bloch, bande di energia, dinamica di un elettrone in un reticolo perfetto, statistiche per i semiconduttori. Fondamenti di teoria del trasporto: equazione di Boltzmann per metalli e semiconduttori, tensore di conducibilità. Cinetiche di generazione-ricombinazione per i semiconduttori: modello di Shockley-Read-Hall. Cenni sui fenomeni di generazione-ricombinazione superficiale. Modello matematico per lo studio dei dispositivi a semiconduttore: metodi approssimati e metodi numerici esatti. Illustrazione di un esempio di analisi numerica applicata ad una giunzione p-n. Teoria classica di Shockley della giunzione p-n in regime stazionario e dinamico linearizzato. Ammettenze di diffusione e circuito equivalente. Effetti dovuti ai fenomeni di generazione-ricombinazione nello strato svuotato. Fenomeni di scarica nelle giunzioni: effetto Zener e moltiplicazione a valanga. Generalità sui transistori bipolari: esame delle componenti della corrente di base, efficienza d'emettitore e fattore di trasporto. Calcolo delle caratteristiche di un transistor a diffusione e del tipo "drift". Effetti bidimensionali: "crowding" d'emettitore, definizione del transistor equivalente e calcolo della resistenza di base. Analisi di un transistor "drift" in regime dinamico linearizzato. Calcolo dei parametri ammettenze e di alcune grandezze utili per il progetto (frequenza di taglio, massima frequenza di oscillazione, ecc.). Teoria della struttura MIS ideale. Cenni sui fenomeni associati agli stati superficiali.

Generalità sui circuiti integrati monolitici: Tecniche di isolamento dei componenti. Tecnologia e caratteristiche dei resistori e dei condensatori integrati. Caratteristiche e limitazioni dei diodi e dei transistori integrati.

P4. *Programma del corso di Tecnologie dei Semiconduttori svolto da Pier Ugo Calzolari nell'A.A. 1971/72, quale risulta dall'annuario dell'Università di Bologna dello stesso anno.*

#### **ELETTRONICA QUANTISTICA – Giovanni Soncini (1971/72)**

*Richiami di Meccanica Quantistica.* La funzione d'onda e la sua interpretazione probabilistica. Equazione di Schroedinger. Principio di sovrapposizione degli stati. Operatori. Teorema di Ehrenfest. Atomo di idrogeno. Spin dell'elettrone e principio di esclusione. Il sistema periodico degli elementi.

*Interazione Radiazione-Materia.* Emissione ed assorbimento stimolati. Emissione spontanea. Teoria semiclassica dell'interazione. Righe Lorentziane e Gussiane. Saturazione.

*Pompaggio dei materiali.* Pompaggio elettrico ed ottico. Efficienza di trasferimento. Distribuzione dell'energia di pompa nel materiale attivo. Potenza assorbita per unità di volume.

*Teoria dei risonatori ottici passivi.* Risonatori a specchi piani e paralleli. Teoria di Fox e Li. Risonatori a specchi. Risonatore confocale equivalente. Teoria di Boyd e Gordon.

*Statica e Dinamica dei Laser.* Comportamento statico dei laser. Comportamento dinamico. Oscillazione su singolo modo e su molti modi. Q-switch e Mode-locking. *Tipi di laser.* Laser a cristalli ionici. Laser a gas. Laser a semiconduttore. Caratteristiche generali dei più importanti tipi di laser.

*Proprietà della radiazione laser.* Monocromaticità. Coerenza. Direzionalità. Brillanza.

*Applicazioni.* Applicazioni nel campo della ricerca fondamentale ed applicata. Olografia. Elaborazione ottica dei dati.

P5. *Programma del corso di Elettronica quantistica svolto da Giovanni Soncini nell'A.A. 1971/72, quale risulta dall'annuario dell'Università di Bologna dello stesso anno.*

**ELETRONICA APPLICATA I** – Sergio Graffi – Pier Ugo Calzolari (1974/75)

Generalità sullo studio dei circuiti elettronici a parametri concentrati. Descrizione delle proprietà di alcuni componenti elettronici. Procedimento di linearizzazione. Circuiti equivalenti. Analisi di circuiti lineari in regime sinusoidale: uso delle matrici. Applicazione ai principali stadi amplificatori a transistor. Amplificatori operazionali. Amplificatori di potenza. Generalità sui circuiti elettronici non lineari. Circuiti con bipoli a resistenza negativa. Oscillatori sinusoidali. Multivibratori. Principali circuiti non lineari impieganti diodi raddrizzatori.

P6. *Programma del corso di Elettronica Applicata I, svolto da Sergio Graffi e Pier Ugo Calzolari nell'A.A. 1974/75, quale risulta dall'annuario dell'Università di Bologna dello stesso anno.*

**ELETRONICA APPLICATA II** – Ercole De Castro (1974/75)

*Movimento degli elettroni nel vuoto:* Cenni di ottica elettronica; tubi a raggi catodici e spettrografi di massa; effetti di carica spaziale e poliadi ad alto vuoto; cenni sui tubi per microonde. *Movimento degli elettroni nei solidi:* elementi di Meccanica Quantistica e di teoria dello stato solido; conduttori, isolanti e semiconduttori; elettroni e lacune nei semiconduttori; equazioni del trasporto.

*Teoria dei dispositivi a semiconduttori:* modello matematico della teoria; analisi della giunzione p-n; diodi a giunzione; varactor e transistori ad effetto di campo (FET); transistori a giunzione in regime stazionario; modello a controllo di carica; brevi cenni sui dispositivi a barriera Schottky e sulle strutture MOS; cenni sulla tecnologia planare del silicio e sui circuiti integrati.

P7. *Programma del corso di Elettronica Applicata II, svolto da Ercole De Castro nell'A.A. 1974/75, quale risulta dall'annuario dell'Università di Bologna dello stesso anno.*

**TECNOLOGIE DEI SEMICONDUTTORI** – Giovanni Soncini (1974/75)

*Introduzione al programma del corso.* Cenni descrittivi preliminari sulla tecnologia planare del silicio. Componenti discreti e circuiti integrati monolitici e ibridi. Presente e futuro della Microelettronica. Preparazione dei cristalli semiconduttori. Alcuni richiami di cristallografia. La struttura dei principali cristalli semiconduttori. Valutazione della qualità e perfezione cristallografica dei materiali semiconduttori mediante l'impiego di raggi X e della Microscopia Elettronica. Difetti di punto (vacanze ed interstiziali) e di linea (dislocazioni) e loro rivelazione sperimentale. Raffinazione del Germanio e del Silicio mediante cristallizzazione frazionata e fusione a zone. Accrescimento di monocristalli semiconduttori mediante le tecniche Czochralski e Floated-Zone.

*Proprietà elettriche dei cristalli semiconduttori.* Banda di conduzione e di valenza, elettroni e lacune. Calcolo della concentrazione di portatori in semiconduttori omogenei in equilibrio termodinamico. Semiconduttori non omogenei. Misura della resistività. Metodo delle 4 punte. Metodo di Van der Pauw. Effetto Hall e misura della concentrazione dei portatori e della loro mobilità. Fenomeni di Generazione-Ricombinazione. Statistica di Shockley-Read. Misura sperimentale dei tempi di vita.

*Tecnologia planare del Silicio.* Ossidazione termica del Silicio. Cinetica dell'ossidazione. Contaminazioni ed instabilità elettrica. Diffusione. L'equazione della diffusione e la sua risoluzione. Predeposizione e Drive-in. Fenomeni di redistribuzione all'interfaccia ossido-silicio.

Epitassia. Cinetica di crescita degli strati epitassiali. Ridistribuzione dei droganti durante la crescita. Deposizione di strati metallici e dielettrici mediante evaporazione sotto vuoto e sputtering. Fotolitografia e produzione delle maschere. Testing ed incapsulamento finale dei componenti planari discreti e dei circuiti integrati.

*Componenti discreti e circuiti integrati bipolari.* Richiami sulle proprietà elettriche della giunzione p-n in equilibrio, in interdizione ed in conduzione. Cenni sulle giunzioni diffuse. Struttura e caratteristiche elettriche dei diodi planari discreti ed integrati. Richiami sulle proprietà elettriche del transistor bipolare. Transistori con profili graduali. Strutture e caratteristiche elettriche dei transistori planari discreti ed integrati. Resistori integrati monolitici. Condensatori integrati monolitici a giunzione e tipo MOS. Esempio di progetto di un semplice circuito integrato bipolare.

P8. *Programma del corso di Tecnologie dei semiconduttori svolto da Giovanni Soncini nell'A.A. 1971/72, quale risulta dall'annuario dell'Università di Bologna dello stesso anno.*

#### **ELETTRONICA QUANTISTICA** – *Giorgio Baccarani (1974/75)*

1. *Elementi di fisica dello stato solido.* Richiami sui metodi generali della Meccanica Quantistica. Elementi di geometria dei reticoli cristallini. L'approssimazione adiabatica di Born-Oppenheimer. Il teorema di Bloch. Moto dei nuclei in un solido cristallino: modi di vibrazione acustici e ottici, e concetto di fonone. Moto degli elettroni in un cristallo in condizioni di equilibrio termodinamico. Struttura a bande nei cristalli. Interazione elettrone-fonone. Teorema dell'hamiltoniano equivalente e della massa efficace. Il concetto di lacuna nei semiconduttori. L'equazione di Boltzmann. L'approssimazione del tempo di rilassamento. Soluzione dell'equazione di Boltzmann per materiali omogenei sottoposti a campi deboli ed uniformi. Le equazioni del trasporto.

2. *Elementi di teoria dei dispositivi elettronici.* Il modello matematico dei dispositivi. Il diodo a giunzione: comportamento in condizioni stazionarie, di piccoli segnali e grandi segnali. Il transistor bipolare. Il transistor ad effetto di campo a giunzione (JFET). Giunzioni metallo-semiconduttore: diodo e transistor (MESFET) a barriera Schottky. Strutture metallo-isolante-semiconduttore: il condensatore MOS; il transistor MOS; i dispositivi a trasferimento di carica (CCD). Effetto Gunn e diodo Gunn.

P9. *Programma del corso di Elettronica Quantistica svolto da Giorgio Baccarani nell'A.A. 1974/75, quale risulta dall'annuario dell'Università di Bologna dello stesso anno.*

#### **ELETTRONICA APPLICATA I** – *Sergio Graffi – Pier Ugo Calzolari (1981/82)*

Il corso si propone di fornire allo studente gli strumenti fondamentali per l'analisi di qualunque circuito elettronico i cui componenti siano caratterizzati da una descrizione "ai terminali", che prescindano cioè dalla struttura fisica del componente stesso. La descrizione di particolari circuiti e la deduzione dei relativi criteri di progetto costituiscono esempi di applicazione della teoria e non esauriscono le finalità del corso.

##### **Programma**

Generalità sui circuiti, sui segnali e sui componenti elettronici. Elementi bipolari, n-polari e n-poli bipoli: equazioni ai terminali, linearizzazione, circuiti equivalenti per piccoli segnali; definizione e proprietà di diverse matrici. Applicazioni ai principali componenti a semiconduttore. Analisi di circuiti lineari: funzioni di trasferimento, stabilità, condizioni di non distorsione. Generalità sugli amplificatori per piccoli segnali; stadi amplificatori con transistori. Circuiti equivalenti a due parametri del transistor a giunzioni ed applicazioni agli amplificatori ad uno o più stadi. Amplificatori differenziali. Problemi di polarizzazione e di accoppia-

mento. Problemi di deriva. La retroazione nei circuiti elettronici. Amplificatori operazionali: proprietà ed applicazioni principali. Generalità sull'analisi dei circuiti non lineari. Analisi di circuiti non lineari in regime periodico: moltiplicatori armonici di frequenza, amplificatori per grandi segnali (bilancio di potenza, problemi di efficienza, classi di funzionamento), circuiti in controfase, oscillatori sinusoidali. Circuiti con bipoli a resistenza negativa: analisi della stabilità delle posizioni di equilibrio, circuiti bistabili, astabili, monostabili. Sintesi di bipoli a resistenza negativa. Multivibratori. Circuiti non lineari con diodi.

P10. *Programma del corso di Elettronica Applicata I, svolto da Sergio Graffi e Pier Ugo Calzolari nell'A.A. 1981/82, quale risulta dalla guida della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna dello stesso anno.*

#### **ELETRONICA APPLICATA II – Giorgio Baccarani – Bruno Riccò (1981/82)**

Il corso si propone lo studio dei circuiti elettronici digitali. Rappresenta la naturale prosecuzione di Elettronica Applicata I e la base per tutti i corsi dove si studiano applicazioni dei circuiti digitali stessi.

##### **Programma**

###### *Proprietà elettriche dei componenti elettronici*

Breve introduzione sulle proprietà elettriche dei semiconduttori. Il diodo a giunzione: principi di funzionamento e caratteristica statica. Principi di funzionamento del transistor bipolare: le equazioni di Ebers-Moll. Caratteristiche di ingresso-uscita nelle diverse connessioni in forma grafica ed analitica. Il transistor come interruttore comandato. Il modello a controllo di carica. Il transistor MOS: principi di funzionamento e sua equazione caratteristica. Transistori ad accentuazione e svuotamento. Cenni sulla tecnologia planare del silicio: tecnologia bipolare e MOS.

###### *Circuiti non rigenerativi: le famiglie logiche*

L'invertitore RTL. Transitorio di commutazione dell'invertitore dallo stato di interdizione a quello di conduzione, e viceversa. Circuiti logici RTL accoppiati direttamente: famiglia logica DCTL. Famiglia logica DTL e sue varianti circuitali. Famiglia logica TTL e sue varianti circuitali. Circuito TRISTATE. Famiglia logica TTL Schottky. Famiglia logica ECL. Famiglia logica I<sup>2</sup>L. Invertitore MOS con carico ad accentuazione saturo e non saturo. Transistori di commutazione dell'invertitore MOS. Invertitore MOS con carico a svuotamento. Funzioni logiche elementari in tecnologia MOS. Schiere logiche programmabili e circuiti d'interfaccia MOS-TTL. Circuiti MOS a simmetria complementare. Invertitore e funzioni logiche elementari CMOS. Analisi comparativa delle varie famiglie logiche in termini di velocità, consumo, immunità ai disturbi, fan-out e costo.

###### *Circuiti rigenerativi e memorie a semiconduttori*

Bipoli a resistenza negativa realizzati mediante transistori in retroazione. Analisi delle possibili configurazioni atte a realizzare resistenze differenziali negative. I multivibratori: bistabile, monostabile e astabile. Flip-flop Set-Reset, Master-Slave, D e J-K. Organizzazione delle memorie a semiconduttori: memorie ad accesso sequenziale, ad accesso casuale (RAM) ed a sola lettura (ROM). Circuiti di decodifica a diodi e transistori. Circuiti di I/O. Cella di memoria RAM in tecnologia bipolare. Cella di memoria RAM in tecnologia MOS. Cella statica a 6 transistori e celle dinamiche a 3 e 1 transistori. Struttura e funzionamento del "sense amplifier" nelle memorie dinamiche MOS ad un transistori per cella.

P11. *Programma del corso di Elettronica Applicata II, svolto da Giorgio Baccarani e Bruno Riccò nell'A.A. 1981/82, quale risulta dalla guida dello studente della Facoltà di Ingegneria di Bologna dello stesso anno.*

**ELETTRONICA APPLICATA III – Ercole De Castro (1981/82)**

Il corso è concepito come una introduzione alla Fisica elettronica ed alle sue applicazioni alla teoria dei dispositivi. Esso può essere considerato a se stante ed allora il suo significato è essenzialmente di base culturale; oppure, a scelta dello studente, può essere seguito dai corsi di Elettronica Quantistica e di Microelettronica ed in tal caso costituisce la parte propedeutica di un gruppo di materie con le quali viene sviluppato in modo ragionevolmente approfondito e completo quanto è essenziale per la formazione professionale di un ingegnere elettronico nel settore dei microcircuiti e dei dispositivi in genere.

**Programma**

I) Elementi di Ottica elettronica. Oscillografi a raggi catodici e spettrografi di massa. Effetti di carica spaziale. Cenni sui polioidi ad alto vuoto.

II) Elementi di Meccanica quantistica con alcune applicazioni elementari.

III) Elementi di teoria dei solidi: moto di un elettrone in un campo periodico e bande di energia; statistica di Fermi; pacchetti di onde di Bloch; conduttori, isolanti e semiconduttori; elettroni e lacune nei semiconduttori; massa efficace; semiconduttori drogati; equazioni di continuità e del trasporto nei semiconduttori.

IV) Elementi di teoria dei dispositivi a semiconduttori: modello matematico della teoria; condizioni di equilibrio; linearizzazione delle equazioni dei dispositivi nell'intorno di una situazione di equilibrio; analisi della giunzione p-n; il diodo a giunzione p-n come raddrizzatore e come varactor; transistori FET; transistori a giunzione in regime stazionario ed in condizioni dinamiche (modello a controllo di carica); brevissimi cenni su altri dispositivi a semiconduttore.

P12. *Programma del corso di Elettronica Applicata III svolto da Ercole De Castro nell'A.A. 1981/82, quale risulta dalla guida dello studente della Facoltà di Ingegneria di Bologna dello stesso anno.*

**MICROELETTRONICA – Giovanni Soncini (1981-82)**

Il Corso presuppone la sola propedeuticità di Elettronica Applicata III, di cui sviluppa il filone dei dispositivi al silicio in senso nettamente orientato verso i problemi ingegneristici della progettazione dei circuiti integrati, con le necessarie premesse di carattere tecnologico.

**Programma**

*Introduzione al corso.* La tecnologia planare del silicio. Componenti discreti e circuiti integrati monolitici. Cenni sui circuiti integrati ibridi.

*Processi fondamentali della tecnologia planare.* Richiami e complementi sulle proprietà dei semiconduttori in generale e del silicio in particolare. Ossidazione termica: cinetica di crescita. Diffusione termica. Fenomeni di redistribuzione. Impiantazione ionica. Epitassia. Metallizzazione mediante evaporazione sotto vuoto. Fotolitografia e produzione di maschere. Limiti di risoluzione attuali e prospettive. Testing, scribing ed incapsulamento finale dei componenti discreti e dei circuiti integrati.

*Componenti attivi e passivi dei circuiti integrati.* Richiami sulle proprietà elettriche della giunzione p-n brusca e graduale. Giunzioni diffusa. Strutture MS e MOS. Analisi e progetto di diodi planari per circuiti integrati. Richiami sulle proprietà elettriche del transistor bipolare a giunzioni non brusche. Transistori con profili gradualizzati. Analisi e progetto di transistori planari per circuiti integrati. Strutture speciali: transistori multi-emitter e complementari. Resistori integrati monolitici. Resistori "pinched". Condensatori integrati monolitici del tipo a giunzione e MOS.

*Progetto dei circuiti integrati.* Considerazioni di carattere generale sul progetto di circuiti integrati numerici ed analogici. Tolleranze, affidabilità e rese di produzione. Esempio di progetto di un semplice circuito integrato bipolare oppure MOS.

P13. *Programma del corso di Microelettronica svolto da Giovanni Soncini nell'A.A. 1981/82, quale risulta dalla guida dello studente della Facoltà di Ingegneria di Bologna dello stesso anno.*

**ELETRONICA QUANTISTICA – Massimo Rudan (1981/82)**

Il Corso sviluppa la teoria e le principali applicazioni dei dispositivi optoelettronici. Il suo svolgimento è coordinato con quello del corso di Elettronica Applicata III che gli è propeudeutico.

*Programma*

- 1) Introduzione: significato e limiti del corso, e sue connessioni con altri insegnamenti. Prospettive applicative in cui si colloca l'Optoelettronica.
- 2) Richiami sui metodi generali della Meccanica Quantistica. Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo. Assorbimento, emissione spontanea ed emissione stimolata della radiazione e.m.; relazioni di Einstein. Gli amplificatori molecolari: Maser e Laser.
- 3) Diodi emettitori di luce a display a semiconduttore. Dinamica dei laser. Vari tipi di laser.
- 4) Rivelatori di radiazione e.m. e celle fotovoltaiche. Rivelatori per infrarosso. Sensori di immagini, con particolare riguardo alle strutture CCD.
- 5) Propagazione della radiazione e.m. nei cristalli elettricamente anisotropi; birifrangenza. Effetto elettro-ottico lineare ed applicazioni: modulatori di ampiezza e di fase, deviatori.
- 6) Olografia e metodi di elaborazione delle informazioni ottiche.
- 7) Breve panoramica delle principali applicazioni dell'optoelettronica alle Telecomunicazioni e ad altri settori industriali, alla Metrologia, alla Medicina.

P14. *Programma del corso di Elettronica Quantistica svolto da Massimo Rudan nell'A.A. 1981/82, quale risulta dalla guida dello studente della Facoltà di Ingegneria di Bologna dello stesso anno.*

## 2.28. VITTORIO GORI ED ERCOLE DE CASTRO, LINCEI: ESORDIO E SVILUPPO DELLA DISCIPLINA DELLE COMUNICAZIONI ELETTRICHE NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DI BOLOGNA

*Leonardo Calandrino*

### 2.28.1. La Facoltà di Ingegneria di Bologna e l'insegnamento di Comunicazioni Elettriche

L'Ottocento è stato il secolo in cui hanno avuto inizio le comunicazioni elettriche<sup>1</sup>. Dopo che con lettera autografa in data 20 marzo 1800 ([www.scienceandsociety.co.uk](http://www.scienceandsociety.co.uk)) Alessandro Volta aveva informato la Royal Society di Londra della scoperta della pila, e quindi della possibilità di mantenere una corrente elettrica continua in un circuito, sono iniziati gli esperimenti sugli effetti della corrente elettrica, destinati a trasformare profondamente in breve tempo sia la Fisica che la Chimica... e il mondo delle comunicazioni. Infatti l'Ottocento ha visto svilupparsi un nuovo canale di trasmissione dell'informazione: la distanza fra la sorgente dell'informazione e l'utilizzatore della stessa viene coperta mediante propagazione di onde elettromagnetiche, guidata (comunicazioni su linea metallica<sup>2</sup>) o libera (comunicazioni radio).

Con riferimento alle radiocomunicazioni ricordiamo che a valle della predizione di Maxwell nel 1864 sull'esistenza delle onde elettromagnetiche e delle successive verifiche sperimentali di Heinrich Hertz in Germania (1886), di Augusto Righi a Bologna (1889) e di altri, iniziano a Pontecchio gli esperimenti di un altro bolognese, Guglielmo Marconi, sulla propagazione delle onde elettromagnetiche. Non si tratta di esperienze rivolte a studi teorici, chiuse nei laboratori di fisica, ma finalizzate a una precisa applicazione pratica, di cui Marconi ha ben presente l'importanza, cioè la telegrafia senza fili o, come oggi diciamo, le *comunicazioni wireless*.

All'alba del Novecento la Regia Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri, annessa alla Facoltà di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali dell'Università di Bologna, ha ben chiaro il futuro delle ricerche di Marconi e, con lungimiranza e largo anticipo sui successivi prestigiosi riconoscimenti internazionali<sup>3</sup> (il Premio Nobel per la Fisica gli sarà conferito nel 1909), il 4 novembre 1902 il Consiglio dei Professori e il Consiglio Direttivo della Scuola propongono unanimemente di conferirgli la laurea in Ingegneria *ad honorem* «perché nei fasti di essa risplenda il nome di Guglielmo Marconi», proposta che viene approvata con Decreto Reale di benestare del 16 novembre 1902.

---

<sup>1</sup> L. Calandrino, *Origine e sviluppo delle Comunicazioni Elettriche*, in *Scienza e tecnica nel Settecento e nell'Ottocento. La Rivoluzione industriale vista dagli ingegneri*, a cura di Ezio Mesini e Domenico Mirri, Bologna 2012 ("Conferenza di Facoltà" tenuta il 29 maggio 2008 presso la Facoltà di Ingegneria di Bologna).

<sup>2</sup> Il Novecento ha visto lo sviluppo di un altro importante canale fisico per la trasmissione dell'informazione: la fibra ottica.

<sup>3</sup> A Marconi non può certo applicarsi il detto evangelico "*Nemo propheta in patria*".

<b>FACOLTÀ DI INGEGNERIA</b>	
<b>Materie d'insegnamento</b>	
<b>INGEGNERIA CIVILE</b>	
I. ANNO	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Scienza delle costruzioni (prima parte)</li> <li>2. Meccanica applicata alle macchine</li> <li>3. Chimica applicata</li> <li>4. Materiali da costruzione, costruzioni civili e industriali (per gli allievi che si iscriveranno al gruppo a). Materiali da costruzione, costruzioni civili e rurali (per gli allievi che si iscriveranno al gruppo b)</li> <li>5. Mineralogia e Geologia applicate</li> <li>6. Fisica tecnica</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><i>gruppo b</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Macchine termiche ed idrauliche (bienn.)</li> <li>2. Strade e ferrovie</li> <li>3. Economia delle trasformazioni fondiarie ed estimo</li> <li>4. Tecnologia chimico-agraria (con esercit.)</li> <li>5. Ingegneria sanitaria</li> <li>6. Costruzioni idrauliche</li> <li>7. Materie giuridiche</li> </ol>
II. ANNO	
<i>gruppo a</i>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Scienza delle costruz. (seconda parte e Ponti)</li> <li>2. Geodesia e Topografia</li> <li>3. Idraulica</li> <li>4. Architettura tecnica (prima parte)</li> <li>5. Elettrotecnica generale</li> <li>6. Macchine termiche ed idrauliche (bienn.)</li> <li>7. Tecnologia meccanica (elementi)</li> </ol>	<p style="text-align: center;">I. ANNO</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Scienza delle costruzioni</li> <li>2. Meccanica applicata alle macchine</li> <li>3. Chimica applicata</li> <li>4. Fisica tecnica</li> <li>5. Materiali da costruzione, costruzioni civili e industriali</li> <li>6. Chimica fisica, Mineralogia e geologia applic., a scelta</li> </ol>
<i>gruppo b</i>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Scienza delle costruz. (seconda parte) e Ponti</li> <li>2. Idraulica</li> <li>3. Architettura tecnica</li> <li>4. Elettrotecnica generale</li> <li>5. Macchine termiche e idrauliche (biennale senza disegno)</li> <li>6. Agronomia (con esercitazioni)</li> </ol>	<p style="text-align: center;">II. ANNO</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Topografia</li> <li>2. Idraulica</li> <li>3. Elettrotecnica generale</li> <li>4. Tecnologia meccanica</li> <li>5. Macchine termiche e idrauliche (bienn.)</li> <li>6. Costruzione di macchine</li> </ol>
III. ANNO	
<i>gruppo a</i>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Macchine termiche ed idrauliche (bienn.)</li> <li>2. Costruzioni stradali e ferroviarie</li> <li>3. Architettura tecnica (seconda parte)</li> <li>4. Esercizio e materiale ferroviario</li> <li>5. Estimo civile e rurale</li> <li>6. Ingegneria sanitaria</li> <li>7. Costruzioni idrauliche</li> <li>8. Materie giuridiche</li> </ol>	<p style="text-align: center;">III. ANNO</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Macchine termiche e idrauliche (bienn.)</li> <li>2. Misure elettriche e impianti elettrici</li> <li>3. Organizzazione industriale (un quadrimestre)</li> <li>4. Esercizio e materiale ferroviario</li> <li>5. Metallurgia (per chi ha scelto nel primo anno chimica fisica. Derivazioni d'acqua industriali (per chi ha scelto nel primo anno mineralogia e geologia applicate)</li> <li>6. Impianti industriali</li> <li>7. Economia e legislazione industriale</li> </ol>

Figura 1. Piano degli studi della Facoltà di Ingegneria di Bologna nel suo primo anno accademico 1935-36 (dall'Annuario dell'Università).

La scommessa sul glorioso futuro che attende Marconi si dimostrerà vincente e verrà a crearsi uno stabile legame fra il suo nome e la Scuola di Ingegneria di Bologna.

Nell'anno accademico 1935/36 la Regia Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri diviene Facoltà universitaria. La nuova sede è stata progettata dall'architetto razionalista Giuseppe Vaccaro con dovizia di spazi: basta osservare che questo edificio, pensato per accogliere 300 allievi, ha potuto far fronte nei decenni successivi a circa 10.000 studenti e a più di 300 fra professori e ricercatori<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Nell'anno accademico 1935-36 gli studenti in corso furono 141 (140 maschi, di cui 3 stranieri, e una femmina), quelli fuori corso 60 e i professori di ruolo 9.



Sez. civile ed. idr. trasp.			Sez. industr. mecc. elettr.		Materie d'insegnamento	Insegnanti
ANNO I.						
F	F	F	F	F	Scienza delle costruzioni . . . . .	O. Belluzzi
					» - Esercizi . . . . .	»
F	F	F	F	F	Meccanica applicata alle macchine . . . . .	A. Prosciutto
					» - Esercizi . . . . .	»
F	F	F	F	F	Fisica tecnica . . . . .	D. Graffi
					» - Esercizi . . . . .	»
F	F	F	F	F	Chimica applicata . . . . .	F. De Carli
					» - Esercizi . . . . .	»
F	F	F	F	F	Architettura tecnica (I <sup>a</sup> parte) . . . . .	G. Nicolosi
					» - Esercizi . . . . .	»
F	F	F	F	F	Materie giuridiche ed economiche . . . . .	L. Schioppa
—	—	—	F	F	Chimica industriale . . . . .	C. Fical
					» - Esercizi . . . . .	»
ANNO II.						
F	F	F	F	F	Idraulica . . . . .	U. Puppini
					» - Esercizi . . . . .	»
F	F	F	F	F	Elettrotecnica . . . . .	G. Someda
					» - Esercizi . . . . .	»
F	F	F	F	F	Topografia e geodesia . . . . .	P. Dore
					» - Esercizi . . . . .	»
F	F	F	F	F	Macchine (I <sup>a</sup> parte) . . . . .	G. Cicali
					» - Esercizi . . . . .	»
F	F	F	F	F	Tecnologie generali . . . . .	E. Bugini
					» - Esercizi . . . . .	»
F	F	F	—	—	Architettura tecnica (II <sup>a</sup> parte) . . . . .	G. Nicolosi
					» - Esercizi . . . . .	»
F	F	F	—	—	Costruzioni in legno, ferro e cem. armato . . . . .	O. Zanaboni
					» - Esercizi . . . . .	»
—	—	—	F	F	Costruzione di macchine . . . . .	A. Prosciutto
					» - Esercizi . . . . .	»
—	—	—	F	F	Costruzione di macchine elettriche . . . . .	G. Someda
					» - Esercizi . . . . .	»
—	—	—	F	C	Disegno di macchine e progetti . . . . .	G. Morandi
					» - Esercizi . . . . .	»
—	—	—	C	—	Chimica fisica . . . . .	G. B. Bonino
C	—	—	—	—	Costruzione di ponti . . . . .	O. Belluzzi
					» - Esercizi . . . . .	»
—	—	—	C	C	Igiene applicata all'ingegneria . . . . .	L. Schioppa
ANNO III.						
F	F	F	F	F	Macchine (II <sup>a</sup> parte) . . . . .	G. Cicali
					» - Esercizi . . . . .	»
F	F	F	—	—	Estimo civile e rurale . . . . .	U. Somma
F	F	F	—	—	Costruzioni stradali e ferroviarie . . . . .	F. Balatroni
					» - Esercizi . . . . .	»
F	—	—	—	—	Architettura e composiz. architettonica . . . . .	G. Setti
					» - Esercizi . . . . .	»
F	—	—	—	—	Tecnica urbanistica . . . . .	G. Nicolosi
					» - Esercizi . . . . .	»
C	F	—	—	C	Costruzioni idrauliche . . . . .	G. Evangelisti
					» - Esercizi . . . . .	»
—	F	—	—	C	Impianti speciali idraulici . . . . .	G. Evangelisti
					» - Esercizi . . . . .	»
—	—	F	C	C	Tecnica ed economia dei trasporti . . . . .	G. Corbellini
—	C	F	—	—	Costruzione di ponti . . . . .	O. Belluzzi
					» - Esercizi . . . . .	»
—	—	—	C	F	Impianti industriali meccanici . . . . .	A. Stradelli
					» - Esercizi . . . . .	»
—	—	C	C	F	Impianti industriali elettrici . . . . .	A. Rigbi
					» - Esercizi . . . . .	»
C	C	C	—	—	Igiene applicata all'ingegneria . . . . .	L. Schioppa
			C	C	Misure elettriche . . . . .	S. Basile
					» - Esercizi . . . . .	»
—	—	—	C	C	Comunicazioni elettriche . . . . .	V. Gori
—	—	—	C	—	Metallurgia e metallografia . . . . .	G. C. Luzi
					» - Esercizi . . . . .	»
—	—	C	C	C	Tecnologie speciali . . . . .	F. Roma
—	—	C	C	—	Costruzioni aeronautiche . . . . .	E. Cambilargiu

Abbreviazioni: F corsi fondamentali — C corsi complementari consigliati.

Figura 2. Piano degli studi della Facoltà di Ingegneria di Bologna nell'anno accademico 1938-39 nel quale venne attivato l'insegnamento di Comunicazioni Elettriche (dall'Annuario dell'Università).

Il piano degli studi dell'anno accademico 1935/36, ripreso dall'Annuario dell'Università e riportato nella Figura 1, si compone di due corsi di laurea: Ingegneria Civile e Ingegneria Industriale. Inizia l'articolazione in Sezioni e Sottosezioni che condurrà al piano degli studi di Figura 2 per l'anno accademico 1938/39: sono presenti due Sezioni (Sezione Civile e Sezione Industriale), a loro volta suddivise in Sottosezioni (rispettivamente Civile, Idraulica e Trasporti la prima, Meccanica ed Elettrotecnica la seconda). In questo stesso anno viene attivato l'insegnamento di Comunicazioni Elettriche come corso complementare consigliato per la Sezione Industriale.

### 2.28.2. Vittorio Gori e l'insegnamento di Comunicazioni Elettriche. L'Istituto di Elettrotecnica e delle Comunicazioni Elettriche "Guglielmo Marconi"

A tenere per incarico il nuovo insegnamento di Comunicazioni Elettriche viene chiamato Vittorio Gori. Il programma, già in questo primo anno (Fig. 3), contiene *in nuce* gli sviluppi delle Comunicazioni Elettriche: teoria dei segnali e dei circuiti, elettronica applicata, propagazione libera e guidata delle onde elettromagnetiche, apparecchiature per i sistemi di telecomunicazione, teoria e tecnica delle antenne. Con gli opportuni aggiornamenti del programma, Gori terrà l'incarico di Comunicazioni Elettriche fino all'ottobre 1950 con una pausa legata agli eventi della Seconda guerra mondiale.

Seguiamo il curriculum di Vittorio Gori con i dati tratti dalla commemorazione che di lui fece Dario Graffi alla sua morte, avvenuta nel 1957 a Roma<sup>5</sup>.

Nato a Firenze nel 1896 e laureatosi nel 1921 presso la Regia Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri di Bologna dopo aver partecipato come volontario alla Prima guerra mondiale, nell'"ambiente" di Bologna (Augusto Righi, Luigi Donati) apprende quella concezione maxwelliana dei fenomeni elettromagnetici che guidò sempre la sua opera.

Nel 1921-23 è assistente volontario alla cattedra d'Idraulica di Bologna, allora coperta da Umberto Puppini, e nel 1923/24 frequenta l'École Supérieure d'Électricité di Parigi con una borsa di studio, conseguendo il diploma di Ingegnere radio.

Ritornato in Italia nel 1925 viene assunto dalla società Italo-Radio con l'incarico di organizzare e dirigere un laboratorio sperimentale. Diviene poi Direttore Tecnico della stessa Società e, contemporaneamente, frequenta come assistente volontario l'Istituto di Elettrotecnica dell'Università di Pisa, allora diretto da Giancarlo Vallauri.

Nel 1928 riceve l'incarico di costruire una stazione radio per collegare telefonicamente l'Italia con l'Argentina e il Brasile. Il procedimento adottato da Gori per ottenere il risultato richiesto richiama alla mente quanto egli ebbe a osservare nel di-

<sup>5</sup> D. Graffi, *Commemorazione del corrispondente Vittorio Gori*, Atti della Accademia Nazionale dei Lincei, 1958, Serie Ottava, Rendiconti della Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali, Vol. XXIV (1° semestre 1958), pp. 201-205, pubblicata anche su *Note Recensioni e Notizie*, Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni, supplemento al n. 4, luglio-agosto 1958, pp. 4-16. Ringrazio il professor Sandro Graffi per avermi procurato copia dei citati Rendiconti.

COMUNICAZIONI ELETTRICHE: *Vittorio Gori.*

Introduzione. - Considerazioni generali sulle comunicazioni elettriche; comunicazioni su filo, radiocomunicazioni.

Parte I. - Comunicazioni su filo. - A) Telegrafia: 1. Teoria generale delle linee elettriche omogenee sottoposte ad impulsi di corrente continua. - 2. I fenomeni transitori lungo le linee elettriche omogenee. - 3. Equazione dei telegrafisti. Cablografia. - 4. Cavi caricati e cavi parzialmente caricati. Linee artificiali. - 5. Tecnica della telegrafia su filo e della telegrafia lungo cavi sottomarini. Apparecchiature trasmettenti e riceventi. - 6. Tecnica delle misure. - B) Telefonia: 1. I suoni e loro caratteristiche fondamentali. - 2. Il problema teorico della propagazione di correnti alternate sinusoidali lungo le linee. - 3. Sulle proprietà filtranti delle catene di circuiti elettrici. Filtri propriamente detti. - 4. Le linee telefoniche senza distorsione, e le linee con induttanza artificiale distribuita o concentrata. - 5. I circuiti combinati. Telefonia su cavi. - 6. Apparecchi e sistemi di telefonia. Telegrafia armonica. - 7. Tecnica delle misure.

Parte II. - Radiocomunicazioni. - 1. Il problema teorico della propagazione dell'energia elettromagnetica nello spazio. Onde lunghe, medie, corte ed ultracorte. - 2. Teoria generale dei circuiti elettrici a costanti concentrate. Accoppiamento fra circuiti. - 3. I tubi elettronici. Leggi fondamentali. - 4. Il triodo come amplificatore. Funzionamento in classe A, classe B e classe C. - 5. Il triodo come generatore di oscillazioni. Teoria e tecnica. Generatori asincroni. Generatori sincroni. - 6. Moltiplicatori di frequenza e tubi elettronici. - 7. Modulazione: vari sistemi. - 8. Il triodo come rettificatore. - 9. Sul progetto di massima dei trasmettitori radio di media e grande potenza. - 10. Convertitori elettromeccanici sincroni: alternatori ad alta frequenza, vari tipi. - 11. La moltiplicazione di frequenza mediante conduttori anomali. Sistemi con induttanza e nucleo di ferro. - 12. I circuiti aperti: loro attitudine alla radiazione. Sul significato e sulla derivazione teorica dei coefficienti unitari di radianza, induttanza e capacità. - 13. Teoria e tecnica delle antenne. - 14. L'impedenza delle antenne nel loro punto di alimentazione. - 15. I sistemi di terra. - 16. Il problema della dirigibilità delle onde elettromagnetiche. Calcolo dei diagrammi di radiazione spaziale dei sistemi direttivi. - 17. Il problema generale dell'accoppiamento fra sistemi radianti. Resistenze di radiazione indotta, reattanza di radiazione indotta. - 18. Progetto di antenne direttive: tipi sintonizzati, tipi aperiodici. - 19. Radiogoniometria. - 20. Tecnica della ricezione radio.

Figura 3. Programma del primo insegnamento di Comunicazioni Elettriche nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna (dall'Annuario dell'Università dell'anno accademico 1938/39).

scorso tenuto in occasione della solenne commemorazione del Cinquantenario della Radio nell'Aula Magna del Palazzo Centrale dell'Università di Bologna:

Più volte e da più parti è stato rilevato che quando Marconi si dedicò alle sue esperienze, tutti gli elementi da cui sorse la radio erano pronti.

Pronti sì, ma singolarmente.

Nessuno prima di lui aveva neppur lontanamente pensato come quegli elementi dovessero essere predisposti fra loro per risolvere un problema di eccezionale importanza.

È questa la vocazione di *sistemista* di chi opera nel campo delle comunicazioni: scoprire come anche componenti già noti possono essere connessi fra loro per risolvere un problema di comunicazione.

In realtà Marconi dovette studiare e realizzare un nuovo importante componente del suo *sistema*: l'antenna. Lo stesso accade per Gori: per realizzare il collegamento

FACOLTÀ DI SCIENZE FISICHE,  
MATEMATICHE E NATURALI

Scuola post-universitaria di perfezionamento  
per specialisti in Radiocomunicazioni

MAJORANA prof. QUIRINO, pred., Direttore, di *Elettrologia, di Radiotecnica generale, e di Fotoelettricità.*

CARLETTI dott. ANTONIO, gr. uff.  $\frac{3}{4}$ , Direttore Compartimentale delle PP. TT. di Bologna, di *Tecnica dei servizi radiotelefonici.*

GRAFFI prof. DARIO, pred., di *Propagazione delle onde elettromagnetiche.*

GORI dott. ing. VITTORIO, di *Tecnica degli impianti radiotelegrafici e radiotelefonici.*

RANZI prof. IVO, pred., di *Teleautografia e televisione.*

RIMINI prof. ing. CESARE, pred., di *Complementi di Elettrotecnica e Misure radiotecniche.*

TODESCO prof. GIORGIO, pred., di *Lampada a tre Elettrodi, di Fotoelettricità e di Misure radiotecniche.*

*Figura 4. Scuola post-universitaria di perfezionamento per specialisti in Radiocomunicazioni nel primo anno di attività come appare nell'annuario dell'Università di Bologna dell'anno accademico 1931/32. Ritengo doveroso ricordare che a due docenti della Scuola, Giorgio Todesco e Cesare Rimini, è dedicato, fra gli altri, il volume "La cattedra negata. Dal giuramento di fedeltà al fascismo alle leggi razziali nell'Università di Bologna", pp. 223, Bologna 2002, a cura di D. Mirri e S. Arieti.*

fra Italia e Sud America deve non solo «pensare come gli elementi [pronti singolarmente] dovessero essere predisposti fra loro», ma anche studiare e progettare un particolare tipo di antenna direttiva.

Grazie a Gori nel 1932 viene inaugurato ufficialmente il servizio telefonico fra l'Italia e le maggiori repubbliche dell'America Latina, esteso in seguito all'America del Nord e al Giappone.

Nel 1931 Gori assume l'incarico del corso di "Tecnica degli impianti radiotelegrafici e radiotelefonici" nel primo anno di attività della Scuola post-universitaria di perfezionamento per specialisti in Radiocomunicazioni annessa all'Istituto di Fisica dell'Università di Bologna (Fig. 4). Presso questo istituto Augusto Righi aveva svolto importanti ricerche sulle proprietà delle onde elettromagnetiche fornendo ulteriori conferme sperimentali alla teoria di Maxwell e quindi esistevano strumentazione e competenze avanzate sull'elettromagnetismo.

Libero docente in Radiotecnica nel 1934, nell'anno accademico 1938/39, come già detto, assume l'incarico dell'insegnamento di Comunicazioni Elettriche appena attivato nella Facoltà di Ingegneria di Bologna.

Vincitore di concorso, nel 1941 è chiamato alla cattedra di Elettrotecnica della stessa Facoltà e assume la direzione dell'Istituto di Elettrotecnica succedendo a Giovanni

COMUNICAZIONI ELETTRICHE: *Giuseppe Francini.*

1. Generalità sui sistemi di comunicazioni elettriche. – 2. Analisi di Fourier per grandezze periodiche e aperiodiche. Applicazione ad alcune forme d'onda tipiche. – 3. Linee elettriche in regime sinusoidale. Linee elettriche sottoposte a impulsi di corrente continua. Guide d'onda. Cenni tecnologici. – 4. Propagazione delle onde elettromagnetiche libere. Riflessione negli strati ionosferici. – 5. Irradiazione di un dipolo Hertziano. Dipolo magnetico. Antenne di dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda. Diagrammi di radiazione. Sistemi direttivi. Impedenza di antenne nel punto di alimentazione. Antenne speciali per onde ultracorte. Antenne a fenditura. Antenne dielettriche. Riflettori e lenti elettromagnetiche. – 6. Tubi elettronici. Diodi, triodi, pentodi, convertitori. Tubi con riempimento gassoso. Oscilloscopi. Tubi di ripresa per televisione. – 7. Tubi elettronici come amplificatori. Funzionamento in classe A, classe B e classe C. Tubi elettronici come oscillatori. Oscillatori pilotati a quarzo. Tubi elettronici come modulatori, convertitori e rettificatori. – 8. Microfoni. Altoparlanti. – 9. Telegrafia. Vari sistemi. Cenni sulle apparecchiature. Telescriventi. – 10. Telefonia. Problemi tecnici relativi alle linee telefoniche. Apparecchiature per la commutazione. Telefonia a grande distanza. – 11. Generalità sugli impianti radiofonici. Radiotrasmittitori. Radioricevitori. Ponti radio. – 12. Cenni di televisione.

Figura 5. Programma del primo insegnamento di Comunicazioni Elettriche tenuto da Giuseppe Francini nella Facoltà di Ingegneria (dall'Annuario dell'Università dell'anno accademico 1950/51).

Someda. L'attività tecnico-scientifica di Gori, sempre svolta sul solco glorioso aperto da Guglielmo Marconi, lo induce a cambiare la denominazione dell'Istituto di Elettrotecnica in *Istituto di Elettrotecnica e delle Comunicazioni Elettriche "G. Marconi"*, a conferma dello stabile legame fra il nome di Guglielmo Marconi e la Scuola di Ingegneria di Bologna di cui si è detto in precedenza («perché nei fasti di essa risplenda il nome di Guglielmo Marconi»). Allo stesso Istituto viene annesso il Corso di Perfezionamento in Radiocomunicazioni quando Gori ne diviene direttore nel 1942.

Nel 1951 Gori viene comandato dal Ministero della Pubblica Istruzione alla Direzione dell'Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni a Roma. Successivamente, nel 1955, è nominato professore ordinario nella Scuola di Telegrafia e Telefonia annessa all'Istituto e lascia quindi la cattedra a Bologna. Già nell'aprile 1951 Stefano Basile aveva assunto la direzione dell'Istituto di Elettrotecnica e delle Comunicazioni Elettriche "G. Marconi", come pure la direzione del Corso di Perfezionamento in Radiocomunicazioni.

Nell'anno accademico 1950/51 due allievi di Gori, Giuseppe Francini e Franco Cappuccini, continuano l'opera del maestro, il primo tenendo l'incarico di Comunicazioni Elettriche (Fig. 5) e il secondo quello dell'insegnamento di Radiotecnica, attivato appunto nell'anno accademico 1950/51 come indicato nella Fig. 6 con il programma riportato nella Fig. 7.

Giuseppe Francini mantiene l'incarico di Comunicazioni Elettriche fino all'anno accademico 1953/54, quando viene chiamato, come direttore di laboratorio, dalla Fondazione Ugo Bordoni all'inizio della sua attività. Vincitore poi del primo concorso di Elettronica Applicata bandito in Italia è chiamato dalla Facoltà di Ingegneria di Padova che aveva bandito quel concorso. Nel 1971 ritorna a Firenze nella Facoltà di Ingegneria appena istituita, della quale assume anche la presidenza. Muore nel 1986.

LAUREA IN INGEGNERIA INDUSTRIALE		
Sottosezione meccanica		
ANNO I.	ANNO II.	ANNO III.
1. Chimica applicata 2. Chimica industriale 3. Fisica tecnica 4. Materie giuridiche ed economiche 5. Meccanica applicata alle macchine 6. Scienza delle costruzioni 7. Un insegnamento complem. <i>La Facoltà consiglia:</i> Chimica fisica (sem.)	1. Architettura tecnica (II) 2. Costruzione di macchine 3. Disegno di macchine e progetti 4. Elettrotecnica 5. Idraulica 6. Macchine (I) 7. Tecnologie generali 8. Topografia con elementi di geodesia	1. Impianti industr. meccan. 2. Macchine (II) 3-7. Cinque insegnam. compl. <i>La Facoltà consiglia i 3 segg.:</i> Igiene applicata all'ingegn. Metallurgia e metallografia Tecnologie speciali e 2 a scelta fra i seguenti appartenenti al medesimo gruppo: I { Aerodinamica Costruzioni aeronautiche II { Impianti industr. elettrici Misure elettriche Trazione elettrica
Sottosezione elettrotecnica		
1. Chimica applicata 2. Chimica industriale 3. Fisica tecnica 4. Materie giuridiche ed economiche 5. Meccanica applicata alle macchine 6. Scienza delle costruzioni 7. Un insegnamento complem. <i>La Facoltà consiglia:</i> Igiene applicata all'ingegn.	1. Architettura tecnica (II) 2. Costruzione di macchine 3. Elettrotecnica 4. Idraulica 5. Macchine (I) 6. Tecnologie generali 7. Topografia con elementi di geodesia 8. Un insegnamento complem. <i>La Facoltà consiglia:</i> Disegni di mach. e prog.	1. Costruz. di macchine elettr. 2. Impianti industriali elettr. 3. Macchine (II) 4-7. Quattro insegnam. compl. <i>La Facoltà consiglia:</i> Comunicazioni elettriche Impianti speciali idraulici Misure elettriche una a scelta: Trazione elettrica Radiotecnica

Figura 6. Nell'anno accademico 1950/51 nella Facoltà di Ingegneria di Bologna viene attivato l'insegnamento di Radiotecnica a scelta in alternativa a Trazione Elettrica (dall'Annuario dell'Università).

#### RADIOTECNICA: Franco Cappuccini.

Parte I - I circuiti elettrici alle frequenze radio: Effetto pellicolare per conduttori di forma qualunque. Calcolo della resistenza apparente di un conduttore cilindrico. Comportamento in funzione della frequenza delle resistenze chimiche di alto valore ohmico e deduzione della corrispondente legge. Rete equivalente di un condensatore. Angolo di perdita. Equazione del profilo delle lamine di un condensatore variabile. Rete equivalente di una induttanza. Angolo di perdita. Induttanza a nucleo di ferro. Procedimenti tecnologici riguardanti le resistenze, capacità e induttanze. Circuiti risonanti. Coefficiente di risonanza. Selettività. Diagramma universale di risonanza. Circuiti accoppiati. Filtri di banda. Curva di risonanza dei filtri di banda. Rete equivalente di un trasformatore. Studio dei parametri che intervengono per il funzionamento di un trasformatore in una larga banda di frequenze.

Parte II - Principi fisici dei tubi elettronici: Emissione di elettroni dai metalli. Carica spaziale. Deduzione della legge  $I = kV^{3/2}$  per elettrodi di forma qualunque. Calcolo della costante di carica spaziale per elettrodi piani e paralleli. Scostamenti dalla teoria. Il diodo. Parametri differenziali. Il triodo, tetrodo, pentodo. Cenni sui tubi a comando di ripartizione di corrente e ad emissione secondaria. Tubi a gas. Cenni su alcuni tubi speciali (fotocelle, iconoscopio, tubi a raggi catodici).

Parte III - Tubi elettronici in unione a reti elettriche: A) Tubi elettronici come elementi lineari. Circuito equivalente. Studio grafico. Amplificatori per corrente continua. Amplificatori a resistenza capacità, a trasformatore per alta e bassa frequenza. B) Tubi elettronici come elementi non lineari: amplificatori di potenza di classe A, B, C, a triodi e a pentodi. Oscillatori. Rettificatori e rivelatori. Modulati. Parte IV - Apparatati a tubi elettronici: Amplificatori, Ricevitori, Trasmettitori. Considerazioni strutturali generali e primi elementi di progetto.

Figura 7. Programma del primo insegnamento di Radiotecnica nella Facoltà di Ingegneria di Bologna nell'anno accademico 1950/51 (dall'Annuario dell'Università).

Franco Cappuccini nel 1958 lascia l'insegnamento di Radiotecnica perché assorbito da altri incarichi presso l'Istituto Superiore Tecnico delle Poste e Telecomunicazioni dove, sotto la sua guida e con il contributo della Fondazione Bordoni, vengono analizzate in dettaglio le prestazioni degli standard proposti per la televisione a colori. Vincitore di concorso a cattedra presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli, Presidente del Consiglio Superiore Tecnico delle Poste, delle Telecomunicazioni e dell'Automazione diviene un punto di riferimento per le istituzioni parlamentari e governative in tema di telecomunicazioni.

Nell'agosto 1957 muore a Roma Vittorio Gori. Solenne fu la sua commemorazione tenuta da Dario Graffi già citata (v. nota 5) prima, l'8 febbraio 1958, all'Accademia dei

Sottosezione elettrotecnica		
ANNO I.		
1. Chimica applicata		
2. Chimica industriale		
3. Elettrotecnica (I)		
4. Fisica tecnica		
5. Meccanica applicata alle macchine		
6. Scienza delle costruzioni		
7. Un insegnamento complementare		
<i>La Facoltà consiglia:</i>		
Complementi di matematiche		<i>Esami propedeutici</i>
		<i>all'iscrizione</i> <i>all'esame</i>
ANNO II.		
1. Architettura tecnica (*)	Scienza costr.	—
2. Costruzione di macchine	Mecc. applicata - Scienza costr.	—
3. Elettrotecnica (II)	—	—
4. Idraulica	—	—
5. Impianti industriali elettrici (I)	—	Elettrotecnica
6. Macchine	Fis. tec. - Mecc. appl.	Idraulica
7. Tecnologie generali	Mecc. applicata Scienza costr.-	—
8. Topografia con elementi di geodesia	—	—
9. Un insegnamento complementare	—	—
<i>La Facoltà consiglia:</i>		
Misure elettriche I p.	—	—
		<i>Esami propedeutici</i>
		<i>all'iscrizione</i> <i>all'esame</i>
ANNO III.		
1. Costruzioni di macchine elettriche	El. - Scien. costr.	Elettrotecnica
2. Impianti industriali elettrici (II)	—	—
3. Materie giuridiche ed economiche	—	—
4-7. Quattro insegnamenti complementari		
<i>La Facoltà consiglia:</i>		
Comunicazioni elettriche	Elettrotecnica	—
<i>ed uno dei seguenti gruppi a scelta:</i>		
gruppo A {	Impianti spec. idraulici	Idr. - Scien. costr.
	Misure elettr. II (corr. forte)	—
	Tecnol. speciali elettriche	—
gruppo B {	Elettronica	—
	Misure elettr. (corr. deboli)	—
	Radiotecnica	Elettrotecnica
		Complem. di matem. Elettrotecnica

Figura 8. Piano degli studi del corso di laurea in Ingegneria Industriale (Sottosezione Elettrotecnica) nell'anno accademico 1959/60, ultimo prima dell'attuazione della riforma degli studi di ingegneria introdotta dal D.P.R. 31 gennaio 1960 n. 53 (dall'Annuario dell'Università).

Lincei, della quale Gori era Socio<sup>6</sup>, e dopo, il 9 maggio dello stesso anno, all'Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni del quale, come già detto, Gori era direttore.

Come visto in precedenza, i due allievi di Gori, Giuseppe Francini e Franco Cappuccini, hanno lasciato o stanno per lasciare la sede di Bologna: per le Comunicazioni Elettriche nella Facoltà di Ingegneria di Bologna si chiude una prima gloriosa fase che ha visto come indiscusso protagonista Vittorio Gori.

Peraltro il corso di laurea in Ingegneria Industriale (Sottosezione Elettrotecnica) sarà attivo fino all'anno accademico 1959/60. Nella Figura 8 è riportato il piano degli studi di questo corso di laurea nell'ultimo anno di esistenza: si noti la presenza del gruppo B di insegnamenti a scelta al terzo anno (c.d. indirizzo correnti deboli), che dopo Comunicazioni Elettriche, comprende Elettronica (attivato nell'anno accademico 1958/59), Misure Elettriche (correnti deboli) e Radiotecnica, indirizzo che può essere considerato una anticipazione del nuovo corso di laurea in Ingegneria Elettronica che verrà attivato nel successivo anno accademico 1960/61 come vedremo nel paragrafo 4.

### 2.28.3. Ercole De Castro e gli ultimi anni del corso di laurea in Ingegneria Industriale (Sottosezione Elettrotecnica). Ricordo di Stefano Basile

Nel periodo compreso fra gli anni accademici 1954/55 e 1959/60 compresi illustri docenti già inquadrati nella Facoltà soccorrono la didattica nel settore di interesse per le comunicazioni elettriche (Giuseppe Evangelisti, Enzo Belardinelli, Filippo Ciampolini) e si verifica un evento destinato a incidere profondamente sul futuro della Facoltà, l'arrivo di un giovane ingegnere, Ercole De Castro, laureato presso il Politecnico di Milano<sup>7</sup>. Su questo arrivo e sugli importanti avvenimenti che ne seguirono merita di essere qui integralmente riportato il ricordo che Stefano Basile, direttore dell'Istituto di Elettrotecnica, pronunciò nell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna nella seduta del 10 dicembre 1985 a un anno dalla scomparsa di De Castro e rimasto agli Atti dell'Accademia stessa:

[Ercole De Castro, nato a Bologna nel 1928,] laureato in Elettrotecnica al Politecnico di Milano nel marzo 1952, trascorse un breve periodo presso l'Istituto di Comunicazione Elettriche, diretto dal Prof. Francesco Vecchiacchi. Successivamente, ed ancora per un breve periodo, si impiegò presso la Direzione Tecnica della RAI di Milano.

<sup>6</sup> Gori fu Socio anche delle Accademie delle Scienze di Bologna e di Torino.

<sup>7</sup> In dettaglio:

- l'insegnamento di *Comunicazioni Elettriche* viene suddiviso in due semestri, il primo tenuto da Filippo Ciampolini negli anni accademici 1954/55 e 1955/56 e poi da Ercole De Castro, mentre il secondo sempre tenuto da Scipione Treves, professore incaricato esterno;

- l'insegnamento di *Radiotecnica*, dopo la partenza di Cappuccini, è anch'esso suddiviso in due semestri tenuti negli anni accademici 1958/59 e 1959/60 da Ercole De Castro e Enzo Belardinelli;

- nell'anno accademico 1958/59 viene attivato l'insegnamento di *Elettronica*, tenuto da Giuseppe Evangelisti, che lo terrà anche nell'anno successivo.



Il primo contatto con l'Istituto di Elettrotecnica di Bologna, di cui ero Direttore, avvenne nel 1953 a seguito della presentazione del Prof. Vecchiacchi, mio buon amico, il quale mi assicurava di inviarmi un giovane molto preparato e di grande valore.

Non potevo immaginare, naturalmente, quale fortunata occasione rappresentasse per l'Istituto di Elettrotecnica e per la Facoltà l'ingresso del nuovo Assistente volontario di Comunicazione Elettriche.

Successivamente, essendo venuto disponibile un posto di Assistente di ruolo, l'ho attribuito a Lui, e in seguito ho proposto alla Facoltà di affidargli l'incarico di Comunicazioni Elettriche.

Ricordo ancora che giovanissimo, all'età di 34 anni, riuscì primo vincitore in un concorso di Elettronica, e fu chiamato dalla Facoltà a coprire la Cattedra di Elettronica Applicata, straordinario dal 1° febbraio 1962, ordinario dal 1° febbraio 1965.

Socio corrispondente di questa Accademia dal 1962, nel 1981 fu nominato Accademico dei Lincei.

Nel 1961, a seguito di una conferenza da me tenuta all'Associazione Elettrotecnica Italiana, sezione di Milano, sui regolatori a corrente costante completamente statici, l'ing. Floriani, fondatore della Telettra, mi invitò a visitare la sua fabbrica e mi propose di assumere una consulenza nel campo elettronico. Girai la proposta a De Castro, che accettò: ebbe così inizio quella collaborazione che doveva durare 20 anni.

Voglio infine ribadire che la scomparsa di Ercole De Castro è stata un lutto non soltanto della Famiglia, degli amici e degli estimatori, ma anche della Scienza, che ha perduto in Lui un validissimo Maestro.

Per finire, dirò che l'alto senso del dovere e la passione che Egli ebbe per l'insegnamento lo indussero a dettare le Sue lezioni e a frequentare il Suo Istituto fino a pochi giorni prima di morire.

A partire dal 1954 ha dunque inizio il passaggio dalla Scuola di Gori a quella che sarà la Scuola di De Castro. Si può intravedere una continuità, sotto il profilo personale, nelle conclusioni dell'articolo di De Castro *Circuiti equivalenti dei terminali e loro applicazioni, Note Recensioni e Notizie dell'ISPT, n. 4, 1956*, nelle quali egli ringrazia «il Prof. Ing. V. Gori, Direttore dell'Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni, per avermi ospitato presso il suo Istituto durante lo svolgimento del presenta lavoro». Inoltre «Ringrazio particolarmente il Prof. Ing. G. Francini per la utile critica e i numerosi consigli».

Con riferimento al periodo 1954-59 che ha visto l'attivo inserimento di De Castro nella vita della Facoltà mi limito a citare, della sua produzione scientifica<sup>8</sup> che nel 1962 lo porterà alla cattedra di Elettronica Applicata, due altri suoi articoli:

*Considerazioni sulla risposta dei circuiti non lineari ad oscillazioni modulate in ampiezza e in frequenza con legge qualsiasi*, «La Ricerca Scientifica», n. 2, 1956.

<sup>8</sup> L'elenco delle pubblicazioni di Ercole De Castro (articoli, libri a stampa, volumi di dispense), nonché gli articoli stessi, sono riportati nel volume *Ercole De Castro: scritti scelti* pubblicato in occasione della giornata in suo ricordo organizzata dagli allievi il 2 dicembre 1985 con il contributo di CSELT, GTE, ITALTEL, SGS, TELETTRA che «hanno voluto onorare, anche attraverso la ripubblicazione dei Suoi lavori, le doti di Scienziato, di Ingegnere e di Uomo di Ercole De Castro».

Qui De Castro presenta un semplice e geniale metodo per ottenere la risposta di una rete non lineare priva di memoria (ossia priva di elementi reattivi) a una oscillazione sinusoidale modulata. Purtroppo la lingua italiana e la rivista su cui era stato pubblicato il lavoro non ne consentirono la diffusione all'estero<sup>9</sup>.

*Sul trasferimento della modulazione di ampiezza in modulazione di frequenza operato da alcuni circuiti limitatori*, «Alta Frequenza», vol. n. XXVI, n. 5, ottobre 1957<sup>10</sup>.

Il problema era stato posto da Gaetano Monti Guarnieri, direttore tecnico Radio della Fabbrica Italiana Magneti Marelli, poi GTE, dove si stavano realizzando i nuovi ponti radio allo stato solido: le risultanze sperimentali del circuito limitatore sembravano contraddire i risultati del precedente lavoro di De Castro. In questo articolo i dati sperimentali vengono giustificati e valutati tenendo conto della presenza degli elementi reattivi, non contemplata nel precedente lavoro.

#### **2.28.4. Ercole De Castro: transizione dal corso di laurea in Ingegneria Industriale (Sottosezione Elettrotecnica) al corso di laurea in Ingegneria Elettronica. L'Istituto di Elettronica**

Nell'anno accademico 1960/61 nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna viene data applicazione al D.P.R. 31 gennaio 1960 n. 53, integrato dal D.P.R. 28 agosto 1960 n. 1445, che riforma in maniera consistente l'articolazione degli studi di ingegneria. Il biennio propedeutico viene portato nella Facoltà di Ingegneria, che così si fa carico dell'intera formazione, sia scientifica di base sia tecnica, prevista in cinque anni.

Vengono abolite le due Sottosezioni della Sezione Industriale (Meccanica ed Elettrotecnica) e al loro posto vengono attivati i corsi di laurea in Ingegneria Meccanica, Ingegneria Elettrotecnica e *Ingegneria Elettronica*.

Restano i corsi di laurea in Ingegneria Chimica e Ingegneria Mineraria, già attivi, e viene avviato con i primi due anni il corso di laurea in Ingegneria Nucleare.

In conclusione la Facoltà è ora organizzata in sette corsi di laurea: Meccanica, Elettrotecnica, Chimica, Mineraria, Elettronica, Nucleare e Civile (suddivisa nelle tre Sezioni Edile, Idraulica e Trasporti).



*Figura 9. Ercole De Castro (Bologna, 1928-1984).*

<sup>9</sup> Nel 1962 Guido Vannucchi, allievo di De Castro, trovandosi alla Stanford University, ne parlò con il professor Abramson, particolarmente noto nel campo delle comunicazioni elettriche. Come riferisce lo stesso Vannucchi nel suo contributo *I rapporti col mondo industriale* al volume citato nella nota precedente, egli, sorpreso dalla genialità del metodo, esclamò «Ma questo elimina cinquanta pagine del Davenport e Root!», ossia del loro famoso testo *Random signals and noise*.

<sup>10</sup> L'articolo è in collaborazione con E. Stanghellini della Fabbrica Italiana Magneti Marelli, poi GTE.

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA	
Materie d' insegnamento	
ANNO I.	Precedenze di esami ad esami
Analisi matematica I . . . . .	—
Geometria I . . . . .	—
Fisica I . . . . .	—
Chimica . . . . .	—
Disegno . . . . .	—
ANNO II.	
Analisi matematica II . . . . .	Analisi I
Meccanica razionale . . . . .	Analisi I
Fisica II . . . . .	—
Disegno II . . . . .	—
Geometria II . . . . .	—
ANNO III.	
Analisi statistica . . . . .	—
Complementi di fisica . . . . .	—
Complementi di matematiche . . . . .	—
Elettrotecnica I . . . . .	—
Fisica tecnica . . . . .	—
Scienze delle costruzioni . . . . .	—
ANNO IV.	
Analisi statistica . . . . .	—
Campi elettromagnetici e circuiti . . . . .	Complem. di matematiche - Elettrotecnica I
Comunicazioni elettriche . . . . .	Analisi statistica - Elettrotecnica I
Elettronica applicata . . . . .	Elettrotecnica I
Elettrotecnica II . . . . .	Elettrotecnica I
Impianti elettrici . . . . .	Elettrotecnica I
Macchine . . . . .	Fisica tecnica
ANNO V.	
Campi elettromagnetici e circuiti . . . . .	Complem. di matematiche - Elettrotecnica I
Comunicazioni elettriche . . . . .	Elettrotecnica I
Controlli automatici . . . . .	Elettrotecnica I e II
Misure elettriche . . . . .	Elettrotecnica I
Radiotecnica . . . . .	Elettrotecnica I
C <sub>1</sub> { Comunicazioni elettriche su filo . . . . .	Comunicazioni elettriche - Elettrotecnica I
{ Impianti speciali radio . . . . .	Elettrotecnica I - Radiotecnica
C <sub>2</sub> { Calcolatrici elettroniche . . . . .	Elettrotecnica I - Radiotecnica
{ Programmazione . . . . .	—

Figura 10. Piano degli studi del corso di laurea in Ingegneria Elettronica nell'anno accademico 1960/61, primo anno di attuazione della riforma degli studi di ingegneria introdotta dal D.P.R. 31 gennaio 1960 n. 53 (dall'Annuario dell'Università).

Protagonista della transizione dal corso di laurea in Ingegneria Industriale (Sottosezione Elettrotecnica), per la parte concernente il gruppo B (correnti deboli), al corso di laurea in Ingegneria Elettronica, è Ercole De Castro (Fig. 9). Il piano degli studi del nuovo corso di laurea, nel suo primo anno accademico 1960/61, è riportato nella Fig. 10: gli insegnamenti a scelta in precedenza citati, Comunicazioni

COMUNICAZIONI ELETTRICHE: *Ercole De Castro.*

1. - *Generalità sui sistemi di telecomunicazione e sui loro componenti. Componenti:* trasduttori elettroacustici ed elettroottici; linee, filtri, amplificatori, modulatori, rivelatori, antenne, ecc..., come blocchi funzionali. Parametri che ne descrivono il comportamento. — *Sistemi:* Telefonia, Radiofonia, Televisione. Trasmissioni ad impulsi. Radiogoniometria e Radar. — Rumore ed informazione. Dati di progetto di un collegamento. — 2. - *Analisi delle forme d'onda.* Analisi di Fourier e sue applicazioni allo studio delle reti normali. Condizioni di non distorsione. Gamme di frequenza dei segnali interessanti le telecomunicazioni. Pupinizzazione delle linee di trasmissione. Trasformazioni lineari e filtri. Teorema di Shannon (sviluppo in segnali campionati). Spettri delle forme d'onda campionate. — 3. - *Teoria della modulazione e trasmissioni multiplex.* Modulazione di ampiezza, di frequenza e di fase. Spettri. Calcolo della risposta di reti normali ad oscillazioni modulate in frequenza. Ritardo di fase e ritardo di gruppo. Multiplex ad allocazione in frequenza. Vari tipi di modulazione ad impulsi. Multiplex ed allocazione nel tempo. — 4. - *Descrizione statistica ed analisi armonica delle grandezze fluttuanti - Il rumore di fondo.* Richiami sui processi stocastici e sulla loro descrizione statistica. Stazionarietà ed ergodicità. Teorema di Wiener-Khinchine. L'effetto Johnson. L'effetto Schottky. Il rumore anomalo (flicker). Filtri per l'ottimizzazione del rapporto segnale/rumore (teoria di Wiener). Altri esempi di applicazioni. — 5. - *Teoria dell'informazione.* Definizione di «quantità di informazione».

Quantizzazione dei segnali. Codificazione. Capacità di un canale di trasmissione. Teorema sulla codificazione «ottima». Il problema della riduzione delle bande di frequenza. Applicazioni varie della teoria dell'informazione ai sistemi di telecomunicazione.

ELETTRONICA APPLICATA: *Ercole de Castro.*

*Prime nozioni sui tubi elettronici.* Vari tipi di emissione elettronica. Diodi, triodi, tubi a più griglie, tubi a gas, fotocelle, diodi a cristallo e transistori (caratteristiche statiche e loro linearizzazione; circuiti equivalenti; capacità interelettrodiche od equivalenti). — *Amplificatori.* Generalità sull'amplificazione «statica» e «parametrica». Amplificatori aperiodici e selettivi. — Particolari tipi di amplificatori: con catodo a massa, griglia a massa, anodo a massa. Circuiti analoghi a transistori. Amplificatori a R.C.. Amplificatori con accoppiamento a trasformatore. Amplificatori a risonatore accordato. Amplificatori a trasformatore accordato. Amplificazione in classe A, B, C. — *Oscillatori.* Oscillatori a resistenza negativa: innesco delle oscillazioni. Equazioni di Liénard e di Van der Pol. Cicli limite. Oscillazioni quasi sinusoidali e di rilassamento. Stabilità di ampiezza e di frequenza. Oscillatori a reazione. Sincronizzazione delle oscillazioni. Vari tipi di oscillatori impiegati nella pratica. — *Convertitori di frequenze ad amplificatori parametrici.* — *Modulatori di ampiezza e rivelatori.* — *Modulatori e rivelatori di frequenza.* — *Circuiti elettronici speciali.* Amplificatori a costanti distribuite. Multivibratori. Generatori di tensioni a denti di sega. Circuiti a soglia. Comparatori. Convertitori analogo-numeric. — *Balistica elettronica.* Dinamica delle particelle veloci. Effetti del tempo di transito. Tubi elettronici per microonde. Cenni sugli acceleratori di particelle. Cenni sulla dinamica delle cariche mobili nei semiconduttori.

Figura 11. Programmi degli insegnamenti di Comunicazioni Elettriche e di Elettronica Applicata tenuti da Ercole De Castro nell'anno accademico 1960/61 (dall'Annuario dell'Università).

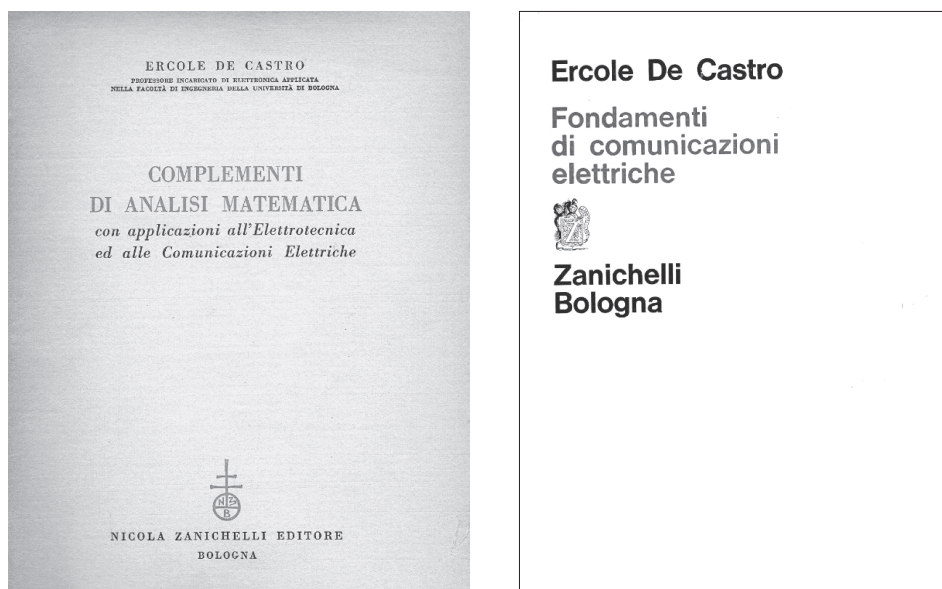


Figura 12. I trattati di Ercole De Castro pubblicati negli anni 1961 e 1966.

Elettriche, Radiotecnica, Elettronica Applicata (già Elettronica), Misure Elettriche (già correnti deboli), assieme a Campi Elettromagnetici e Circuiti, diventano insegnamenti fondamentali. Resta l'obbligatorietà degli insegnamenti di Fisica Tecnica, Scienza delle Costruzioni e Macchine, destinata in seguito a venir meno con la liberalizzazione dei piani degli studi. Negli anni successivi De Castro si impegna a potenziare e aggiornare il corso di laurea, così da adeguarlo alle esigenze via via crescenti dello sviluppo tecnico e scientifico<sup>11</sup>.

All'inizio del nuovo ordinamento De Castro tiene l'insegnamento di Comunicazioni Elettriche come incaricato, nonché quello di Elettronica Applicata (dapprima come incaricato, poi come già detto, straordinario dall'1 febbraio 1962 e ordinario dall'1 febbraio 1965) con i programmi riportati nella Fig. 11<sup>12</sup>.

L'impostazione della nuova didattica ha chiaro fondamento nei due trattati di De Castro (Fig. 12):

*Complementi di analisi matematica con applicazioni all'elettrotecnica ed alle comunicazioni elettriche*, Nicola Zanichelli Editore, Bologna, 1961, i cui sette capitoli trattano: Funzioni analitiche; Sviluppi in serie di funzioni ortogonali; Trasformata e integrale

<sup>11</sup> Vale la pena ricordare che l'anno accademico 1961/62 è stato l'ultimo del Corso di Perfezionamento in Radio e Telecomunicazioni (questa è la dizione usata nell'annuario dell'Università). Esso, sotto altra forma, sarà ripreso nell'ambito della Fondazione Guglielmo Marconi sotto la presidenza di Giancarlo Corazza.

<sup>12</sup> L'insegnamento di Radiotecnica è ancora tenuto (per intero) da Enzo Belardinelli nei primi due anni del nuovo corso di laurea, per poi passare a Mario Cicchetti, allievo di De Castro.

di Fourier; La trasformata di Laplace; Le funzioni speciali; Equazioni alle derivate parziali; Equazioni alle differenze finite.

*Fondamenti di comunicazioni elettriche*, stesso editore, 1966, che comprende quattro capitoli: Generalità sulla trasmissione di informazioni mediante energia elettromagnetica - Analisi dei segnali; Elementi di teoria della modulazione; Descrizione statistica ed analisi armonica dei segnali aleatori - Il rumore di fondo; Elementi di teoria dell'informazione.

A proposito del primo trattato è importante riprendere le osservazioni che Dario Graffi fece nella commemorazione di De Castro tenuta nel 1985 all'Accademia Nazionale dei Lincei, della quale egli era socio<sup>13</sup>:

In questo volume, Egli espone quegli argomenti, necessari per la cultura dell'Ingegnere, e che difficilmente, per mancanza di tempo, possono rientrare nei corsi del biennio propedeutico. Il volume è stato ed è ancora utile non solo all'ingegnere, ma anche, *per mia esperienza personale*, al cultore di matematiche applicate.

Il corsivo è stato qui aggiunto perché colpisce la dichiarazione di utilità estesa alla propria persona data da un grande fisico-matematico, quale era Dario Graffi.

Dario Graffi, riferendosi alla solida competenza De Castro nel campo matematico, in quella stessa commemorazione, aggiunge:

Fra i Suoi Maestri del Politecnico Egli ricordava, in special modo, Francesco Vecchiacchi di Comunicazioni Elettriche, Bruno Finzi di Meccanica Razionale e, più di tutti, Luigi Amerio, del quale, oltre al prescritto corso di Analisi Matematica aveva seguito, senza obbligo scolastico, diversi corsi di Analisi Superiore, acquistando così ottima preparazione matematica che Egli ha dimostrato poi nella Sua Opera scientifica<sup>14</sup>.

Il secondo trattato è dedicato in prevalenza ai vari aspetti della Teoria dei segnali, della loro trasmissione e della Teoria dell'informazione. Peraltro ogni capitolo si conclude con un paragrafo di Esercizi e complementi, i quali hanno anche lo scopo di dare allo studente un certo numero di nozioni pratiche, senza peraltro – come scrive De Castro nella prefazione – produrre impressioni di frammentarietà, come sarebbe inevitabile in un testo di questo genere, se tali nozioni non venissero opportunamente dosate e confinate.

Scrivendo ancora De Castro nella prefazione:

Queste lezioni, pur intese come introduzione ad altri corsi di carattere specializzato, hanno una loro autonomia che, probabilmente, potrà renderle utili anche a Fisici o

<sup>13</sup> D. Graffi, *Ercole De Castro*, Atti della Accademia Nazionale dei Lincei, Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, «Rendiconti», Serie 8, Vol. 80 (1986), nn. 1-2, pp. 71-78.

<sup>14</sup> Aggiungo che appena arrivato a Bologna De Castro segue corsi e seminari tenuti presso l'Istituto Matematico e l'Istituto di Fisica, dove insegnavano insigni maestri quali Dario Graffi, Bruno Ferretti e Giampaolo Puppi.

Matematici che, per ragioni di ricerca o per semplice curiosità, volessero acquisire qualche dimestichezza con i problemi fondamentali delle Telecomunicazioni.

Possiamo aggiungere non solo a Fisici o Matematici, ai quali evidentemente De Castro è grato per quanto ha ricevuto per la sua formazione, ma anche a tutti coloro che desiderano conoscere i principi di funzionamento dei sistemi di telecomunicazione.

Purtroppo il trattato fu pubblicato con alcuni anni di ritardo rispetto alla sua prima stesura e ciò fu motivo di rammarico per De Castro: quando lo scrisse esso avrebbe rappresentato una assoluta novità sull'impostazione data alla teoria statistica delle comunicazioni e alla modellizzazione matematica mediante blocchi funzionali degli apparati di telecomunicazione, prescindendo dalle modalità realizzative destinate a cambiare seguendo gli sviluppi della tecnologia. In ogni caso l'impostazione data al volume resta sicuramente sempre d'avanguardia.

All'inizio degli anni Sessanta comincia la collaborazione di De Castro con la Società Telettra, destinata a durare 20 anni: l'accordo fra attività accademiche e attività industriali si rivela fecondo di risultati sul piano sia della finalizzazione applicativa della ricerca teorica sia dell'aggiornamento della ricerca industriale.

Un solo esempio di quei primi anni, alle soglie della transistorizzazione dei ponti radio a microonde, che riguarda la realizzazione di un modulatore di frequenza a *varactor* con adeguata linearità. De Castro mostra come sia possibile raggiungere l'obiettivo con due stadi in *push-pull*, le cui nonlinearità possono in gran parte compensarsi, nel suo articolo *Modulatori di frequenza a larga banda a diodi varactor*, «Alta Frequenza», vol. XXXII, n. 9, settembre 1963<sup>15</sup>.

Il modulatore fu oggetto di un importante brevetto che anticipò la concorrenza degli altri costruttori.

Nella Facoltà di Ingegneria la scuola di Elettronica e di Comunicazioni Elettriche che si è venuta formando per impulso di De Castro registra uno sviluppo così rapido da suggerire nell'anno accademico 1965/66 la costituzione dell'Istituto di Elettronica come riportato nella Fig. 13.

Del nuovo Istituto De Castro è direttore per i primi quattro anni, determinanti per lo sviluppo successivo della ricerca e della didattica ad esso afferenti, dopo i quali si dimette<sup>16</sup> per passare la direzione a Gian Paolo Dore.

De Castro mantiene l'incarico dell'insegnamento di Comunicazioni Elettriche fino all'anno accademico 1966/67. A decorrere dall'anno accademico seguente 1967/68 gli succede il suo allievo Leonardo Calandrino, che fino ad allora aveva tenuto l'incarico di Campi Elettromagnetici e Circuiti.

A coprire l'insegnamento di Campi Elettromagnetici e Circuiti viene chiamato – come titolare di cattedra – Giancarlo Corazza, ordinario di questa disciplina nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Trieste, già allievo di Vittorio Gori presso l'Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni a Roma. A Bologna egli promuove

<sup>15</sup> L'articolo è in collaborazione con E. Proni della Telettra.

<sup>16</sup> Queste dimissioni costituiscono in quei tempi una rarità.

ISTITUTO DI ELETTRONICA Viale del Risorgimento, 2 - Tel. 23.83.19	
DE CASTRO prof. ERCOLE, <i>Direttore</i>	
BANCHI GIOVANNI, <i>auto vice bibliotecario.</i>	
TROMBELLI MARIA LUISA, <i>avventizio non statale di 3ª categoria.</i>	
<i>Insegnamenti</i>	
<i>Campi elettromagnetici e circuiti:</i>	
CALANDRINO dr. LEONARDO, <i>incaricato.</i>	
VANNUCCHI dr. GUIDO, <i>assistente straordinario.</i>	
<i>Complementi di fisica:</i>	
RANCOITA prof. GIORGIO MARIA, <i>incaricato.</i>	
<i>Comunicazioni elettriche:</i>	
DE CASTRO prof. ERCOLE, <i>incaricato.</i>	
CALANDRINO dr. LEONARDO, <i>assistente.</i>	
MONACO dr. VITO ANTONIO, <i>assistente.</i>	
MORTARA dr. GIULIO, <i>assistente volontario.</i>	
SPAGNA dr. FERRUCCIO, <i>assistente volontario.</i>	
<i>Elettronica applicata:</i>	
DE CASTRO prof. ERCOLE, <i>straordinario (titolare).</i>	
CICCHETTI dr. MARIO, <i>assistente.</i>	
GRAFFI dr. SERGIO, <i>assistente.</i>	
IMMOVILI dr. GIANNI, <i>assistente.</i>	
OSNAGHI dr. ALESSANDRO, <i>assistente incaricato.</i>	
PACE dr. ENRICO, <i>assistente volontario.</i>	
NEGRI PIETRO, <i>bidello di 1ª classe.</i>	
<i>Elettronica nucleare:</i>	
DE LOTTO dr. IVO, <i>incaricato.</i>	
MODENA dr. GOFFREDO, <i>assistente volontario.</i>	
<i>Impianti speciali radio:</i>	
MONACO dr. VITO ANTONIO, <i>incaricato.</i>	
TARASSI dr. GIUSEPPE, <i>assistente volontario.</i>	
<i>Misure elettriche IIª Cattedra:</i>	
DORE prof. GIAN PAOLO, <i>straordinario (titolare).</i>	
MENCHETTI dr. ANTONIO, <i>assistente.</i>	
IUCULANO dr. GAETANO, <i>assistente volontario.</i>	
MONTI dr. ANGELO, <i>assistente volontario.</i>	
PEZZI dr. GIOVANNI, <i>assistente volontario fino al 31-1-1966.</i>	
PEZZI dr. MARIO, <i>assistente volontario.</i>	
<i>Radiotecnica:</i>	
CICCHETTI dr. MARIO, <i>incaricato.</i>	
CALZOLARI dr. PIER UGO, <i>assistente.</i>	
<i>Tecnica delle comunicazioni elettriche:</i>	
TREVES prof. SCIPIONE, <i>incaricato.</i>	
MASETTI dr. GIOVANNI, <i>assistente volontario.</i>	
<i>Tecnologie elettroniche:</i>	
MODONI prof. VITTORIO, <i>incaricato.</i>	
LABANTI dr. LORIS, <i>assistente volontario.</i>	

Figura 13. L'Istituto di Elettronica nell'anno accademico 1965/66, primo della sua fondazione (dall'Annuario dell'Università).

una intensa attività scientifica sull'elettromagnetismo, in particolare applicato alle radiocomunicazioni. Nel 1981 assume la presidenza della Fondazione Guglielmo Marconi, succedendo a Giovanni Elkan, parlamentare della Democrazia Cristiana, dando un notevole e innovativo impulso all'attività scientifica e di formazione della Fondazione.

## 2.28.5. Ercole De Castro e la Microelettronica

In De Castro sta maturando una profonda trasformazione dei suoi interessi di ricerca, che lo porta dalle comunicazioni elettriche alla microelettronica, della quale è tra i primi a comprendere l'importanza per lo sviluppo del settore dell'informazione. In questo campo avanzato della ricerca tecnologica, che richiede l'integrazione di profonde competenze di elettronica e di fisica dello stato solido, l'attività di De Castro viene ricordata in questo stesso volume da Giorgio Baccarani<sup>17</sup>: attività scientifica,

<sup>17</sup> Cfr. il contributo di G. Baccarani, *infra*.



didattica (De Castro ha tenuto successivamente i corsi di Elettronica Applicata I, II e III, coprendo in questo modo con il suo insegnamento tutto lo sviluppo dell'elettronica durante la sua vita) e di organizzazione (è stato promotore del Laboratorio di Chimica e Tecnologia dei Materiali e dei Componenti per l'Elettronica del CNR, del cui Consiglio Scientifico ha tenuto la presidenza per quasi un decennio, nonché coordinatore e presidente di gruppi specialistici del CNR).

In particolare Baccarani ricorda il volume di De Castro *Fondamenti di elettronica: fisica elettronica ed elementi di teoria dei dispositivi*, UTET, Torino, 1975, considerato da Dario Graffi nella commemorazione già citata il suo più importante trattato. È questo il testo consigliato da De Castro per il suo ultimo corso, Elettronica Applicata III, che così presenta sulla Guida dello Studente della Facoltà di Ingegneria:

Il Corso è concepito come una introduzione alla Fisica elettronica ed alle sue applicazioni alla teoria dei dispositivi. Esso può essere considerato a sé stante ed allora il suo significato è essenzialmente di base culturale; oppure, a scelta dello studente può essere seguito dai corsi di "Microelettronica" e/o di "Elettronica Quantistica" ed in tal caso costituisce la parte propedeutica di un gruppo di materie con le quali viene sviluppato in modo ragionevolmente approfondito e completo quanto è essenziale per la formazione professionale di un ingegnere elettronico nel settore della microelettronica.

È l'ultimo accorato richiamo alla fondamentale importanza della preparazione culturale di base dell'ingegnere elettronico, perché – come ha scritto nella prefazione del testo appena citato –:

la mia personale esperienza professionale, avendomi dato l'opportunità di aiutare numerosi giovani professionisti ad impostare i loro problemi, mi ha persuaso che sono le lacune concettuali, o l'inadeguata assimilazione dei metodi generali, a creare sostanziali difficoltà al progettista, anche di ordine psicologico; non certo l'insufficiente conoscenza di dettagli tecnologici, sempre acquisibili facilmente "se si è in grado di recepire".

Tuttavia De Castro, anche in questa seconda fase del suo impegno scientifico, conserva sempre nel cuore le comunicazioni elettriche, come dimostrato dalle sue memorie degli anni 1981 e 1982 su *Microelettronica e Telecomunicazioni*, *Prospettive delle Telecomunicazioni*, *Strumenti matematici nella Microelettronica e nelle Telecomunicazioni*. *La Matematica nella formazione culturale e professionale dell'Ingegnere elettronico*.

La Scienza dell'Ingegneria Elettronica e delle Comunicazioni Elettriche, che ha avuto in Ercole De Castro un illuminato pioniere, sta per subire una grave perdita: viene a mancare all'età di 56 anni, il 1° dicembre 1984, "con la penna in mano", come aveva sempre desiderato, rivedendo un lavoro di imminente pubblicazione.

De Castro è stato Maestro di una nutrita schiera di allievi avviati alla ricerca, nel cuore dei quali è rimasta scolpita la Sua figura con un vivo sentimento di gratitudine per l'insegnamento e l'esempio da lui ricevuti.

A coloro che gli sono stati vicini negli ultimi suoi mesi, De Castro ha mostrato come si possa affrontare serenamente la prova estrema della vita.

È stato questo, a mio parere, il suo più alto magistero.

## 2.29. NASCITA E SVILUPPO DELL'INGEGNERIA BIOMEDICA PRESSO L'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA: I PRIMI CINQUANT'ANNI

*Guido Avanzolini*

### **Premessa**

Sono passati ormai cinquant'anni da quando sono iniziate attività organizzate di Bioingegneria presso la Facoltà (allora si chiamava così) di Ingegneria dell'Alma Mater. Appare quindi particolarmente appropriato approfittare di questa iniziativa della nostra Scuola per ricordare gli eventi e le persone che sono state protagoniste di questa avventura accademica.

Mi scuso fin da ora per tutte le lacune che sicuramente non sono riuscito ad evitare, mentre ringrazio i colleghi del gruppo di Bioingegneria di Bologna per i loro preziosi contributi, i tanti suggerimenti, nonché le osservazioni costruttive, senza le quali questa relazione non sarebbe stata possibile in questa forma.

La relazione è organizzata come segue.

Per meglio inquadrare la disciplina della Bioingegneria, un'area accademica relativamente recente, si è pensato bene di iniziare con un poco di storia, basata sugli uomini, sugli eventi e sulle realizzazioni che, a partire dalla seconda metà dell'Ottocento, hanno determinato le premesse, prima, e lo sviluppo, poi, di questo nuovo settore della moderna ingegneria. Successivamente, dopo aver tratteggiato il contesto accademico internazionale nel secondo dopoguerra, vengono presentati i padri della Ingegneria Biomedica italiana e, quindi, le principali fasi dello sviluppo scientifico e didattico di tale disciplina nella Scuola di Ingegneria a Bologna, dal suo inizio nella primavera del 1969 sino ai giorni nostri.

La relazione si conclude con un doveroso ed affettuoso ricordo del professor Enzo Belardinelli, uno dei fondatori della Bioingegneria italiana, nonché l'animatore ed il maestro della scuola bolognese.

### **2.29.1. Un poco di storia**

#### ***Gli antesignani dell'Ingegneria Biomedica***

Anche per l'Ingegneria Biomedica (o Bioingegneria) si potrebbe andare indietro nel tempo e trovare, nel lontano passato, esempi di strumenti ingegneristici utilizzati per la cura dell'uomo, quali utensili neolitici per la trapanazione del cranio o protesi egizie funzionali (non solo estetiche) con caratteristiche meccaniche non banali.

Ma, rinunciando alla civetteria di ricercare nobili antenati nel lontano passato, mi sembra opportuno collocare l'inizio di questa sintetica storia della Bioingegneria nel-

la seconda metà dell'Ottocento, un periodo in cui si verificarono tappe particolarmente importanti per lo sviluppo della disciplina.

Un forte contributo fu dato da Hermann von Helmholtz (Potsdam 1821 - Berlino 1894), uno degli scienziati più poliedrici del suo tempo, i cui interessi spaziavano dalla Fisiologia alla Medicina, dall'Optica all'Acustica, dalla Termodinamica alla Elettrodinamica (Heinrich Rudolf Hertz fu uno dei suoi allievi). Infatti, egli fu dapprima professore di Fisiologia e patologia a Königsberg, quindi di Fisiologia a Bonn e poi ad Heidelberg, e, infine, professore di Fisica a Berlino.



Figura 2. Hermann von Helmholtz.

Alcuni anni dopo (1896), il fisico tedesco Wilhelm Conrad Roentgen (Remscheid 1845 - Monaco 1929), studiando la ionizzazione dei gas rarefatti, osservò la presenza di radiazioni di origine allora sconosciuta (da qui il nome *Raggi X*) in grado di attraversare i tessuti molli (ma non le ossa) e di impressionare una lastra fotografica. Divenne così possibile osservare l'interno del corpo umano senza incisione chirurgica: iniziò la *diagnostica clinica per immagini*.

Negli stessi anni il piemontese Scipione Riva-Rocci (Almese 1863 - Rapallo 1937) mise a punto lo sfigmomanometro, uno strumento in grado di misurare in modo in-cruento la pressione arteriosa nell'uomo. Divenne possibile diagnosticare l'ipertensione arteriosa e controllare l'effetto delle relative terapie.

Sempre negli stessi anni (1903), il fisiologo olandese Wilhelm Einthoven (Semarang 1860 - Leida 1927) effettuò la prima registrazione dell'attività elettrica cardiaca, mediante un registratore ultrasensibile (il galvanometro a corda), in grado



Figura 1. Protesi egizia funzionale: 1000-600 a.c.



Figura 3. Scipione Riva-Rocci.

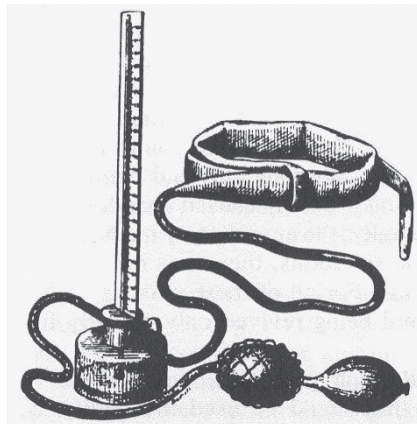


Figura 4. Lo sfigmomanometro a mercurio.

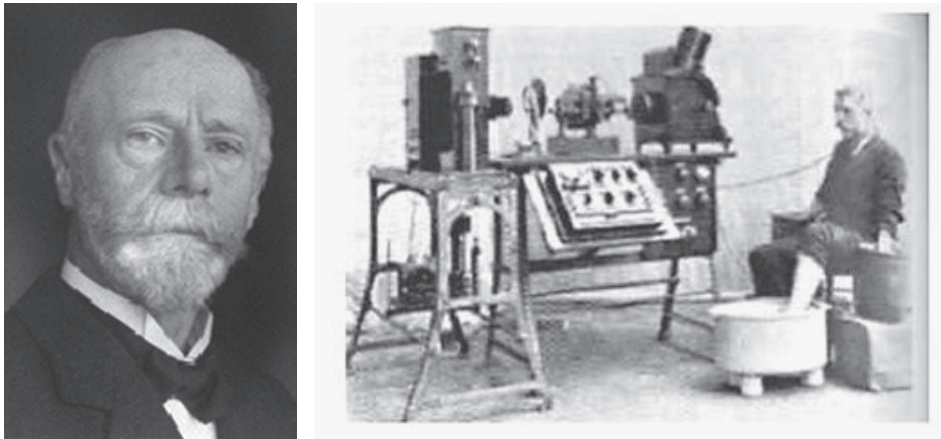


Figura 5. Wilhelm Einthoven. Figura 6. L'elettrocardiografo.

di rilevare un segnale elettrico dell'ordine del millivolt, come l'ECG. Iniziò la moderna elettrofisiologia cardiaca.

Nel 1924 Hans Berger (Neuss 1873 - Jena 1941) rilevò per la prima volta nell'uomo una differenza di potenziale elettrico fra due elettrodi posti sullo scalpo, evidenziando la presenza di ritmi (il cosiddetto ritmo alfa). I dati, pubblicati nel 1929, rappresentano la nascita della moderna elettroencefalografia.

Tra la Prima e la Seconda guerra mondiale si assistette, sostanzialmente, al perfezionamento tecnologico di queste prime realizzazioni ed alla loro successiva diffusione nelle strutture ospedaliere.

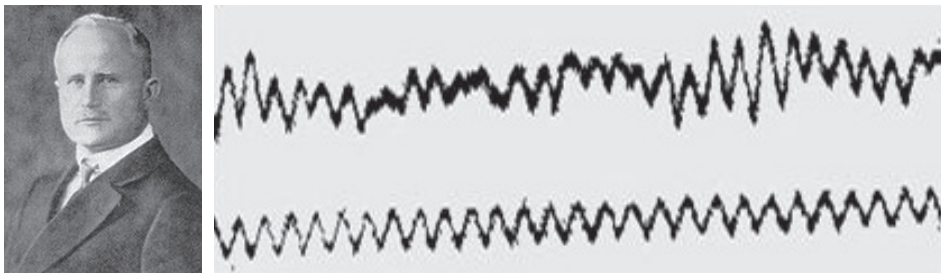


Figura 7. A sinistra: Hans Berger; a destra: uno dei primi Elettroencefalogrammi.

### **L'età dell'Ingegneria Biomedica**

Al termine della Seconda guerra mondiale, lo sviluppo del settore ebbe un grande impulso. Tra le cause principali si possono citare: *a)* la necessità di una riconversione industriale (da industria di guerra a industria di pace) che utilizzasse per usi pacifici le tecnologie (ad esempio elettroniche) sviluppate durante il conflitto; *b)* i programmi spaziali che richiedevano lo sviluppo di apparecchiature in grado di permettere un preciso monitoraggio delle condizioni fisiologiche degli astronauti, nonché l'approfondimento

delle conoscenze fisiologiche in modo da poter prevedere l'effetto sull'organismo di condizioni innaturali ed estreme (assenza di atmosfera, di gravità, ecc.); c) i progressi eccezionali nella matematica applicata e negli strumenti di calcolo, necessari per l'analisi di sistemi complessi come quelli biologici.

In particolare, negli anni Cinquanta l'invenzione e la diffusione dell'*autoanalizzatore* trasformò il laboratorio di analisi cliniche in una moderna fabbrica automatica, con il flusso ordinato di materia, energia ed informazione. Si assistette ad un aumento vertiginoso della produttività dei laboratori di analisi, in cui il numero di esami che è possibile svolgere aumenta a dismisura.

Inoltre, furono questi gli anni così detti *degli organi artificiali*, con cui la moderna ingegneria aprì nuove frontiere alla cura dell'uomo. Nel 1954, la *macchina cuore-polmone* rese possibile, per la prima volta, operare chirurgicamente sull'uomo a cuore fermo: iniziò la *cardiochirurgia*. La sostituzione di valvole cardiache malate (incompatibili con la vita) con valvole artificiali divenne una realtà (*organi artificiali impiantabili passivi*).

Sempre negli stessi anni (1955) si ebbe la prima applicazione clinica del *pacemaker cardiaco*, il primo *organo artificiale impiantabile attivo*, cioè contenente l'energia necessaria al suo funzionamento. Tipico dispositivo multidisciplinare in cui convergono competenze chimiche (biocompatibilità), energetiche (batterie chimiche o pile nucleari), elettroniche (per generare gli impulsi elettrici) e meccaniche (per garantire l'essenziale robustezza meccanica dei cavetti di collegamento tra gli elettrodi e l'oscillatore).

Ancora in questi anni si diffuse il così detto rene artificiale o macchina per emodialisi: un dispositivo in grado di garantire la sopravvivenza di soggetti con una insufficiente funzionalità renale, svolgendo la duplice funzione di depurazione del sangue e di rimozione del surplus di liquidi che il rene naturale non era più in grado di eliminare.

In particolare, con tale dispositivo si realizzava una piccola circolazione extracorporea, mediante la quale il sangue prelevato dal corpo veniva fatto passare attraverso un filtro ove venivano rimosse le tossine attraverso la sua membrana, mentre una



Figura 8. L'autoanalizzatore.

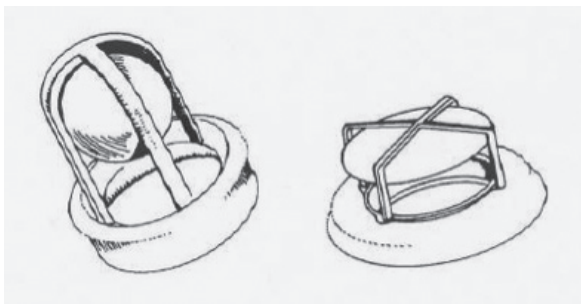


Figura 9. Protesi valvolari: valvola a palla e valvola a disco traslante (minore inerzia).



Figura 10. Il pacemaker cardiaco.

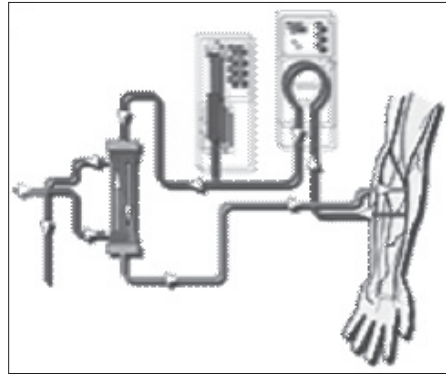


Figura 11. Il funzionamento di una macchina per emodialisi.

depressione, creata artificialmente, richiamava parte del plasma presente nel sangue, eliminando così la quantità desiderata del *surplus* idrico.

È interessante notare come, in questo settore, due aziende emiliane (la *Gambro Dasco* e la *Belco*) divenissero ben presto (come sono tuttora) *leader* in Europa nelle macchine per emodialisi ed esportassero in tutto il mondo la maggior parte della loro produzione. Sempre nella stessa regione, la presenza di strutture di eccellenza quali gli *Istituti Ortopedici Rizzoli* ed il *Centro Protesi dell'INAIL* (Vigorso di Budrio) contribuiva a favorire la diffusione degli organi artificiali, ad iniziare, nel campo dell'ortopedia, dalle protesi d'anca, il cui uso clinico era in forte espansione in quegli anni.

Tra la fine degli anni Sessanta e l'inizio degli anni Settanta del secolo scorso, iniziò l'era delle *Bioimmagini*.

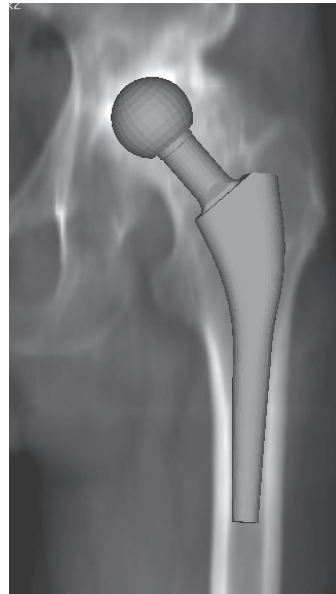


Figura 12. Protesi femorale.



Figura 13. L'ecografia ad ultrasuoni.

Dapprima si sviluppò l'*ecografia ad ultrasuoni*, che rappresentò l'evoluzione della tecnologia sonar, sviluppata nella Seconda guerra mondiale per la lotta ai sommergibili. Com'è noto, un impulso acustico emesso dalla sorgente viene riflesso (e poi percepito dal ricevitore) quando incontra un oggetto con impedenza acustica diversa dall'acqua. Essendo necessaria una risoluzione spaziale 1.000 volte maggiore di quella del sonar si

usa una frequenza 1.000 volte maggiore, cioè dell'ordine del *MHz*, da cui il nome di ultrasuoni.

Successivamente, si sviluppò la *Tomografia assiale computerizzata* (TAC), volta a superare il limite della radiologia tradizionale, in cui una struttura 3D quale il corpo umano è presentata sovrapposta su un supporto piano (la lastra). L'idea di base consisteva nel suddividere una struttura 3D in tante "fettine" (in greco, *tomos* significa *taglio, fettina*) in modo da ricondurre l'analisi di una struttura tridimensionale all'analisi di successive strutture piane tra loro affiancate, come indicato in figura.

Il problema residuo consisteva nel ricavare la distribuzione di densità della singola fettina a partire da sue  $n$  proiezioni prese da angolazioni diverse. Si tratta di un classico problema inverso (la ricostruzione dell'oggetto che ha generato tali proiezioni), già risolto teoricamente dal matematico austriaco Johan Radon (1887-1956) all'inizio del secolo scorso (1917). Tuttavia, solo la disponibilità di strumenti di calcolo sufficientemente potenti rese il problema solubile in tempi abbastanza rapidi da essere accettabili.

Infine, furono sviluppate le apparecchiature per *Risonanza magnetica nucleare* (RMN) che utilizzano le proprietà di particolari atomi (quali  $^1\text{H}$  e  $^{13}\text{C}$ ) di possedere un momento magnetico di *spin* e, quindi, di comportarsi in modo simile all'ago di una bussola. Detto in modo molto grossolano, quando sottoposte ad un forte campo magnetico, queste piccole bussole si orientano assumendo due diversi livelli di energia (equilibrio stabile ed instabile). Allora, se sollecitate con una radiazione elettromagnetica ad una precisa frequenza (di risonanza per quel tipo di atomo) gli atomi in equilibrio instabile passano all'equilibrio stabile rilasciando energia che, captata, rappresenta il segnale utile in quanto proporzionale alla concentrazione di quegli atomi.

Si noti che, diversamente dalla TAC, la RMN (come l'ecografia) non utilizza radiazioni ionizzanti (cioè pericolose, in quanto capaci di strappare un elettrone da un atomo, trasformandolo in ione) e consente, quindi, esami ripetuti.

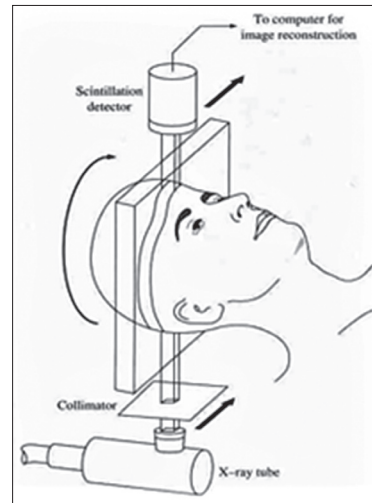


Figura 14. La tomografia assiale computerizzata. In basso è presente il tubo radiogeno e in alto il corrispondente rivelatore.

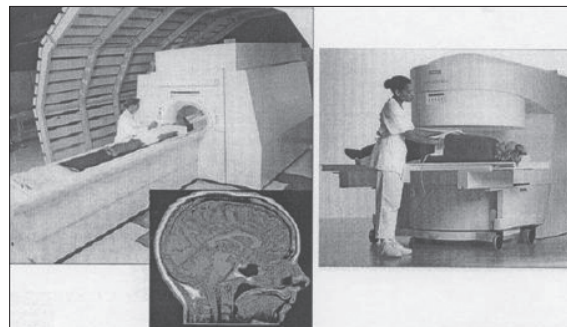


Figura 15. La riduzione dell'ingombro nelle apparecchiature RMN degli anni 2000.



### 2.29.2. Il contesto accademico internazionale nel secondo dopoguerra

In questi anni, l'esigenza di figure professionali specificamente preparate emerse con forza non solo da parte delle imprese impegnate a progettare, produrre e commercializzare strumenti ormai insostituibili per la diagnosi, la terapia e la riabilitazione, ma anche da parte di ospedali pubblici e privati, chiamati a gestire in modo corretto, sicuro ed economico un parco macchine di crescente valore economico e di notevole complessità tecnologica.

Dopo l'avvio delle principali conferenze scientifiche e la successiva costituzione delle relative associazioni internazionali, cominciarono a diffondersi le iniziative didattiche volte a formare questa nuova figura di ingegnere.

In particolare [1]:

1947, USA: si tenne la prima *Annual Conference on Engineering and Medicine* (ACEMB).

1953, USA: iniziò la pubblicazione *IRE*, poi *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*.

1958, Parigi: ebbe luogo la prima *International Conference of Medical and Biological Engineering*.

1959, Parigi: fu fondata la *International Federation for Medical and Biological Engineering (IFMBE)*.

1960, USA: in occasione del progetto del nuovo Downstate Medical Center della State University of New York (SUNY) fu realizzato il primo *Servizio centralizzato di riparazione e manutenzione delle apparecchiature* che, come sua prima attività, provide al collaudo di accettazione di tutti i nuovi acquisti, cosa sino ad allora inusitata.

1970, USA: la *National Academy of Engineering* definì l'*Ingegneria biomedica* come quell'area che comprende le applicazioni di concetti e di tecnologie proprie dell'ingegneria:

- per aumentare le conoscenze di base in medicina e biologia (*bioingegneria*);
- per sviluppare strumenti, materiali, dispositivi diagnostici e terapeutici, organi artificiali e altri supporti tecnologici di interesse per il medico (*ingegneria medica*);
- per migliorare la qualità del servizio sanitario, soprattutto per quanto dipende dalla sua organizzazione e dalla appropriata acquisizione e gestione delle apparecchiature (*ingegneria clinica*).

Le tre aree si distinguono a seconda di quale delle tre attività (Ricerca, Sviluppo e Servizio) sia predominante.

1976, USA: iniziò la pubblicazione la rivista *Journal of Clinical Engineering*.

Anche in Italia si procedette in modo analogo:

1958: Istituzione del *Laboratorio di Elettronica Biomedica*, presso l'*Istituto Superiore di Sanità*, Roma.

1965: Costituzione del *Gruppo Italiano di Elettronica applicata alla Medicina ed alla Biologia*.

1966: Il *Gruppo Italiano di Elettronica applicata alla Medicina ed alla Biologia* assunse il nome di *Gruppo Italiano di Ingegneria applicata alla Medicina ed alla Biologia*

(affiliato all'*IFMBE*), successivamente (1967) trasformato in *Associazione Italiana di Ingegneria Medica e Biologica (AIIMB)*.

1970: *Prima Giornata Italiana di Bioingegneria*, 8 Maggio, Napoli, organizzata dall'*AIIMB*.

1972: *Primo Convegno-Mostra di Bioingegneria*, 19-24 giugno, Milano, organizzata dalla *FAST*.

1980: Istituzione del *Gruppo Nazionale di Bioingegneria* del *CNR*.

1982: *Prima Scuola Annuale di Bioingegneria* a Bressanone, giunta quest'anno (2018) alla sua 37° edizione.

1996: Ebbe inizio la *Collana di Ingegneria Biomedica* (prevalentemente testi didattici ad uso degli studenti di ingegneria), Patron Editore, Bologna.

2011: A Bologna si tenne l'assemblea costitutiva del *Capitolo Italiano della European Society of Biomechanics*.

### 2.29.3. I padri dell'Ingegneria Biomedica italiana

Alla fine degli anni Sessanta, anche in Italia si avviarono attività di ricerca e di formazione nel settore della Bioingegneria presso varie Università: inizialmente, i due principali poli accademici furono il Politecnico di Milano e l'Università di Bologna. Non a caso, quando si istituirono i Dottorati di Ricerca (D.P.R. 382/80), furono creati due soli consorzi, proprio con sedi amministrative a Milano e a Bologna.

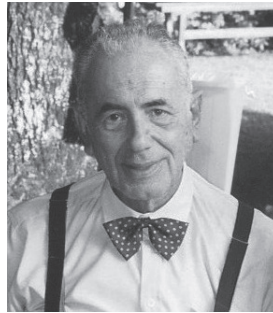


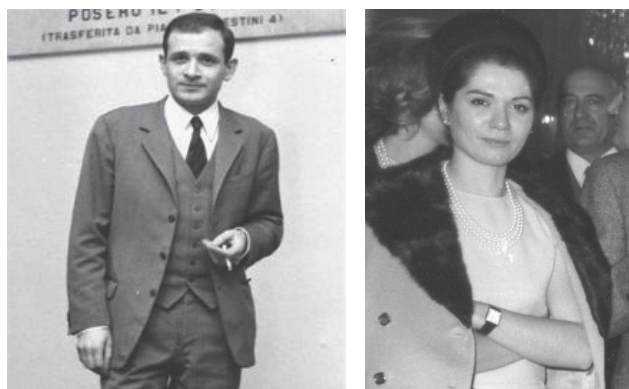
Figura 16. Enzo Belardinelli. Figura 17. Emanuele Biondi.

In tali sedi, promotori di queste attività scientifiche e didattiche furono, rispettivamente, il professore Emanuele Biondi (Catania, 1928) ed il professore Enzo Belardinelli (Parma 1930 - Bologna 2002), oggi considerati i padri della Bioingegneria italiana. Essi, infatti, tra i primi avevano intuito che le Scienze Medico-biologiche sarebbero potute diventare, in tempi brevi, il nuovo paradigma dell'Ingegneria, così come lo erano, in quel momento, l'Elettronica e l'Informatica.

### 2.29.4. Lo sviluppo dell'Ingegneria Biomedica a Bologna: le principali fasi

#### ***Il primo nucleo di una attività scientifica organizzata***

Nell'Università di Bologna, l'attività scientifica organizzata iniziò nell'aprile del 1969 in una palazzina di via Bellinzona, ove operava un gruppo di ricerca misto *ENI-*



*Figura 18. Guido Avanzolini e Gloria Capitani tra gli anni Sessanta e Settanta.*



*Figura 19. Carlo Catelli e Maurizio Serafini negli stessi anni; Pier Luigi Lenzi.*

*Università di Bologna*, nell'ambito di un contratto pluriennale di ricerca tra le due istituzioni. Complessivamente, tale contratto era volto a predisporre le conoscenze e gli strumenti necessari per le applicazioni industriali e civili di un calcolatore di processo, che l'*ENI* si apprestava a produrre. In particolare, il gruppo, che operava sotto la guida del professor Enzo Belardinelli, si occupava principalmente delle applicazioni in ambito ospedaliero. Esso costituiva il primo nucleo della Bioingegneria bolognese, che il professor Enzo Belardinelli stava fondando attorno ad un progetto scientifico basato sull'integrazione tra Ingegneria e Scienze della Vita, di cui egli già aveva valutato le ampie possibilità di sviluppo. Il gruppo era costituito da cinque giovani da poco laureati: Guido Avanzolini, Gloria Capitani, Carlo Catelli, Pier Luigi Lenzi e Maurizio Serafini.

### ***I primi argomenti di ricerca***

Gli argomenti di ricerca includevano non solo l'elaborazione dei segnali biomedici, il riconoscimento di configurazioni e l'automazione ed organizzazione sanitaria, ma anche diversi temi di modellistica dei sistemi biologici [2]. Ciò non deve stupire, dal momento che la disponibilità di una descrizione formalizzata del sistema su cui si intende operare ha sempre costituito una indispensabile premessa al progetto in-

gegneristico, mentre in quegli anni assai raramente era possibile reperire modelli sufficientemente orientati all'obiettivo concreto del bioingegnere.

In questi anni uscì la prima pubblicazione di un membro del gruppo in una prestigiosa rivista internazionale [3].

Al finanziamento delle attività di ricerca contribuì anche l'avvio, nel 1970, del Programma Speciale di Tecnologie Biomediche del *CNR*, diretto dal professor Giuseppe Paleani Vettori e, nel 1976, del Progetto Finalizzato Tecnologie Biomediche del *CNR*, diretto dal professor Luigi Donato, che, con successivi rinnovi, proseguì sino al 1987. Tra l'altro, nel 1972 si era concluso il contratto con l'*ENI* e buona parte del personale coinvolto, tra cui anche Maurizio Serafini, era confluito in una società appena costituita dall'*ENI*, la *TEMA*.

### ***I primi insegnamenti***

Nel 1971 fu attivato, come corso libero, il primo insegnamento di ingegneria biomedica, *Bioautomatica*, tenuto da Enzo Belardinelli (tra i frequentanti Gianni Gnudi). Visto il suo successo presso gli studenti, l'anno successivo fu attivato un secondo insegnamento, *Strumentazione Biomedica*, tenuto da Guido Avanzolini, mentre, nel 1979 fu



Figura 20. Gianni Gnudi il giorno della sua laurea.

attivato il terzo insegnamento, *Automazione ed Organizzazione Sanitaria*, tenuto da Gianni Gnudi che nel frattempo (1973) si era unito al gruppo iniziale di ricercatori.

Anche a seguito del successo di questi insegnamenti, nel 1978 venne costituito, all'interno del Corso di Laurea in Elettronica, l'Indirizzo di Bioingegneria, a fianco di quelli di Microelettronica, Telecomunicazioni, Automatica e Informatica.

### ***Il Gruppo iniziale si modifica***

Successivamente, il Gruppo si modificò, da un lato arricchendosi di Angelo Cappello nel 1978 (borsista *CNR*) e di Claudio Lamberti nel 1981 e, in seguito, di Silvio Cavalcanti (assegnista *CNR* dal 1983) e di Mauro Ursino (borsista dal 1986), dall'altro depauperandosi di Guido Avanzolini, divenuto ordinario di Sistemi Biologici presso l'Università di Firenze nel 1980 e lì rimasto sino al 1985, anno del suo rientro a Bologna.



Figura 21. L'On. Elkan conferisce ad Angelo Cappello il premio di laurea "Guglielmo Marconi".



Figura 22. Da sinistra: Claudio Lamberti, Silvio Cavalcanti e Mauro Ursino.

### ***L'inizio di attività formative organizzate: dal Dottorato di Ricerca al Corso di Laurea***

#### *Il dottorato di Ricerca in Bioingegneria*

Come è noto, la legge di riforma universitaria n. 382/80, che riordinava la docenza universitaria e introduceva la sperimentazione dipartimentale, istituì anche il Dottorato di Ricerca: terzo livello di studi universitari. In tale occasione, l'Università di Bologna fu scelta, nel 1982, come sede amministrativa del Consorzio per il Dottorato di Ricerca in Bioingegneria (uno dei due istituiti in Italia) che comprendeva, oltre all'Alma Mater (responsabile Enzo Belardinelli), le Università di Firenze (responsabile Guido Avanzolini), Ancona (responsabile Tommaso Leo prima e Roberto Burattini poi), Roma la Sapienza (responsabile Sergio Cerquiglini, prima e Aurelio Cappozzo poi) e Napoli Federico II (responsabile Marcello Bracale).

Si è trattato di una iniziativa di grande successo che, grazie anche alla messa in comune delle competenze disponibili nelle varie sedi consorziate, ha contribuito a formare larga parte del personale accademico (non solo italiano) del settore, nonché del personale impegnato nei centri di ricerca e sviluppo delle aziende biomediche italiane. Non è possibile dimenticare il fondamentale ed appassionato contributo fornito dal personale amministrativo dell'Ufficio Dottorato (la dott.ssa Simonetta Sirri prima e la dott.ssa. Beatrice Passerini, poi) la cui competenza e disponibilità suscitava ammirazione sia tra i docenti che tra gli allievi delle altre Università consorziate.

Ovviamente, la maggior parte degli attuali docenti bolognesi di Bioingegneria sono stati allievi di questo dottorato: Mauro Ursino, Luca Cristofolini, Lorenzo Chiari, Elisa Magosso, Rita Stagni, Cristiana Corsi, Silvia Fantozzi, Stefano Severi, etc.

Una analisi condotta sui primi 29 cicli di Dottorato, in cui hanno conseguito il titolo 172 Dottori di ricerca, ha permesso di conoscere la loro attuale collocazione professionale:

A. 81 Dottori di ricerca (47,09%) operano presso Università di cui il 26,16% italiane e il 20,93% straniere;

B. 21 (12,21%) operano come ricercatori presso enti pubblici di ricerca (CNR, Istituto superiore di Sanità, Istituti Ortopedici Rizzoli, IRCCS-IRST Meldola, IRCCS San Raffaele, Fondazione Santa Lucia e altri);

C. 56 (32,56%) operano presso industrie o aziende di servizio, prevalentemente del settore biomedico, spesso presso reparti di R&D;

D. 6 (3,49%) sono liberi professionisti/imprenditori;

E. 2 (1,16%) operano nella scuola;

F. 2 (1,16%) sono iscritti ad una seconda laurea (Medicina e Chirurgia);

G. di 4 (2,33%) non si è riusciti ad avere notizie.

I risultati di questa analisi suggeriscono che la Scuola di Dottorato in Bioingegneria ha dato un impulso importante alla ricerca nelle università, nell'industria biomedica e nelle strutture sanitarie, sia in Italia che all'estero. La significativa ricaduta sull'Università nazionale (oltre il 26%) probabilmente risente del fatto che il dottorato ha operato su più sedi, almeno sino a pochi anni fa.

#### *Dal Diploma al Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica*

Altre tappe importanti per lo sviluppo di attività formative organizzate furono l'istituzione, nel 1995 del *Corso di Diploma Universitario* in Ingegneria Biomedica (presieduto dal professor Pier Ugo Calzolari prima e dal professor Gianni Gnudi poi) e, nel 1999 del Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica (prima presieduto dal professor Massimo Ferri e, poi, dal professor Guido Avanzolini fino all'introduzione del nuovo ordinamento 3+2). Si decise di attivare a Cesena tali corsi di studio, dal momento che:

- a) in quel tempo le nuove iniziative dovevano privilegiare la Romagna;
- b) si intendeva consentire la nascita della II Facoltà di Ingegneria che richiedeva la presenza di almeno tre Corsi di Studio (ne erano allora disponibili solo due: Meccanica ed Aerospaziale);
- c) la Facoltà di Ingegneria si era impegnata ad attivare anche a Bologna i Corsi di Studio in Ingegneria Biomedica.

Infatti, il progetto della Facoltà era quello di attuare due poli didattici in Ingegneria biomedica, uno a Bologna ed uno a Cesena, in analogia con quanto già realizzato dall'Elettronica, dall'Informatica, dalle Telecomunicazioni e dalla Meccanica.

Anche se restava un corposo indirizzo biomedico a Bologna, presso il Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica, in quegli anni l'impegno prioritario del gruppo fu rivolto allo sviluppo ed al consolidamento dei Corsi di Studio in Ingegneria Biomedica a Cesena. Infatti, la realizzazione di un Polo romagnolo di Ingegneria (la Seconda Facoltà di Ingegneria, resa possibile dalla presenza dei Corsi di Studio in Ingegneria Biomedica) rappresentava una grossa opportunità non solo per l'Alma Mater, ma anche per la Romagna. Opportunità, tuttavia, solo in parte realizzata a causa di errori sia dell'Università (la dispersione dei Corsi di studio in Ingegneria tra Cesena e Forlì, per non parlare di Ravenna) sia degli Enti Territoriali che non riuscirono a realizzare una struttura *a College*, in grado di attrarre i migliori studenti da tutta Italia (in analogia a quanto fatto in altre sedi, quali la Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, una città paragonabile a Cesena per numero di abitanti).

### ***Il consolidamento delle attività scientifiche e formative: dal 2000 ad oggi***

#### *Il gruppo di Bioingegneria si consolida*

A partire dai primi anni 2000, il gruppo si consolidò sul piano accademico per la raggiunta maturità scientifica di molti suoi componenti che, numerosi, risultarono vincitori in successivi concorsi a cattedra, ovvero idonei in abilitazioni nazionali. In particolare, nel 2000 *Gianni Gnudi* ed *Angelo Cappello* vinsero un concorso per professore di prima fascia, rispettivamente nei settori scientifico-disciplinari della Bioingegneria Elettronica ed Informatica e della Bioingegneria Industriale, nel 2001 *Mauro Ursino* nella Bioingegneria Elettronica ed Informatica, nel 2010 *Luca Cristofolini* nella Bioingegneria Industriale e nel 2012 *Lorenzo Chiari* nella Bioingegneria Elettronica ed Informatica. Così, il numero degli ordinari era complessivamente passato da uno a sette.

Parallelamente, risultarono vincitori di concorsi a professore associato ovvero idonei nel settore scientifico-disciplinare Bioingegneria Elettronica ed Informatica, *Claudio Lamberti* (2000), *Silvio Cavalcanti* (2001), *Elisa Magosso* (2010) e *Cristiana Corsi* (2014). Seguirono *Rita Stagni* nel 2014 (Bioingegneria Industriale) ed *Emanuele Giordano* nel 2015 (BIO/10 Biochimica).

Numerosi, poi, i contratti di ricerca, anche europei, che vedevano come Coordinatori membri del gruppo, il quale contribuiva così in modo significativo anche al bilancio del principale Dipartimento di afferenza (DEIS prima e DEI poi).

Complessivamente, il gruppo di Bioingegneria di Bologna si affermava come uno dei più consistenti sul piano nazionale e, anche per la sua storia ed i suoi collegamenti, come solido riferimento per tutta la Bioingegneria Italiana.

Non stupisce, quindi, che *Guido Avanzolini* fosse eletto a rappresentare i professori ordinari italiani di Bioingegneria Elettronica ed Informatica nella giunta del Gruppo Nazionale di Bioingegneria (GNB) dal 2005 al 2007 e, successivamente, lo fosse *Mauro Ursino* dal 2010 al 2016. Analogamente, *Silvio Cavalcanti* lo divenne



*Figura 23. Luca Cristofolini e Lorenzo Chiari il giorno della loro laurea.*

per i professori associati nel 2010, seppure per un breve periodo, essendo, questo, anche l'anno della sua prematura scomparsa. A lui il GNB ha dedicato il volume della Scuola del 2010, incentrata appunto sulla Biologia Sintetica. Tale Scuola, infatti, lo aveva visto come promotore e, fino all'ultimo, come infaticabile coordinatore.

#### *L'attività didattica nei due Campus di Cesena e di Bologna*

Parallelamente, cresceva la responsabilità del gruppo nel far fronte, con una offerta didattica di qualità, alla richiesta di un numero crescente di allievi, che si orientavano verso un *curriculum* di studio in Ingegneria biomedica, soprattutto presso il *campus* di Cesena. Infatti, il numero di studenti che avevano scelto tale corso di studio qui era arrivato a 146 per la Laurea triennale (A.A. 2012/13) e a 62 per la Laurea magistrale (A.A. 2013/14), per mantenersi, negli anni successivi, sempre superiore ai 100 ed ai 50 studenti, rispettivamente, per le due lauree. A questi allievi si aggiungono, poi, circa 40-50 studenti ogni anno che, nella sede di Bologna, frequentano gli storici insegnamenti di Bioingegneria presso i corsi di laurea magistrale in Ingegneria Elettronica (*Curriculum* Bioingegneria Elettronica) e, dal 2010, Ingegneria Meccanica. Presso il *campus* di Bologna, inoltre, è stato attivato sin dal 2004 un Master di secondo livello in *Ingegneria Clinica*.

Per fornire un'offerta formativa di qualità, era fondamentale non solo l'accurata progettazione del *curriculum* di studi [4], [5], ma anche, come in ogni corso di ingegneria, la realizzazione di attrezzati laboratori didattici e scientifici, sia di base che avanzati, in cui il numero via via crescente di studenti potesse concretamente sperimentare le nuove tecnologie dell'Ingegneria biomedica.

Tra questi, oltre ad un laboratorio di base in *Ingegneria biomedica*, va citato il *Laboratorio di Ingegneria Cellulare e Molecolare per lo studio dei Bionanosistemi*, un gioiello della Facoltà e dell'Università di Bologna, apprezzato ed ammirato in Italia ed all'estero. Questo laboratorio fu ideato, realizzato ed animato, nel campus di Cesena, da Silvio Cavalcanti, uno dei pionieri della *Biologia sintetica* in Italia.

Ci sia consentito ricordarne sinteticamente la figura ed il ruolo nella Facoltà di Ingegneria, nell'Ateneo di Bologna e nel Gruppo Nazionale di Bioingegneria, ripercorrendo i momenti essenziali della sua vita accademica.

Nato a Cosenza nel 1958 e laureatosi con il massimo dei voti in Ingegneria Elettronica presso l'Università di Bologna, è stato, dapprima, titolare di un assegno di ricerca del *CNR*, poi ricercatore universitario di Bioingegneria, e, infine, professore associato nella stessa disciplina.

La sua attività didattica presso l'Università di Bologna si è sviluppata, nell'arco di più di vent'anni, come titolare di vari insegnamenti, sia presso le due Facoltà di Ingegneria, sia presso quella di Medicina e Chirurgia. In particolare, egli ha contribuito, fin dalla sua istituzione, all'offerta formativa dei corsi di studio in Ingegneria Biomedica presso il *campus* di Cesena, nei nuovi settori della Bioingegneria molecolare e cellulare e della Bioinformatica. La sua attività scientifica, svolta spesso in collaborazione con università ed industrie internazionali, ha seguito un coerente filo conduttore: dalla simulazione della fluidodinamica arteriosa in condizioni non stazionarie, all'interpretazione teori-





Figura 24. Silvio Cavalcanti ed Emanuele Giordano con gli studenti vincitori della medaglia d'oro nell'iGEM 2009.

ca ed alle applicazioni cliniche della variabilità cardiovascolare; dall'analisi della risposta cardiovascolare durante la terapia con rene artificiale allo studio teorico-sperimentale delle correnti ioniche nelle membrane cellulari. Infine, dallo studio dei *nanosistemi* è nata la sua ultima scommessa scientifica: la *biologia sintetica*. In pochi anni, egli ha realizzato il *Laboratorio di Ingegneria Cellulare e Molecolare per lo studio dei Bionanosistemi*, ove gli allievi potevano formarsi in questo nuovo settore della Bioingegneria, mediante attrezzature tra le più avanzate.

In particolare, ci piace ricordarlo in questo laboratorio mentre, poco più di un anno prima della sua scomparsa, festeggiava il *team* di

suoi allievi vincitori della medaglia d'oro *iGEM* (*international Genetically Engineered Machine competition*), nella competizione internazionale *iGEM 2009* tenutasi tra le migliori Università del mondo presso il *MIT* di Boston.

Sempre nella sede di Cesena era nato, fin dai primi anni, un laboratorio dedicato alla biomeccanica, con funzioni sia didattiche che di ricerca scientifica. In una sua sezione dotata di una macchina di prova universale, si svolgono tuttora caratterizzazioni meccaniche dei materiali da impianto, nonché dei tessuti biologici, offrendo in tal modo un'esperienza pratica agli allievi delle lauree triennali e magistrali. Il laboratorio è inoltre dotato di un sistema di acquisizione stereofotogrammetrico *Smart eMotion*, con due pedane di forza, per condurre esperimenti relativi all'analisi del movimento, nonché di un cicloergometro abbinato ad un pulsossimetro per lo studio dell'attività ed il metabolismo muscolare sotto sforzo.

Non da meno sono i laboratori presenti nel *campus* di Bologna, tra cui lo storico BIOLAB che risale alla prima metà degli anni Ottanta.

In particolare, presso il *Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione* è attivo, dal 2014, il *Personal Health Systems Lab*, dedicato alla progettazione, prototipazione e validazione su larga scala di microsistemi indossabili e di piattaforme mobili per la misura e la riabilitazione delle funzioni motoria e cognitiva. Il laboratorio è coinvolto in numerosi progetti regionali, nazionali ed europei, e vi si svolgono attività di ricerca relative all'impiego di metodologie e tecnologie dell'informazione e biomeccaniche per la soluzione di problematiche cliniche o per supportare l'invecchiamento sano e attivo. Le



Figura 25. Lo storico laboratorio BIOLAB in una foto dei primi anni Duemila.

attività didattiche e di ricerca relative all'analisi del movimento e alla biomeccanica in ambito sportivo si avvalgono, invece, del Laboratorio di Analisi del Movimento del *Centro Sportivo Record*.

Inoltre, presso il *Dipartimento di Ingegneria Industriale*, a partire dal 2011, è cresciuto un laboratorio, che si occupa di Biomeccanica ortopedica, e, più precisamente, del comportamento meccanico a diverse scale dimensionali dei tessuti scheletrici in condizioni sane o patologiche, nonché dell'ottimizzazione e validazione di dispositivi impiantabili. In questo laboratorio, dotato di tutte le procedure ed attrezzature per la gestione di tessuti biologici animali ed umani, si integrano le misure sperimentali con modelli numerici.

Questo *curriculum* formativo bolognese si avvale della presenza sul territorio di importanti centri di cura e di ricerca, quali gli Istituti Ortopedici Rizzoli e il Centro Protesi INAIL di Vigorso di Budrio. Con essi, dotati di personale ricercatore di eccellente livello e formato, in buona parte, dall'Alma Mater, sono attive convenzioni quadro per la promozione di attività sia didattiche che scientifiche.

*Gli interessi scientifici si ampliano*

Com'è naturale, gli interessi scientifici si sono oggi significativamente ampliati rispetto a quelli che caratterizzavano il nucleo iniziale di bioingegneria. Più precisamente attualmente essi si possono sinteticamente raggruppare nei seguenti filoni principali:

1. *Modellistica del sistema cardiorespiratorio*, integrato da meccanismi di regolazione;
2. *Modellistica della cinetica dei soluti* in emodialisi;
3. *Modelli neuro-computazionali* per lo studio dei processi cognitivi e dei disturbi neurologici;
4. *Bioingegneria della riabilitazione*;
5. *Digital Health*;
6. *Elaborazione di segnali* con particolare riferimento all'EEG;
7. *Elaborazione di immagini* biomediche (cerebrali e cardiache);
8. *Biomeccanica ortopedica*;
9. *Ingegneria cellulare e molecolare*.

### 2.29.5. Il ricordo di un maestro

Ci sia consentito, infine, di concludere questa presentazione con un affettuoso e doveroso ricordo del professor Enzo Belardinelli, vero maestro non solo di scienza, ma anche di vita.

Enzo Belardinelli svolse la sua opera prevalentemente nell'Università di Bologna, dapprima presso il *Centro Calcoli e Servomeccanismi*, poi presso l'*Istituto di Automatica* (da lui fondato nel 1969 e di cui fu il primo Direttore) ed infine presso il *Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica*, che contribuì a fondare insieme al professor Ercole De Castro.

Nato a Parma nel 1930 e laureatosi a Bologna in Ingegneria Industriale Elettrotecnica nel 1953, venne nominato assistente di Elettrotecnica nel 1958. Tenne dapprima insegnamenti nei settori delle Telecomunicazioni (*Radoricevitori*, sino all'A.A. 1958/59 e quindi *Radio-tecnica*, sino all'A.A. 1961/62) e dell'Informatica (*Calcolatrici Elettroniche*, sino all'A.A. 1965/66). Dal novembre 1962 si trasferì all'insegnamento di Controlli Automatici, allora tenuto dal Professor Giuseppe Evangelisti.

Nel 1964 risultò nella terna dei vincitori del primo concorso italiano di *Controlli Automatici*, con Antonio Ruberti (poi Ministro dell'Università e della Ricerca) ed Antonio Lepschy (maestro della scuola di Automatica all'Università di Padova).

Incaricato dell'insegnamento di *Bioingegneria* fin dal 1971, nel novembre 1984 si trasferì definitivamente su questa nuova area disciplinare. Infatti, sin dall'inizio degli anni Settanta si era dedicato interamente allo sviluppo della Bioingegneria italiana, di cui fu uno dei padri fondatori assieme ai colleghi Giuseppe Francini di Padova e Emanuele Biondi del Politecnico di Milano. Tale sfida fu da lui affrontata con quella passione, quel rigore intellettuale e quella capacità realizzatrice già dimostrata nelle precedenti avventure scientifiche, nelle quali la sua forte personalità innovatrice si era cimentata. Infatti, egli aveva già contribuito a far nascere a Bologna il settore dell'Ingegneria Informatica ed era stato il maestro della Scuola bolognese di Automatica.

Molteplici le iniziative nazionali da lui promosse tra gli anni Settanta e Novanta. Gli amici del Gruppo Nazionale di Bioingegneria ricordano ancora il successo delle scuole annuali di Bressanone da lui organizzate, su temi sempre di frontiera e di grande rilevanza scientifica. Essi rammentano, tra l'altro, i piacevoli incontri serali nei caratteristici ristoranti di Bressanone, dove si rivelavano appieno le sue non comuni doti umane, il suo

*humor* sottile e garbato, la sua attenzione ai problemi degli altri, il suo desiderio e la sua capacità di vivere in modo pieno ed intenso.

Enzo Belardinelli era non solo docente dotato di profonda conoscenza dei metodi dell'ingegneria, ma anche uomo di grande cultura, con interessi che spaziavano dalla *storia* alla *letteratura*, dalla *musica* alla *logica*, dalla *matematica* alla *filosofia*, addentrandosi, a volte, nella ricerca di qualcosa che andava al di là anche delle cose terrene.



Figura 26. Enzo Belardinelli in una serata conviviale.



Figura 27. Bettino Craxi conferisce il Diploma di prima classe con medaglia d'oro ai Benemeriti della Scuola, della Cultura e dell'Arte ad Enzo Belardinelli.

In riconoscimento della qualità e della rilevanza della sua opera di originale scienziato e di docente particolarmente efficace, ha ricevuto numerose pubbliche attestazioni, tra cui l'attribuzione, nel 1986, del Diploma di prima classe con medaglia d'oro per i Benemeriti della Scuola, Cultura ed Arte.

È impossibile dimenticare la sua capacità di affrontare i drammatici eventi degli ultimi anni della sua vita, minato nel fisico da una grave infermità, ma con intatte doti intellettuali e con la generosità e l'umanità di sempre: un esempio per tutti di vera forza d'animo e di rara dignità.



Figura 28. Il Rettore Pier Ugo Calzolari abbraccia Enzo Belardinelli.

### **Conclusioni**

In questa relazione sono stati illustrati gli eventi, gli uomini, nonché le attività didattiche e scientifiche che hanno caratterizzato questi primi cinquanta anni durante i quali si è sviluppato, presso la Scuola di Ingegneria dell'Alma Mater, un nuovo settore delle moderne tecnologie: l'Ingegneria Biomedica.

Quanto precedentemente esposto suggerisce le seguenti considerazioni conclusive.

Il successo di questa avventura accademica è sicuramente dovuto all'appassionato e intelligente impegno profuso dal personale universitario più strettamente coinvolto, ma anche alla presenza nel territorio di importanti realtà industriali, quali il distretto industriale di Bologna-Modena (la cosiddetta *Biomedical Valley*), nonché di grandi centri biomedici, quali gli *Istituti Ortopedici Rizzoli*, il *Centro Protesi INAIL* di Vigorso di Budrio, l'*Istituto delle Scienze Neurologiche*, etc. Infatti, tali realtà hanno sempre considerato la disponibilità di specifiche competenze bioingegneristiche un elemento fondamentale per sostenere e favorire la competitività delle loro strutture industriali e scientifiche. Non stupisce, quindi, la positiva osmosi tra Università e realtà territoriali, per di più disponibili a far partecipare il loro personale alle attività formative che si sono così arricchite di preziose esperienze sul campo.

La positiva accoglienza dei nuovi corsi di studio in Ingegneria Biomedica anche da parte degli studenti è imputabile certamente al fascino degli argomenti trattati, alla qualità della didattica ed alla presenza di laboratori modernamente attrezzati, ma anche alle buone prospettive di sbocchi professionali offerti dai corsi di studio in Ingegneria Biomedica, caratterizzati da uno spettro necessariamente ampio di contenuti ingegneristici.

Il progetto iniziale della Facoltà di realizzare, anche per l'Ingegneria Biomedica, due poli didattici nei due *campus* di Bologna e di Cesena è sostanzialmente attuato

nei fatti, anche se va ulteriormente perfezionato agendo, ovviamente in modo graduale, su diversi fronti: cioè, da un lato, dando al *curriculum* bolognese una esplicita denominazione bioingegneristica e, dall'altro, rendendo più appetibile il *campus* di Cesena mediante una logistica in grado di meglio attrarre studenti di valore, provenienti anche da altre regioni italiane.

## Bibliografia

1. E. Biondi, C. Cobelli (a cura di), *Storia della Bioingegneria*, Collana di Ingegneria Biomedica, vol. 6, Pàtron Editore, Bologna, 2001.
2. AA.VV., *Ricerche di Bioingegneria*, Rapporto interno dell'Istituto di Automatica, Pitagora Editore, Bologna, 1972.
3. M. Serafini, *A Pattern Recognition Method Applied to EEG Analysis*, *Computers and Biomedical Research*, vol. 6, pp. 187-195, 1973.
4. E. Biondi, C. Cobelli (a cura di), *La Formazione dell'Ingegnere Biomedico*, Collana di Ingegneria Biomedica, vol. 7, Pàtron Editore, Bologna, 2001.
5. G. Avanzolini, E. Biondi, C. Cobelli, M. Bracale, P. Morasso (a cura di), *La Formazione dell'Ingegnere Biomedico nel 2003*, Pàtron Editore, Bologna, 2002.

## 2.30. L'INGEGNERIA CHIMICA A BOLOGNA... E NON SOLO

*Francesco Santarelli*

L'ingegneria chimica, fin dalla sua nascita a cavallo del XIX e XX secolo, si è caratterizzata come un settore dell'ingegneria focalizzato sui processi industriali di trasformazione, quelli dell'industria chimica *in primis*, superando la visione parcellizzata allora tipica delle tecnologie con una visione sistemistica che di queste coglieva e sviluppava gli elementi comuni.

La presentazione segue il percorso dell'evoluzione di questo approccio attraverso le fasi delle "Operazioni Unitarie" e dei "Fenomeni di trasporto" che le hanno consentito di raggiungere quel livello di flessibilità e di efficacia che le consentono oggi di svolgere un ruolo di primo piano in tanti settori innovativi.

In questa visione del tutto generale viene inquadrato lo sviluppo dell'ingegneria chimica in Italia e in particolare a Bologna.

### 2.30.1. Introduzione

L'ingegneria chimica è per la maggior parte dei non addetti ai lavori un oggetto misterioso che rimanda a un settore della chimica attento agli aspetti industriali di questa e assimilabile alla chimica industriale.

Per un'appropriata collocazione dell'ingegneria chimica all'interno dell'area delle ingegnerie sarebbe sufficiente un'analisi grammaticale dei termini "ingegneria chimica" e "chimica industriale": nel primo il sostantivo è ingegneria con chimica come aggettivo mentre nel secondo il sostantivo è chimica con industriale come aggettivo.

Al di là di questa puntualizzazione formale, più concretamente le due aree disciplinari possono essere caratterizzate in base all'oggetto prevalente delle loro applicazioni.

L'ingegneria chimica è quel settore dell'ingegneria *che tratta i processi che a scala industriale modificano le caratteristiche fisiche e/o chimiche della materia*; la chimica industriale studia i processi chimici (reattività) ai fini della sintesi, trasformazione e industrializzazione.

Pur nella schematicità delle definizioni appena date e anche tenendo conto delle interazioni tra le due aree disciplinari si può ritenere ancora sostanzialmente corretta la definizione data nei primi anni del XX secolo da M.C. Whitaker, professore di Chimica Industriale alla Columbia University e vicepresidente dell'A.I.Ch.E. [1]:

distinction [must] be made between the education of a chemical engineer and that of an industrial chemist. The chemical engineer would study both chemical processes and unit operations, while the industrial chemist traditionally learned specific procedures for producing bulk quantities of feedstock chemicals.

Dall'affermazione che l'ingegnere chimico analizza, progetta, realizza gestisce processi nei quali si realizza una modifica dello stato fisico e/o chimico della materia ne consegue che la caratterizzazione dell'ingegneria chimica risiede nell'oggetto delle sue applicazioni nelle quali reazioni chimiche e/o processi di scambio tra fasi si presentano secondo modalità fenomenologicamente diverse che vengono però affrontate riconducendo la specificità della situazione a una visione del tutto generale.

L'ingegneria chimica è riconosciuta come settore dell'ingegneria a livello internazionale:

- negli USA l'American Institution of Chemical Engineers (A.I.Ch.E) è con ASCE, ASME, IEEE una delle quattro principali società professionali dell'ingegneria;
- in UK l'Institution of Chemical Engineers (IChemE) ha come oggetti e scopi della sua attività:

To promote, foster and develop the general advancement of the science of chemical engineering in all its branches as an end in itself and as a means of furthering the scientific and economic *development and application of processes in which chemical and physical changes of materials are involved* and to promote, assist, finance and support such research, investigation and experimental work in chemical engineering as the Institution may consider likely to conduce to those ends and to the benefits of the community at large.

- la European Federation of Chemical Engineering (EFCE) «is a non-profit association, the object of which is to promote co-operation in Europe between non-profit-making professional scientific and technical societies for the general advancement of chemical engineering and as a means of furthering the development of chemical engineering».

### 2.30.2. Nascita dell'ingegneria chimica

Numerose sono le rassegne che trattano della storia dell'ingegneria chimica e in esse sono frequenti i riferimenti che rimandano ad attività svolte già in tempi remoti (processi di fermentazione già ricordati nella Bibbia) o illustrate in testi XVI secolo (Biringuccio, Agricola). Ci si limita qui a segnalare le rassegne di Peppas e di Astarita [1, 2, 3].

Più realisticamente la nascita e lo sviluppo dell'ingegneria chimica sono da ritenere in stretta connessione con l'evoluzione della industria chimica, a sua volta strettamente collegata alla evoluzione del settore produttivo in considerazione del ruolo insostituibile che i prodotti dell'industria chimica hanno per un'ampia serie di produzioni. In particolare un significativo sviluppo industria chimica si realizza nella seconda metà del XIX secolo con un sensibile aumento delle produzioni a seguito dell'incremento della domanda da altri settori produttivi (acido solforico, carbonato di soda, a sostegno di specifiche produzioni quali vetrerie, industria tessile, detergenza...).

Fondamentale per questa evoluzione fu il grande sviluppo della ricerca chimica nelle università tedesche a partire dai primi anni del XIX secolo: le conseguenti

modifiche delle produzioni e dei sistemi produttivi non determinarono tuttavia nel mondo germanico il sorgere di nuove figure professionali bensì una combinazione/collaborazione tra i distinti settori dell'ingegneria meccanica e della chimica.

È invece nel mondo anglosassone (Regno Unito e USA) che si afferma l'esigenza di una figura professionale con competenze specifiche che superino empirismo e approcci qualitativi per fronteggiare i problemi posti dal passaggio di scala e dalla introduzione di processi continui in sostituzione di precedenti produzioni discontinue: è in questo contesto che nasce e si sviluppa l'ingegneria chimica.

### ***I primi passi dell'ingegneria chimica in Gran Bretagna***

È in Gran Bretagna che muove i primi passi un *corpus* organico di approccio ai problemi di produzione che superi la visione tradizionale legata alle tecnologie per i singoli settori produttivi con particolare attenzione al ruolo dell'ingegneria e al passaggio di scala.

Paladino di questo cambio di paradigma è George E. Davis, una figura poliedrica di tecnico e imprenditore che maturò l'idea di ingegneria chimica negli anni Ottanta del XIX secolo: «Chemical Engineer is a person possessing knowledge of chemistry, physics and mechanics and who employed that knowledge for the utilization of chemical reaction on the large scale».

Nella sua visione i problemi ingegneristici andavano organizzati intorno a “basic operations” comuni a molti di essi: “moto dei fluidi, scambio di calore, estrazione, assorbimento, distillazione...” secondo quindi lo schema che successivamente sarebbe stato definito di “operazioni unitarie”.

Estraneo al mondo accademico, presentò la sua impostazione in una serie di lezioni tenute nel 1887 alla Technical School di Manchester (l'attuale UMIST) e pubblicate separatamente nel Chemical Trade Journal.

Solo nel 1901 fu pubblicata una prima edizione del *Handbook of Chemical Engineering*, una seconda edizione del quale, in due volumi, apparve nel 1904.

La sua visione ebbe scarsa diffusione in Europa ma trovò invece più ampia diffusione negli USA.

A conferma della modernità della sua visione è da segnalare l'attenzione posta alla riduzione di emissioni inquinanti che gli derivava dalla sua attività di ispettore per l'attuazione dell'“Alkali Act”: «The aim of all chemical procedures should be the utilisation of everything and the avoidance of waste. It is often cheaper to prevent waste than to attempt to utilise a waste product».

### ***I primi passi dell'ingegneria chimica negli USA***

Negli USA sul finire del XIX secolo erano già presenti in diverse università programmi definiti come “Ingegneria chimica” anche se con contenuti variabili e legati a una visione essenzialmente chimica.

Vanno ricordati sia l'attivazione al MIT per il periodo 1888-1890 del Course X “Chemical Engineering” (L.M. Norton) sia la fondazione avvenuta nel 1908 dell'A.I.Ch.E., che almeno inizialmente operò con forti sovrapposizioni con l'ACS (American Chemical Society).



Il contributo determinante per la nascita dell'ingegneria chimica è dovuto al MIT [5, 6] e in particolare possono essere individuate in William Walker (1869-1934), Warren Lewis (1882-1975), e Arthur D. Little, le figure di punta che definirono l'ingegneria chimica come una specifica professione con un proprio metodo di approccio ai problemi e alla formazione.

Attorno a William H. Walker operarono più giovani colleghi come Warren K. Lewis e William H. McAdams: nel loro *curriculum* è presente un periodo di formazione in Germania che li portò a promuovere un approfondimento con attività sperimentale di tesi sui principi dei processi fisici dell'ingegneria chimica. Essi pubblicarono nel 1923 il testo *Principles of Chemical Engineering*, alla cui impostazione fanno ancora riferimento concetti che entrano nella preparazione di base degli ingegneri chimici.

Importante è anche il ruolo svolto da Arthur D. Little, consulente industriale, imprenditore, che, amministratore a MIT, nel 1915 usa per la prima volta il termine "unit operations".

### ***Sviluppo e affermazione dell'ingegneria chimica***

L'impostazione concettuale e le conseguenti procedure dell'ingegneria chimica al di là della naturale diffusione nell'industria chimica trovarono successivamente applicazione in altri settori, in particolare:

- nel settore petrolifero a seguito della evoluzione dei sistemi di raffinazione (anche in questo caso in sintonia con il passaggio a sistemi continui e a progressi nelle operazioni di cracking: cracking termico continuo dopo la Prima guerra mondiale e Fluid Catalytic Cracking (FCC) negli anni Trenta);
- nell'emergere della petrolchimica.

La efficacia operativa delle metodologie adottate trovò inoltre riconoscimento nel ruolo guida svolto da ingegneri chimici in rilevanti progetti strategici USA durante la Seconda guerra mondiale (progetto Manhattan, produzione SBR).

Nello sviluppo dell'impostazione iniziale sono emersi alcuni aspetti che hanno contribuito a caratterizzare più completamente l'ingegneria chimica. Tra questi è il caso di segnalare:

- la necessità, per poter effettuare la trattazione quantitativa sulle base di impostazioni di carattere generale, di disporre di dati specifici per le singole sostanze e loro miscele che ha portato a un particolare approfondimento della termodinamica specie quella dei sistemi multicomponenti;
- l'approfondimento della comprensione della reattività chimica effettuato in contiguità con chimici industriali ma con specificità connesse alla scala (effetti fluidodinamici, di trasporto di energia, di massa) che ha portato allo sviluppo della *reaction engineering* [7];
- la crescente complessità ed interconnessione dei processi che ha reso fondamentale gli aspetti di ottimizzazione del processo e di architettura di processo;
- la crescente automazione degli impianti che ha reso essenziale l'attenzione alla realizzazione del controllo di processo.

Comune a tutte le forme di attività nelle quali si è trovata a operare è l'immediata e continua attenzione alla utilizzazione di strumenti informatici per la gestione di

informazioni chimico-fisiche e per l'adeguamento degli strumenti di calcolo e delle procedure utilizzate.

### ***La visione dei fenomeni di trasporto e lo sviluppo delle scienze dell'ingegneria chimica***

Nel corso degli anni Cinquanta del secolo scorso l'approccio sistemistico che fin dalle origini aveva caratterizzato l'ingegneria chimica si estende a una visione locale (microscopica a livello di mezzo continuo) dei fenomeni e trova la sua "bibbia" nel testo *Transport Phenomena* proposto nel 1960 da Bird, Stewart e Lightfoot della Università del Wisconsin [8].

Si basa sul fatto che in tutti casi si ha trasporto di materia e/o di energia e (in sistemi in fase fluida) di quantità di moto per i quali possono essere in evidenza meccanismi simili (trasporto molecolare, trasporto convettivo, trasporto turbolento). Le leggi generali (basate su principi di conservazione) richiedono per la loro applicazione informazioni sul comportamento di classi di materiali (equazioni costitutive) e a valle sulle proprietà specifiche del sistema considerato.

Questa impostazione è alla base delle "Scienze dell'ingegneria chimica" che ne consente la utilizzazione in nuovi ambiti applicativi anche lontani dall'originario riferimento alle applicazioni chimiche determinando una differenziazione, anche se con ampi livelli di mutua interazione, tra l'attività legata alla professione e l'attività di ricerca.

Alla luce dell'evoluzione delle sue aree di intervento è condivisibile una recente definizione dell'ingegneria chimica [9]: «Chemical Engineering is the field of applied science that employs physical, chemical and biochemical *rate processes* for the betterment of humanity».

Mentre la finalizzazione è o dovrebbe essere comune a tutte le ingegnerie sono i processi cinetici a costituire l'aspetto caratterizzante dell'ingegneria chimica e la modellazione matematica dei fenomeni è lo strumento con il quale si trasformano in forma quantitativa i processi fisici, chimici e biochimici considerati.

In sintesi la storia dell'ingegneria chimica può essere così rappresentata.

Nella prima metà del XX secolo l'ingegneria chimica è stata prevalentemente finalizzata a produzioni su grande scala di prodotti chimici.

La capacità di trattare situazioni nelle quali intervengono processi cinetici ha consentito agli ingegneri chimici di operare in un'ampia varietà di contesti, mantenendo la caratteristica di una visione di carattere generale dei problemi.

L'attuale situazione può essere così schematizzata:

- *Settori "tradizionali"*: Processi di separazione, Intensificazione dei processi, Sicurezza e Tutela Ambientale, Ottimizzazione energetica, Dinamica e controllo di apparati e Processi, Ingegneria dei polimeri, Industria agroalimentare...

- *Settori "innovativi"*: Biotecnologie, Nanotecnologie, Ingegneria Biomedica, Materiali innovativi, Microfluidica...

Malgrado la forte differenziazione che è talvolta presente fra gli ingegneri chimici di oggi le radici culturali rimangono comuni [10].

### 2.30.3. L'industria chimica in Italia

Passando alla situazione italiana è opportuno premettere alcuni brevi cenni sulla nostra industria chimica.

La “grande” (“grandi volumi di produzione”) industria chimica italiana è stata caratterizzata da un percorso tormentato nel quale fasi di crescita e di crisi sono state fortemente condizionate dall'intervento diretto o indiretto del potere politico: attualmente si è in presenza di un frazionamento societario all'interno di gruppi in prevalenza internazionali.

Dall'inizio del XX secolo alla Seconda guerra mondiale la situazione è caratterizzata da una produzione crescente di prodotti prevalentemente inorganici (fertilizzanti, coloranti, soda, acido solforico...).

Un ruolo dominante è stato quello del gruppo Montecatini. Tra gli elementi innovativi da esso introdotti ci fu il processo Fauser-Montecatini (1922) per la produzione di ammoniaca.

Dalla metà anni Cinquanta si segnalano:

- lo sviluppo segnato da crescita e trasformazione con passaggio a petrolchimica, aumento potenzialità degli impianti, passaggio a processi continui, automazione degli impianti;

- la comparsa di nuovi attori: ANIC, Edison, Montecatini Edison (1966) (successivamente Montedison dal 1971);

- tra i processi innovativi la sintesi del polipropilene isotattico (1954, Natta).

Particolarmente tormentate le vicende degli anni Ottanta-Novanta, nei quali si verifica dapprima la scalata di Montedison da parte di Raul Gardini (1986), la fusione Montedison-ANIC in Enimont (1989) e successivamente il fallimento dell'operazione e la nascita di EniChem, il suicidio di Gardini, lo smagrimento di EniChem con cessione di alcune aree di attività (fertilizzanti, detergenza, chimica secondaria).

Nello stesso periodo si ha pure la cessione a Shell della quota Montedison nella joint venture Montell operante nel settore olefine.

Attualmente si ha la presenza di imprese di medie dimensioni ma con solido posizionamento internazionale e con impegno per la “Green Chemistry”: Mapei, Novamont, Versalis, Mossi Ghisolfi, per restare nel territorio bolognese, il promettente sviluppo di Bio-On, e, anche se ora con il marchio “BASF”, le produzioni di intermedi avviate a Pontecchio da imprenditori locali.

### 2.30.4. Ingegneria e Ingegneria Chimica in Italia

Per quanto riguarda a livello nazionale la formazione degli ingegneri, Regie Scuole di Ingegneria sorsero in tempi diversi successivamente alla formazione dello stato unitario in diverse città: Torino (1860), Milano (1863), Napoli, Palermo, Roma, Padova, Bologna, Genova, Pisa (1863-1913).

Esse erano organizzate su base locale e autonome rispetto alle Università.

Una prima uniformizzazione delle diverse situazioni si verificò nel 1923 con la legge Gentile.

Solo nel 1935 con la legge R.D.L. 20/6/1935, n. 1071 *Modifiche ed aggiornamenti al testo unico delle leggi sulla istruzione superiore*, le Scuole furono trasformate in Facoltà di Ingegneria basate su:

- Biennio comune a facoltà di Scienze...
- Triennio con due sezioni: I) *Ing. Civile* (sottosezioni: edile, trasporti idraulica, mineraria); II) *Ing. Industriale* (sottosezioni: aeronautica, chimica, elettrotecnica, meccanica, navale).

Corsi di laurea autonomi furono introdotti nell'ordinamento delle facoltà di Ingegneria con la riordino degli studi delle Facoltà di Ingegneria del 1960 (D.P.R. 53/60) e successivamente, a seguito del D.P.R. 382/80, furono avviati i consigli di corso di studio.

### ***L'Ingegneria Chimica***

Numerose sono le rassegne che presentano una panoramica dell'evoluzione dell'Ingegneria Chimica in Italia: oltre alla già citata rassegna di Astarita [3] si rimanda a quelle riportate in bibliografia come [10, 11, 12, 13].

Sottosezioni di Ingegneria Chimica del Corso di Laurea – o sezione – in Ingegneria Industriale furono attivate nelle seguenti Scuole:

- 1901: Politecnico di Milano;
- 1902: Scuola di Ingegneria di Napoli (sezione elettrochimica);
- 1908: Politecnico Torino.

Salvo rare eccezioni la formazione era prevalentemente affidata a Chimici (applicati e/o industriali).

Con la riforma del 1960 e l'attivazione del corso di laurea autonomo all'interno delle Facoltà si avvia il superamento della tutela da parte dei Chimici «in qualche caso illuminata, più spesso reativa e strumentale» [14] e una caratterizzazione della formazione con contenuti tipici della cultura di ingegneria chimica quale si era sviluppata a livello internazionale.

### *L'Ingegneria Chimica e l'attuazione del D.P.R. 53/60*

Data la rilevanza delle modifiche che il D.P.R. ha introdotto in generale nell'ordinamento degli studi di Ingegneria e quindi anche in quelli di Ingegneria Chimica è opportuno richiamare alcuni elementi caratterizzanti la situazione specifica dell'Ingegneria Chimica come presentati in una recente rassegna [13].

Hanno contribuito alla formulazione del D.P.R. del 1960 professori di Impianti Chimici e di Chimica Industriale di varie sedi: Giulio Natta (Milano), Giovanni Malquori (Napoli), Rolando Rigamonti (Torino), Giovanni B. Bonino (Genova), Ippolito Sorgato (Padova), Mario Baccaredda (Pisa), Luigi Manfredini (Bologna), Eugenio Mariani (Roma).

Tra questi si segnalano in particolare i primi due per il ruolo da essi svolto per favorire la nascita e lo sviluppo di un'ingegneria chimica allineata con la situazione internazionale.

Nelle Facoltà entrò un primo gruppo significativo di “giovani professori” aperti all'impostazione internazionalmente consolidata dell'ingegneria chimica: Franco P. Foraboschi, Ugo Lelli (Bologna); Carlo Trevisoi, Giuseppe Ferraiolo (Genova); Leopoldo Massimilla, Gianni Astarita (Napoli); Mario Dente, Italo Pasquon, Sergio Carrà (Milano); Alberto Paratella, Gian Berto Guarise (Padova); Raffaele Ercoli (Palermo); Gianfranco Nencetti (Pisa); Alessandro Giona, Enzo Sebastiani (Roma); Agostino Gianetto, Ugo Fasoli (Torino).

In molte sedi si verificò anche una significativa modifica del *curriculum* in Ingegneria Chimica sulla base di esperienze internazionali realizzate a seguito di periodo di formazione all'estero, già negli anni Cinquanta, di alcuni pionieri e di iniziative di sprovincializzazione quali la scuola estiva sui Fenomeni di Trasporto organizzata a Varese dall'Accademia dei Lincei.

Ne conseguì una significativa innovazione della didattica con l'introduzione di nuovi insegnamenti e una diversa finalizzazione di insegnamenti esistenti come risulta dall'analisi a suo tempo svolta da Leopoldo Massimilla<sup>1</sup> che così riporta:

#### *Introduzione di nuovi insegnamenti*

*Principi di Ingegneria Chimica:* [...] ha lo scopo di fornire agli allievi i mezzi per lo studio quantitativo dei fenomeni per lo più fisici, sia su scala macroscopica che microscopica che avvengono nelle apparecchiature chimiche.

*Teoria e Sviluppo dei Processi Chimici:* [...] tratta della programmazione della ricerca e soprattutto della ricerca su scala pilota, della teoria dei modelli dell'utilizzazione dei dati forniti dall'impianto pilota per la progettazione dell'impianto industriale e della ricerca delle condizioni optimum di funzionamento degli impianti industriali.

#### *La nuova finalizzazione di insegnamenti esistenti*

*Chimica Industriale:* superamento della visione puramente descrittiva dei processi dell'industria chimica e [gli insegnamenti] assumono pertanto un carattere altamente formativo più che informativo.

Nel 1973 fu fondato il GRICU (Gruppo Ricercatori di Ingegneria Chimica dell'Università) che da allora, sia pure attraverso alterne vicende, ha portato a livello nazionale la voce della comunità degli Ingegneri Chimici Universitari nelle sedi nelle quali vengono discussi e/o decisi punti riguardanti l'organizzazione universitaria ed ha inoltre svolto un ruolo di coordinamento dell'organizzazione didattica delle diverse sedi.

---

<sup>1</sup> L. Massimilla, *L'evoluzione dell'insegnamento dell'Ingegneria Chimica a livello universitario*, relazione al II convegno dei Chimici d'Italia, Milano, ottobre 1962, come citato da G. Russo [13].

### 2.30.5. L'Ingegneria Chimica a Bologna

Le vicende dell'Ingegneria Chimica bolognese sono state oggetto di una comunicazione [14] alla quale si è fatto riferimento per le notizie storiche di seguito riportate.

Caso unico nel panorama universitario nazionale, a Bologna l'Ingegneria Chimica nasce direttamente come sezione indipendente all'interno della facoltà di Ingegneria per rispondere alle necessità della crescita dell'industria chimica italiana alla fine degli anni Trenta.

La nuova sezione chimica si affianca alle esistenti sezioni di Ingegneria Civile (sottosezioni: edile, idraulica e trasporti) e Ingegneria Industriale (sottosezioni: meccanica ed elettrotecnica).

Nella relazione annuale del Rettore, professor Alessandro Ghigi, predisposta per l'apertura dell'A.A. 1941/42 e che «per superiore disposizione [...] non è stata letta, come di consueto, nella cerimonia di apertura dell'anno accademico che ha avuto l'impronta militare propria del momento» si legge: «in ordine alle esigenze autarchiche sono state istituire due nuove sezioni di Ingegneria, quella Chimica nel 1939-40 e quella mineraria nel 1940-41».

Successivamente, il Consiglio di Facoltà di Ingegneria nella seduta del 28/11/1940 riconosceva «necessario provvedere in modo adeguato all'insegnamento di Impianti industriali Chimici materia obbligatoria per la sezione di Ingegneria Chimica e di molto interesse per la Sezione Mineraria e per la Sezione Industriale», destinando alla disciplina un posto di professore di ruolo e chiamando a coprirlo l'ingegner Luigi Manfredini al quale veniva anche affidata la direzione di un nuovo Istituto (Istituto di Impianti Industriali Chimici) distinto da quello di Chimica Applicata. È da notare che l'Istituto così attivato non era semplicemente monocattedra, ma addirittura *ad personam*, essendo il suo organico costituito dal solo professor Manfredini.

A seguito di queste decisioni Bologna presenta due peculiarità rispetto al quadro nazionale: è fino alla riforma del 1960 l'unica sede ad avere l'ingegneria chimica come sezione indipendente anziché come sottosezione dell'Ingegneria Industriale e fino alla metà degli anni Cinquanta il professor Manfredini è l'unico ordinario di Impianti Chimici.

Il primo laureato in Ingegneria Chimica fu Oddo Pierfederici, che nell'A.A. 1941/42 discusse la tesi "Fabbricazione di prodotti azotati da ligniti nazionali".

#### **L'organizzazione didattica**

Nel 1960, a seguito del generale riordino degli studi per effetto del D.P.R. 53/60, è stato attivato il corso di laurea in Ingegneria Chimica che da allora ha rappresentato il riferimento dell'organizzazione didattica adottando successivamente per la sua struttura le modifiche imposte dall'evoluzione del quadro normativo.

Particolarmente significative le variazioni della struttura organizzativa a seguito della introduzione dei due livelli di laurea introdotte a partire dall'A.A. 2001/02.

Il percorso del primo livello è stato inizialmente fornito come *Laurea in Ingegneria Chimica (L)* e dal 2008/09 come *Laurea in Ingegneria Chimica e Biochimica*.

Il percorso di secondo livello è stato fornito come *Laurea in Ingegneria. Chimica e di Processo*, indipendentemente della classificazione dello stesso come laurea specialistica o laurea magistrale.

Per quanto riguarda il terzo livello di formazione i docenti della sede bolognese hanno inizialmente promosso l'attivazione del dottorato in Ingegneria Chimica in consorzio con altre sedi, realizzato in questa modalità per oltre un decennio, e successivamente sviluppato su base locale. Attualmente, in conformità con le disposizioni ministeriali, il percorso di dottorato in Ingegneria Chimica si colloca all'interno del dottorato del Dipartimento di afferenza.

Particolarmente attiva la partecipazione in fase sia di promozione sia di gestione di

- percorsi formativi Internazionali e con rilascio del titolo congiunto con sedi straniere;

- percorsi formativi *post lauream* in collaborazione con società operanti nell'industria di processo.

Da segnalare, nell'ambito della collaborazione didattica con altri corsi di studio l'attivazione nel 1981 dell'insegnamento di "Tecnologia chimica del disinquinamento", primo insegnamento di Facoltà esplicitamente centrato su temi di protezione ambientale.

### ***Il manifesto degli studi***

La caratterizzazione industriale dell'ingegneria chimica appare immediatamente evidente all'atto dell'avvio della sezione specifica: il programma dell'insegnamento di Impianti Industriali chimici conseguentemente attivato, riportato nell'annuario 1941/42 prevede infatti: «operazioni unitarie servizi di fabbrica, criteri economici di progettazione e gestione degli impianti, criteri di organizzazione del lavoro, protezione del lavoro e igiene», contenuti che con i dovuti aggiornamenti possono ancora essere ritenuti attuali

Fino ai primi anni Sessanta fu prevalente la formazione erogata da Chimici Applicati e Organici e solo a seguito della riorganizzazione del 1960 si ebbe l'introduzione dell'insegnamento di Principi di Ingegneria Chimica.

A partire dalla fine degli anni Sessanta, a seguito anche dell'attivazione delle cattedre di Principi di Ingegneria Chimica e Impianti Chimici, il manifesto degli studi fu maggiormente centrato su una impostazione tipica dell'ingegneria chimica sia con l'introduzione di nuovi insegnamenti sia con una finalizzazione di alcuni di quelli esistenti [15].

I contenuti dell'offerta didattica così caratterizzata hanno subito frequenti aggiornamenti in conseguenza di una continua attenzione allo sviluppo tecnologico e all'evoluzione del mondo produttivo.

### ***L'organizzazione***

A partire dal citato Istituto Impianti Industriali Chimici le competenze centrali dell'ingegneria chimica hanno trovato collocazione in una struttura organizzativa culturalmente omogenea la cui denominazione ha subito variazioni a seguito di mo-

difiche del quadro di riferimento generale. Si sono pertanto succedute le seguenti denominazioni:

Istituto Impianti Chimici (1960); Dipartimento Ingegneria Chimica e di Processo DICP (1988); Dipartimento di Ingegneria chimica, Mineraria e delle tecnologie ambientali – DICMA (1995), che dal 2008 ha operato nella nuova sede di via Terracini.

Una più marcata variazione dell'assetto organizzativo si è avuta a seguito della riorganizzazione dei Dipartimenti di Unibo avviata a seguito della “legge Gelmini” e dal 2012 l'Ingegneria Chimica si colloca all'interno del Dipartimento Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali – DICAM.

### ***I principali settori di ricerca sviluppati nell'ambito della Ingegneria Chimica a Bologna***

L'attività di ricerca sviluppata nell'ambito dell'ingegneria chimica è ampia e articolata, spaziando da tematiche tipiche delle Scienze dell'Ingegneria chimica a settori di più immediata ricaduta industriale. In ogni caso le attività sono svolte con ampi collegamenti con realtà accademiche e produttive ottenendo anche significativi riconoscimenti a livello internazionale:

- Diffusione in polimeri;
- Processi di separazione (in particolare a membrana);
- Miscelazione e fluidodinamica multifase;
- Fotocatalisi e processi di intensificazione collegati;
- Elettrochimica;
- Analisi di rischio di incidenti rilevanti;
- Sicurezza negli impianti industriali;
- Analisi di sostenibilità in fase progettuale;
- Bonifica di terreni inquinati.

### ***I protagonisti dell'Ingegneria Chimica bolognese***

Al termine di questa panoramica è il caso di ricordare quanti hanno avviato e consolidato l'ingegneria chimica nella nostra sede, di presentare quanti attualmente assicurano e in futuro assicureranno la multiforme vitalità di questo settore culturale e scientifico.

In un ideale albero genealogico potremo riconoscere, tra i primi:

*I precursori:* L. Manfredini; G.B. Bonino;

*Prima generazione:* F.P. Foraboschi; U. Lelli, C. Trevissoi, A.Gatta<sup>2</sup>;

*Seconda generazione:* F. Magelli, C. Gostoli, F. Santarelli, G.C. Sarti, G. Spadoni, C. Stramigioli, G. Pasquali.

Avendo avuto modo di conoscere direttamente e di apprezzare tutti i citati come appartenenti alla prima e seconda generazione mi permetto tuttavia di ricordare in

---

<sup>2</sup> Hanno operato nell'ambito dell'Ingegneria Chimica nella fase iniziale del loro percorso accademico, sviluppatosi poi in altri settori dell'ingegneria, i colleghi: A. Cocchi, I. Di Federico, S. Salvigni, A. Vaccari, F. Cesari.



particolare due tra i colleghi scomparsi, il professor Foraboschi come essenziale riferimento della mia formazione accademica e il professor Magelli al quale un parallelo percorso accademico mi ha legato di una particolare amicizia.

Tra i secondi:

*Nuova generazione:* V. Cozzani, F. Doghieri, A. Paglianti, G. Montante, G. Camera Roda, S. Bandini, M.G. De Angelis, M. Giacinti, E. Salzano, A. Tugnoli, M. Nocentini, G. Antonioni, C. Boi, S. Bonvicini, M. Minelli, D. Frascari, V. Casson Moreno;

*Futura generazione:* allievi in formazione nei corsi di dottorato e nei corsi di studio.

## Bibliografia

1. N.A. Peppas, *The First Century of Chemical Engineering*, in <https://www.sciencehistory.org/distillations/magazine/the-first-century-of-chemical-engineering>.
2. G. Astarita, *Past, Present and Future of Chemical Engineering* in «Chem. Engng Fundamentals», vol. 1, n. 1, 3-8.
3. G. Astarita, *History of Chemical Engineering in Italy*, Symposium on History of Chemical Engineering of the 177<sup>th</sup> ACS National Meeting, Honolulu, april 1979.
4. Science History Institute, *George E. Davis*, in <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/george-e-davis>.
5. M.J. Chelemer, *Chemical Engineering at MIT*, in Chemical Engineering Progress, January 1988, 27-40.
6. <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/arthur-d-little-william-h-walker-and-warren-k-lewis>.
7. L.E. "Skip" Scriven, *When Chemical Reactors were admitted and earlier Roots of Chemical Engineering*, Ohio State University, 2003.
8. R.B. Bird, W.E. Stewart, E.N. Lightfoot, *Transport Phenomena*, J. Wiley & Sons, New York, 1960.
9. M.M. Denn, *Chemical Engineering - an Introduction*, Cambridge University Press, New York, 2012, p. 1.
10. G. Marrucci, *Dall'Ingegneria + Chimica all'Ingegneria Chimica*, Atti del I Convegno Nazionale "Storia dell'ingegneria", Napoli, 8-9 marzo 2006.
11. A.R. Giona, *L'ingegneria Chimica in Italia*, «Cultura e Scuola», n. 107, luglio-settembre 1988, 205-214.
12. S. Zanelli, *Ingegneria Chimica in Italia. Che fare?*, Lectio magistralis, Pisa, 21/10/2010.
13. G. Russo, *L'ingegneria Chimica in Italia, la lezione americana*, comunicazione in Giornata di Studio "La didattica dell'ingegneria chimica", Bologna, 4/7/2013.
14. F.P. Foraboschi, *L'ingegneria chimica nell'Università di Bologna*, intervento alla Award Ceremony - 9<sup>th</sup> Centennial Lectures in Chemical Engineering, Bologna, 29/6/1988.
15. *Relazione della Commissione di studio per il riordinamento didattico della Sezione di Ingegneria Chimica, eletta dall'Assemblea di corso di Laurea del 12 dicembre 1968*, archivio personale.

## 2.31. L'INGEGNERIA MINERARIA ALL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Paolo Macini, Ezio Mesini*

### 2.31.1. Ingegneria e cultura mineraria in Italia tra Sette e Ottocento

Il termine “ingegneria mineraria” oggi indica il complesso di pratiche, teorie, scienze e tecnologie impiegate per l'estrazione, il trasporto e il trattamento delle materie prime minerali presenti in natura – siano esse solide, fluide, gassose, energetiche o non energetiche. Caratteristica della pratica dell'ingegneria mineraria moderna è la sua interdisciplinarietà e la stretta associazione con diversi settori tecnologici, quali, ad esempio, metallurgia, preparazione dei minerali, meccanica delle macchine, elettrotecnica, idraulica e meccanica dei fluidi del sottosuolo, geologia e mineralogia, geotecnica e meccanica delle rocce, topografia, geofisica, etc. Come vedremo, storicamente la formazione dell'ingegnere minerario è sempre stata terreno di convergenza e intersezione di vari saperi.

Se non è facile definire con precisione cosa sia un “ingegnere” (e forse ciò può essere specificato solo relativamente a un certo periodo storico), ancor meno è seguire la storia, tortuosa e variegata, che ha caratterizzato la trasmissione delle conoscenze che oggi chiamiamo “ingegneristiche”.

Come è noto, il termine “ingegnere” discende dal latino altomedioevale *ingeniator* e *ingenium* (entrambi dal verbo *ingignere*, poi *ingeniare*), termine che indica sia un generico “congegno”, vuoi un meccanismo o anche una macchina bellica, sia una certa capacità o forma mentale indispensabile per costruire strutture, ideare e costruire materiali, muovere o sollevare masse, o creare dispositivi e sistemi. È fuor di dubbio che la letteratura storica, ma anche quella scientifica, sia sempre stata alquanto propensa a generalizzare i termini “ingegneria” ed “ingegnere”, spesso comparandoli impropriamente tra loro relativamente a periodi storici molto lontani, o riferendoli a contesti politici e sociali differenti, se non anche a specializzazioni funzionali e tecniche diverse: pratica cui anche gli autori della presente nota spesso non si sottraggono.

Da sempre l'umanità ha utilizzato, più o meno sistematicamente, le più svariate materie prime contenute nel sottosuolo. Ciononostante, l'*ingeniator* è frutto dell'epoca moderna, e l'origine della “cultura mineraria” di cui oggi facciamo tesoro si può far risalire a cavallo tra il XIV e il XVI secolo, quando in Europa divenne preminente la produzione dei metalli preziosi, argento *in primis* e, in subordine, di quelli non ferrosi: stagno, rame, piombo e zinco (Brianta, 1997). Successivamente, un ulteriore sviluppo si ebbe a cavallo tra il XVIII e lungo tutto il XIX secolo, per la produzione del ferro e l'estrazione massiccia del carbone, grazie soprattutto all'uso del carbone fossile sia nella produzione della ghisa sia in quella dell'acciaio, in sostituzione del carbone di legna, la cui produzione a scopi metallurgici aveva portato alla quasi totale deforestazione.

zione di numerose aree europee. Da questo momento in poi, l'approvvigionamento di combustibile non costituì più una difficoltà per lo sviluppo della siderurgia. Nel 1709 in Inghilterra fu messa a punto la fusione del ferro in altiforni utilizzando carbon coke metallurgico (in sostituzione della produzione di ferro fucinato a mano, ricco di scorie). Contemporaneamente, la produzione mineraria, non solo quella di carbone fossile, ebbe un grande impulso grazie all'invenzione della macchina vapore a pressione atmosferica brevettata da Savery (1698) e perfezionata da Newcomen (1712) che, accoppiata alle pompe idrauliche già sviluppate nel XVI secolo (Macini & Mesini, 2004) permise un più facile drenaggio delle miniere, consentendo di aumentare la profondità di esplorazione e coltivazione di giacimenti prima inarrivabili.

La rinascita della *bergbaukunde*, termine che potremmo tradurre con "Arte Mineraria" (denominazione che ha da sempre caratterizzato la materia di insegnamento fondamentale della cultura mineraria italiana) o, trasponendone il significato alla semantica odierna, con "Scienze Minerarie" o *tout court* "Ingegneria Mineraria", si colloca nelle aree geografiche comprese tra Sassonia e Ungheria verso gli inizi del 1700. In queste aree, a partire dal basso medioevo, era stata preminente la produzione di metalli preziosi, soprattutto argento, che fu di impulso all'economia del Rinascimento europeo, in attesa di essere soppiantato dall'oro e dall'argento proveniente dal Nuovo Mondo.

In quest'ambito, e proprio in queste aree, nella prima metà del XVI secolo Georgius Agricola (1494-1555) per la prima volta ricomponi i frammenti di un sapere pratico di lunga tradizione all'interno di una speculazione sulla origine dei fenomeni naturali e, ancor più importante, organizza un sistema coerente di conoscenze tecnologiche, gettando le basi dell'arte mineraria e metallurgica moderne, intese come scienza applicata (Macini & Mesini, 2003; Brianta, 2007). Allo stesso tempo, in questo periodo la professione dell'ingegnere minerario si inizia a configurare come il tramite e la conseguenza di un progetto strutturale di natura eminentemente pubblica, sia per il controllo del territorio, sia per la produzione di beni e capitali strategici per le Amministrazioni del tesoro e della guerra. Georgius Agricola può essere quindi considerato un vero e proprio precursore della rivoluzione che in seguito, nel Settecento, investì la scienza applicata allo sfruttamento delle miniere e alla metallurgia.

Infatti, verso la metà del XVIII secolo, nelle aree metallifere di lingua tedesca, nascono dapprima le *Bergschola* (1735), e in seguito le *Bergakademie* (1770), istituzioni dedite all'istruzione tecnica e alla trasmissione del sapere pratico relativo all'intero ciclo della produzione dei metalli; per questo motivo, esse possono essere indicate come le antesignane della nascita dei corsi di ingegneria mineraria in senso moderno (Brianta, 2000-a). Queste accademie minerarie ("Montanistiche", nella terminologia ottocentesca italiana), fiorirono in tutte le aree minerarie europee: in ordine cronologico (Brianta, 1997), si ricordano: Kongsberg (1757, Svezia), Freiberg (1765, Sassonia), Schemnitz (1770, al tempo in Ungheria, oggi Banská Štiavnica in Slovacchia), Berlino (1770), San Pietroburgo (1773), Clausthal (1775, Hannover), Almaden (1777, Spagna), Città del Messico (1792). Nel 1783 fu fondato a Parigi il

*Corps royal des ingénieurs des mines*, più noto col termine post rivoluzionario di *Ecole des mines*. A differenza di tutte le *Bergakademie* sorte fino ad allora, questa istituzione fu la prima non operante in prossimità di aree o distretti minerari, ma ubicata in stretto contatto con il potere politico e amministrativo.

Tutte le accademie minerarie europee furono più o meno visitate dalle élite del tempo, in special modo dai giovani figli cadetti di famiglie nobili destinati all'arte militare, nel contesto della quale discipline come artiglieria, genio militare e "ingegneria" avevano ancora confini molto labili. Riconducendoci entro i confini della nostra penisola, già dalla metà del XVIII secolo le scuole militari, e non solo quelle sabaude, fungevano da centri di sviluppo delle discipline scientifico-tecnologiche e di diffusione delle conoscenze tecniche, proprio mentre in Europa si strutturava la rete delle suddette *Bergakademie* che, condividendo regole e metodologie sperimentali, diedero impulso alla nascita del pensiero scientifico moderno. In questo periodo il mondo germanico e mitteleuropeo esercitarono una forte attrazione sui numerosi studiosi, militari e tecnici che praticavano periodi di formazione o viaggi di istruzione ingegneristica e mineraria. Questa sorta di "tirocinio all'estero" può essere considerato come il contrappunto di carattere naturalistico e tecnologico al *Grand Tour* che gli intellettuali nordeuropei erano soliti svolgere in Italia proprio in quell'epoca, alla ricerca dell'antichità perduta. In ogni caso, è bene ricordare che tra Sette e Ottocento le accademie minerarie furono dei trampolini di lancio verso i ranghi più alti della pubblica amministrazione, e che i settori trainanti della rivoluzione industriale furono proprio l'industria mineraria e le ferrovie, che necessitavano principalmente di ferro e carbone. Nel corso dei primi decenni del XIX secolo in Europa inizia l'unificazione del pensiero tecnico scientifico, messo in atto anche dalle trasformazioni del pensiero politico e sociale che porteranno alla nascita degli Stati Moderni, atteggiamento che senza dubbio stimolò e favorì la circolazione di capitale umano e di cultura tecnica, al di là della nascita della tecnocrazia, ciò che porterà nel 1910 Otto Hue a scrivere che l'industria mineraria è «la culla della cultura dell'umanità» (Hue, 1910).

A cavallo tra Sette e Ottocento, negli stati preunitari italiani la formazione degli ingegneri era stata affidata a diversi modelli istituzionali, ma che comunque avevano come obiettivo quello di una formazione adeguata e rivolta "al controllo e alla valorizzazione del territorio e delle sue risorse nel campo dell'ingegneria civile applicata ai lavori pubblici, all'idraulica e all'agronomia" (Brianta, 2007). Ciononostante, la gestione delle risorse del sottosuolo rimase embrionale in quasi tutta la penisola, forse perché si riteneva, come oggi peraltro, che il sottosuolo non fosse un fattore chiave dello sviluppo economico e sociale, essendo considerato povero di minerali e di fonti energetiche, al tempo il solo carbon fossile.

Dopo l'unificazione della penisola, il nuovo stato italiano inizia anche la riorganizzazione della propria amministrazione interna. In precedenza, nel Regno Sardo, il re Carlo Felice aveva istituito il Corpo Reale delle Miniere con le Regie Patenti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Le Regie Patenti del 1822 tolsero le competenze minerarie al Corpo di Artiglieria, istituendo un regolare Servizio tecnico delle miniere alle dipendenze dell'Azienda dell'interno.

del 18 ottobre 1822<sup>2</sup>. L'organizzazione territoriale dell'amministrazione mineraria rimase invece sempre basata sul Corpo delle Miniere e sulla suddivisione del territorio nazionale in Distretti minerari, ognuno dei quali era diretto da un Ingegnere capo. La prima ripartizione dei distretti fu attuata col Regio Decreto del 30 dicembre 1871, n. 619, ma in seguito le circoscrizioni distrettuali furono più volte modificate.

Se l'amministrazione mineraria ebbe già all'indomani della proclamazione del Regno d'Italia la propria organizzazione unitaria, l'unificazione del regime legislativo in materia di miniere avvenne con grande ritardo rispetto agli altri settori dell'attività dello Stato e sul territorio nazionale continuarono a sussistere regimi minerari diversi, ispirati a criteri notevolmente difforni, ereditati dagli Stati preunitari: solo col Regio Decreto del 1927 fu, infatti, organicamente disciplinata tutta l'attività di ricerca e di sfruttamento delle sostanze minerali<sup>3</sup>.

Subito dopo l'unificazione del Paese, iniziò anche la realizzazione della Carta geologica d'Italia, intesa come carta geologica ufficiale dello Stato, fortemente perseguita da Quintino Sella<sup>4</sup>, ingegnere minerario, mineralogista e protagonista politico di spicco del neonato stato italiano. Il progetto per la realizzazione della Carta geologica

---

<sup>2</sup> In seguito, con il Regio Decreto del 22 agosto 1848 il Corpo Reale delle Miniere passò dall'Azienda dell'Interno al Ministero di agricoltura, commercio e marina e, poco dopo, il servizio minerario fu affidato al Ministero dell'Agricoltura, industria e commercio (decreto 5 luglio 1860), che lo svolgeva attraverso il Corpo Reale delle Miniere, istituzione integralmente passata allo Stato italiano dal Regno di Sardegna. Abolito il Ministero dell'Agricoltura, il Corpo passò al servizio del Ministero dei lavori pubblici. Dopo l'unità, il Regno d'Italia articolò il Corpo delle Miniere in distretti minerari (1863), con compiti di vigilanza, disciplina, studio, organizzazione e consulenza mineraria. La competenza in materia di miniere fu poi assegnata nel 1923 al Ministero dell'economia nazionale e quindi, nel 1929, al Ministero delle corporazioni. Con l'entrata in vigore della Costituzione repubblicana il servizio minerario fu infine assegnato al Ministero dell'industria e commercio. Ancora oggi gran parte della legislazione mineraria è regolata dai principi fondamentali del Regio Decreto del 1927, n. 1443 "Norme di carattere legislativo per disciplinare la ricerca e la coltivazione delle miniere nel Regno".

<sup>3</sup> La normativa del 1927 (Regio Decreto n. 1443, 1927), attribuendo la proprietà del sottosuolo al demanio dello Stato, anche se non escludeva l'intervento diretto dello Stato, lasciava l'esercizio dell'attività mineraria ai privati, in virtù di autorizzazioni o concessioni. È da ricordare che solo un anno prima (1926) era stata ordinata dal Governo del Regno d'Italia la costituzione dell'Agip (Azienda Generale Italiana Petroli) per lo svolgimento di operazioni e attività relative al commercio di prodotti petroliferi.

<sup>4</sup> Quintino Sella (Sella di Mosso, 1827 - Biella, 1884) fu ingegnere e uomo politico. Dopo la laurea in Ingegneria a Torino (1847), accettò la proposta del Regno Sabauda di frequentare la prestigiosa *École des Mines* di Parigi per approfondire gli studi in campo minerario. Nel 1852 divenne professore di Geometria applicata alle Arti presso il Regio Istituto Tecnico di Torino (che, anche grazie al suo attivo interessamento, diventerà Scuola di Applicazione per gli ingegneri nel 1859 e dal 1906 Politecnico di Torino), e poi di Matematica all'Università di Torino. Nel 1860 entrò nella vita politica come deputato, affermandosi come uno dei più autorevoli rappresentanti della Destra storica. Più volte ministro delle Finanze, si pose come obiettivo il pareggio del bilancio statale, imponendo a questo scopo una rigida politica di economie. Sollecitò l'istruzione professionale; propugnò lo sviluppo delle miniere sarde; promosse la redazione della carta mineraria della regione; patrocinò il riscatto delle ferrovie dell'Italia settentrionale. Non meno vasta fu la sua attività scientifica. Restaurò l'Accademia dei Lincei (della quale fu Socio nazionale dal 1872 e Presidente dal 1874), allargandone gli interessi con l'istituzione della Classe di Scienze Morali, Storiche e Filologiche, e procurandole una sede storica a palazzo Corsini. Notevoli furono anche i suoi apporti nel campo della mineralogia, ove contribuì validamente allo sviluppo della cristallografia morfologica, chimica e descrittiva; studiò numerose specie minerali, di cui alcune nuove, e valorizzò i giacimenti minerari sardi. Fu tra i fondatori della Società Geologica Italiana e del Club Alpino Italiano (1863).

d'Italia inizia nel 1861, anche se fu preceduta da analoghe iniziative di alcuni stati pre-unitari. Lo scopo era di dotare il nuovo Stato italiano di uno strumento per la conoscenza del territorio e delle risorse naturali, mezzi indispensabili per favorire ed accelerare lo sviluppo economico del Paese, analogamente a quanto stava avvenendo in altri paesi europei (Corsi, 2003; Pantaloni, 2014).

### 2.31.2. L'istruzione degli ingegneri a Bologna dopo il 1861

Tra gli ultimi atti del Regno di Sardegna vi fu l'emanazione del Regio Decreto legislativo 13 novembre 1859, n. 3725 (noto come "Legge Casati"), che dopo l'unificazione fu esteso a tutta la penisola. La legge riformò in modo organico l'intero ordinamento dell'istruzione, dall'amministrazione, ai gradi scolastici, alle materie di insegnamento, rafforzando la determinazione del nuovo Stato a intervenire in materia di educazione scolastica (introdusse, tra l'altro, l'obbligo scolastico nel Regno), anche coll'intento di porsi a fianco della Chiesa cattolica, che da secoli ne deteneva il monopolio. Nell'educazione universitaria, la legge Casati sostenne in prevalenza gli studi scientifici e speculativi, privilegiando aspetti non sempre legati a risvolti applicativi o in linea con la nascente industria nazionale. Infatti, nell'ambito dell'offerta formativa delle università italiane tra Otto e Novecento erano presenti le cinque tradizionali facoltà di: a) Teologia (che fu soppressa nel 1872); b) Giurisprudenza; c) Medicina; d) Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali; e) Filosofia e Lettere, mentre per quanto riguarda la formazione di livello professionale superiore, questa si realizzò all'interno di "Scuole speciali", dove si formavano non solo i futuri ingegneri, ma anche agronomi, farmacisti e veterinari. Sul piano della didattica esse erano regolate da una normativa molto simile a quella delle facoltà tradizioni, anche se mancava loro una pari dignità culturale (Calcagno, 1997; Minesso, 1996).

In particolare, nel primo ventennio post-unitario, l'Italia si dotò, o trasformò, due istituti culturali differenziati ma complementari, «la Scuola di applicazione di Torino (1859), più vicina al modello francese di *haute école*, al quale si conformeranno sostanzialmente anche le Scuole di applicazione di successiva fondazione, e l'Istituto tecnico superiore di Milano (1863), più simile al modello tedesco di tipo politecnico e più aderente alle realtà produttive» (Brianta, 2007).

In questo contesto, l'Università di Bologna (prima tra tutte quelle dello ex-Stato Pontificio) istituì presso l'attuale Archivio di Stato in Piazza de' Celestini, la Scuola d'applicazione per gli ingegneri, grazie anche a un consorzio formato da Università ed enti locali. La Scuola bolognese, presso la quale si conseguivano il diploma di ingegnere civile e il diploma di architetto, attivò il primo anno dei propri corsi nel 1875, formalizzando così un percorso di studi per il conseguimento del titolo. Si trattava di un istituto scolastico fortemente finalizzato che, con le inevitabili differenze, si rifaceva alla esperienza francese dell'*École nationale des ponts e chaussées*.

È interessante ricordare che prima del 1875, per acquisire il «diploma di libero esercizio della professione di ingegnere civile ed architetto» (D.M. 1 novembre

1862, che rappresenta il primo ordinamento degli studi di ingegneria a Bologna), era necessario conseguire la laurea presso la Facoltà di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, poi sostenere alcuni esami specifici, quali meccanica applicata, agronomia teorico pratica, mineralogia e geologia, e quindi sostenere un esame generale finale di libera pratica; tutto ciò svolgendo, contemporaneamente, due anni di praticantato presso un «ingegnere architetto approvato» (Cocchi, 1988).

Tale *iter* di studi fu abolito dal Regio Decreto 26 ottobre 1875, che recita: «Considerando come i corsi pratici per gli ingegneri civili e architetti che si fecero fino ad oggi presso le Università di Bologna e di Pisa siano riconosciuti incompleti e insufficienti a fornire le cognizioni necessarie per formare veri e propri ingegneri, di fronte allo stato attuale della scienza, ed a quanto si richiede per il conseguimento di tali titoli nelle scuole d'applicazione del Regno». Fortunatamente, questo decreto non si limitò solo ad abolire, ma istituì a Bologna il primo anno di una Scuola d'applicazione come parte integrante della Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. I futuri ingegneri, una volta frequentato con profitto questo primo anno, potevano iscriversi “senza altri esami” al penultimo anno del corso per gli ingegneri dell'Istituto tecnico superiore di Milano o delle altre Scuole d'applicazione del regno (Diotallevi, 2012).

Nella seconda metà dell'Ottocento a Bologna era dunque impossibile ottenere il diploma di ingegnere, per cui si fondò un consorzio tra le amministrazioni e vari portatori di interessi locali, per attivare i due rimanenti anni di corso: il consorzio operò fino al 1899, quando fu soppresso, e la Scuola d'applicazione bolognese passò interamente a carico dello Stato, come altre analoghe istituzioni italiane (Diotallevi, 2012). Dopo pochi anni a questo modello educativo, che era comunque sostanzialmente di indirizzo civile e architettonico, si aggiunsero nuovi insegnamenti che più si avvicinavano alla nascente ingegneria industriale<sup>5</sup>.

Infatti, nel 1923 la Scuola d'applicazione cambiò la propria denominazione in Regia Scuola d'Ingegneria, e nel 1926 venne promulgato un nuovo statuto che introdusse corsi che fornirono l'istruzione necessaria a conseguire la laurea in ingegneria industriale. Grazie alla “Riforma Gentile” (1923), il titolo di studio conferito dalle Scuole d'Applicazione per la formazione degli ingegneri divenne una laurea, aprendo la via alla trasformazione delle Scuole in Facoltà universitarie.

Tale riforma formalizzò anche l'abilitazione all'esercizio della professione, imponendo il superamento di un Esame di stato. L'accesso alla formazione dei futuri ingegneri fu ristretto ai soli studenti di formazione liceale, fu riconosciuta la tutela legale e la dignità del titolo di ingegnere e, intorno alla metà degli anni 1930, vi fu la trasformazione dei Politecnici in università e delle Scuole d'applicazione per gli ingegneri, come quella bolognese, in Facoltà universitarie.

---

<sup>5</sup> A questo proposito si ricorda che presso la Scuola di applicazione insegnarono due illustri docenti del settore geologico-minerario, titolari di due materie al tempo obbligatorie non solo per coloro che conseguivano all'Università ordinaria la Laurea in Scienze Naturali, ma anche per tutti gli allievi ingegneri: Giovanni Capellini (1833-1922), professore di Geologia applicata, e Luigi Bombicci (1833-1903), professore di Mineralogia applicata.

Nel 1933 la denominazione della scuola passò a Regio Istituto superiore d'ingegneria, e nel 1935, per disposizione governativa, gli Istituti superiori di agraria, chimica industriale e ingegneria dell'Ateneo furono trasformati in Facoltà universitarie vere e proprie.

Sotto questa spinta, si decise anche di dare una sede consona alla nuova Facoltà di ingegneria, avviando un faticoso processo decisionale e progettuale che portò, come è noto, alla costruzione della nuova sede della Facoltà di viale del Risorgimento: la direzione progettuale e artistica dell'edificio fu affidata all'architetto Giuseppe Vaccaro, diplomatosi nella scuola bolognese nel 1920 (Diotalle, 2012). Durante il secondo conflitto mondiale l'edificio subì gravi danni e una spoliatura quasi totale; i lavori di riparazione e la fornitura del materiale necessario per il riarmo consentì di riprendere le attività didattiche solo agli inizi del 1947.

### 2.31.3. L'istituzione della laurea in Ingegneria mineraria nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna

Col trasferimento nella nuova sede di Viale del Risorgimento, nella facoltà di Ingegneria fu attivata la sezione di ingegneria Industriale, con le due sottosezioni, elettrotecnica e meccanica, che si affiancò alla tradizionale sezione di ingegneria Civile, con le sottosezioni edile, idraulica e trasporti, e alla neonata sezione di ingegneria Chimica, istituita nel 1939/40.

Nel 1941/42 si istituì la "Sezione Mineraria"<sup>6</sup>, essendo stato costituito nello stesso anno l'Istituto di Arte Mineraria, che si affiancava ai già esistenti Istituti di Scienze delle Costruzioni, Idraulica, Costruzioni Idrauliche, Costruzioni Stradali e Ferroviarie, Macchine, Elettrotecnica, Meccanica Applicata alle Macchine, Tecnologie Generali, Tecnologie Speciali, Chimica Applicata, Architettura Tecnica, Fisica tecnica, Topografia e Geodesia. Inoltre, quest'ultimo istituto fu rinominato Istituto di Topografia, Geodesia e Geofisica Mineraria.

Le motivazioni che portarono alla nascita della sezione mineraria a Bologna, così come in altre sedi universitarie<sup>7</sup>, meritano ulteriori approfondimenti di archivio. Ciononostante, sembra utile ricordare che pochi anni prima, alle soglie della Seconda guerra mondiale, nella politica italiana si era fatta sempre più pressante la questione dell'indipendenza nazionale dalle fonti energetiche e dalle materie prime di importazione.

<sup>6</sup> Archivio Storico della Camera dei deputati, "Istituzione di una Sezione di ingegneria mineraria presso la Facoltà di ingegneria della regia Università di Bologna". Atto C 1238, approvato dalla Commissione nella riunione del 23 gennaio 1941 (03.12.1940 - 23.01.1941), volume 1397, 884-903 cc. (20 cc.). Ministro dell'educazione nazionale, Bottai, Ministro delle finanze, Thaon di Revel.

<sup>7</sup> Ad esempio, si ricorda che la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Cagliari è stata costituita nell'anno 1939, con l'istituzione del corso di laurea in Ingegneria Mineraria. Le prime lezioni si tennero presso la Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, ma già nel 1940 la Facoltà di Ingegneria ebbe una sede propria. Solo nel 1950 fu aggiunto un secondo corso di laurea: Ingegneria Civile con indirizzo Edile.





Figura 1. Impianto di perforazione per la ricerca di idrocarburi in uso in Italia nei primi decenni del XX secolo (da: J. & L. Massarenti, *Il petrolio e le acque sotterranee*, Hoepli, 1920).

che gestiva sia la produzione degli importanti giacimenti solfiferi della Romagna e delle Marche, oltre a produzioni minori di minerali industriali, e nel cui territorio di competenza si stava affacciando una promettente attività nel campo degli idrocarburi, petrolio e gas naturale, la cui consistenza al tempo non era nota con precisione, e che si sarebbe rivelata strategica per il Paese solo nel primo dopoguerra.

Un illustre studioso della Scuola di Ingegneria bolognese e suo Preside per 18 anni nell'immediato dopoguerra, il professor Paolo Dore (Firenze 1892 - Bologna 1969), già a metà degli anni Trenta si stava interessando dei metodi geofisici per la ricerca di giacimenti di idrocarburi<sup>8</sup>, e in una sua memoria del 1948 ricorda che:

A Bologna, ad esempio, la sezione mineraria sorse con il fine specifico di preparare degli ingegneri atti alla ricerca e alla coltivazione di giacimenti di idrocarburi, ma si è ben guardata dal limitare a questo specifico fine la preparazione degli ingegneri minerari che, se tali devono essere, devono avere gli elementi che li pongano in grado di sviluppare ogni attività professionale inerente all'ambito minerario. [...] Noi dobbiamo preparare non degli uomini che abbiano la ricetta fatta per un certo numero di problemi, sempre quelli, ma degli uomini che abbiano sufficiente autonomia (e questa è la caratteristica fondamentale che dobbiamo richiedere all'ingegnere) per poter da soli orientarsi nella ricerca della miglior soluzione dei molteplici e multiformi problemi che l'attività professionale porrà loro<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> Se ne ricorda uno fra tutti: «Il metodo di indagine gravimetrico nelle ricerche petrolifere», pubblicato in *I combustibili nazionali ed il loro impiego*, Reale Accademia delle Scienze di Torino, 1939.

<sup>9</sup> P. Dore, *Osservazioni sulla preparazione degli ingegneri minerari*. Si tratta di un raro scritto pubblicato negli "Atti del congresso minerario italiano", Associazione Mineraria Sarda, Cagliari, 1948.

Il 18 novembre 1935 la Società delle Nazioni deliberò le "sanzioni" contro l'Italia, accusata di aver violato il Patto, con l'aggressione dell'Etiopia. Fin dal 1935, e per tutta la prima metà del 1936, la scena politica italiana fu dominata prima dalla preparazione e poi dall'attuazione della guerra di Etiopia: l'economia, l'organizzazione istituzionale e la propaganda vennero subordinate al progetto di costruzione di un impero, e nacque ufficialmente l'autarchia.

L'istituzione di una Scuola di Ingegneria mineraria si sarebbe quindi affiancata al già importante nucleo amministrativo del Distretto minerario di Bologna,

La direzione del neonato Istituto di Arte Mineraria dell'Ateneo bolognese fu assegnata per incarico all'ingegner Luigi Gerbella, "uomo chiave" dell'industria mineraria italiana nella prima metà del 1900<sup>10</sup>. Nella Facoltà di Ingegneria fu coadiuvato dall'ingegner Dino Rossi, Ispettore generale del Corpo delle miniere, e inquadrato nel ruolo di assistente incaricato; l'Istituto era anche dotato di due tecnici. Le materie caratterizzanti la nuova laurea in Ingegneria mineraria nell'anno accademico 1941/42 erano: Geologia (professor Michele Gortani, 1883-1966), Petrografia (professor Ciro Andreatta, 1906-1960), Paleontologia (professoressa Anna Fiori), Geofisica mineraria (professor Paolo Dore), Giacimenti minerali (professor Ciro Andreatta) e Arte mineraria (professor Luigi Gerbella).

Nel tumulto degli anni del conflitto le notizie sullo svolgimento dei corsi sono piuttosto scarse: l'esile Annuario dell'Università di Bologna che raggruppa gli anni dal 1942 al 1946 indica che il corso di Arte mineraria fu tenuto dall'ingegner Luigi Gerbella (A.A. 1942/43), dall'ingegner Dino Rossi (A.A. 1944/45) e dall'ingegner Salvatore Leone (A.A. 1945/46), quest'ultimo Ingegnere capo del Distretto minerario di Bologna. Il professor Paolo Dore tenne il corso di Geofisica mineraria nell'A.A. 1942/43, e l'ingegner Salvatore Leone quello di Giacimenti minerali nell'A.A. 1944/45. In questo periodo l'Istituto di Arte Mineraria rimase formalmente senza Direttore, e fu presidiato solo dai tecnici fino al novembre 1946.

Dopo la parentesi bellica, alla ripresa delle attività didattiche nella nuova sede, la Sezione Mineraria divenne finalmente corso di laurea in Ingegneria Mineraria, e nel 1947 la facoltà di ingegneria costituì anche un Istituto di Giacimenti Minerali, la cui sede non era all'interno del nuovo edificio della Facoltà di Ingegneria, ma presso

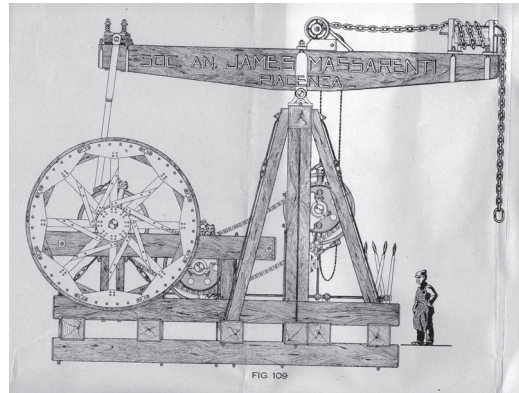


Figura 2. Anni Venti, cavalletto oscillante di un impianto di perforazione a percussione di costruzione italiana (da: J. & L. Massarenti, *Il petrolio e le acque sotterranee*, Hoepli, 1920).

<sup>10</sup> Luigi Gerbella (Ancona, 18 luglio 1892 - 1968?) si laureò in Ingegneria industriale e fu inviato dalla pubblica amministrazione a specializzarsi in Ingegneria mineraria presso l'Università di Liegi. Egli lavorò per il Corpo delle Miniere per circa un ventennio, conducendo ricerche minerarie nel Nord Europa e nell'Africa Orientale Italiana, e in seguito divenne Direttore Generale dei dicasteri delle Corporazioni e dell'Industria. Dal 1939 fu titolare della cattedra di Arte mineraria presso la Scuola di ingegneria di Cagliari, e Direttore del locale Istituto di Arte mineraria e preparazione dei minerali (1939-1943). Nel 1942 fu eletto Presidente della Società Geologica Italiana. Già direttore del Distretto minerario di Firenze, nel 1940 fu nominato Direttore Generale delle miniere e della metallurgia (Ministero delle Corporazioni), e nel 1944 passò al Ministero dell'Industria come Direttore Generale. Nel 1946 fu nominato Direttore Generale dell'AGIP, e si contrappose ad Enrico Mattei sulla possibilità di sviluppare un'industria per la ricerca di gas naturale in Italia. Tutti i tecnici minerari italiani conoscono Luigi Gerbella per il suo fortunato manuale tecnico "Arte Mineraria", pubblicato in originariamente in tre volumi tra il 1937 e il 1938, e poi ristampato e aggiornato fino al 1956.



■ Anni '20: prime sonde in Val Padana.



*Figura 3. Anni Venti, inizio dell'esplorazione petrolifera in Val Padana, tipico impianto di perforazione, detto anche "sonda".*

*Figura 4. Campo petrolifero di Salsomaggiore (Parma), anni Venti-Trenta. Tra le colline innevate si riconoscono i tralicci a servizio dei singoli pozzi produttivi.*

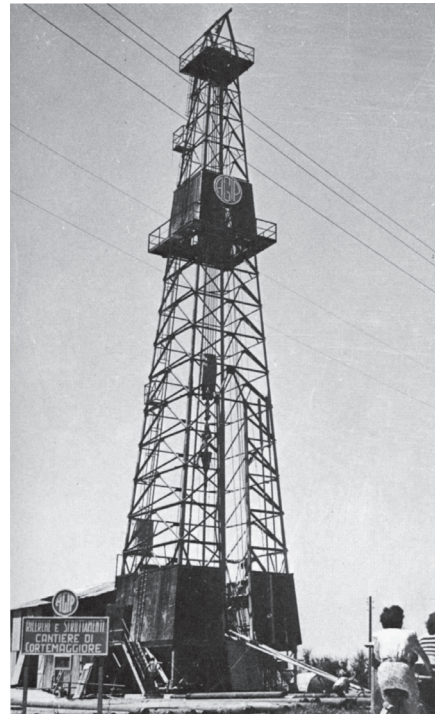
il museo di Mineralogia, a Porta San Donato. Al tempo, gli Istituti universitari erano solitamente diretti da un professore di ruolo: dove questo mancava, si nominava un incaricato. Nel novembre 1946 l'ingegner Salvatore Leone assunse l'incarico di Direttore dell'Istituto di Arte Mineraria, tenendovi regolare insegnamento del corso di Arte mineraria fino al 1954, mentre l'Istituto di Giacimenti Minerari fu diretto dal professore di ruolo di Mineralogia Ciro Andreatta, della Facoltà di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, che già teneva i corsi di Giacimenti minerari e di Petrografia.

La struttura didattica del corso di laurea in Ingegneria mineraria sopra descritta rimase immutata fino al 1956: oltre al professor Andreatta e al professor Leone (già membro del Consiglio Superiore delle Miniere, dal 1953 Ispettore generale del Corpo delle miniere a riposo, e Direttore generale onorario), i corsi caratterizzanti dell'Ingegneria mineraria erano tenuti dal professor Dore (Geofisica mineraria), dal professor Gortani (Geologia) e dalla professoressa Fiori (Paleontologia). Si ricorda che al tempo l'insegnamento di Arte mineraria si svolgeva in due parti annuali: la prima, tenuta al secondo anno del triennio d'applicazione, aveva un programma relativo alla ricerca e produzione di petrolio e gas naturale, mentre la seconda, tenuta al terzo anno del triennio di applicazione, aveva un programma relativo alla progettazione e gestione delle miniere e delle cave.

Nella seconda metà degli anni Cinquanta, la Facoltà decise di potenziare l'Istituto di Arte Mineraria e il relativo corso di laurea in Ingegneria mineraria, che da anni mancava di professori e di assistenti di ruolo, e i cui corsi erano tenuti per incarico da esperti ingegneri provenienti dal Corpo delle miniere. Nel 1956 il professor Dore assunse l'incarico della direzione dell'Istituto di Arte Mineraria, lasciando il



*Figura 5. Campo petrolifero di Vallezza (Parma), anni Venti-Trenta. “Cavallino” di pompaggio del greggio a servizio del pozzo n. 102.*



*Figura 6. Cortemaggiore (Piacenza), impianto di perforazione a rotazione. Questo campo petrolifero fu scoperto nel 1949, quando alla guida dell'Agip vi era Enrico Mattei, e diede nome alla benzina italiana nota come “SuperCortemaggiore”.*

corso di Geofisica mineraria al giovane professor Lamberto Pieri (1917-2009), che tenne il corso fino alla fine degli anni Settanta, passandolo poi al professor Daniele Postpischl, che lo continuò fino al 1992. Nel 1956 il corso di Arte mineraria 2 (petrolio e gas naturale) fu assunto per incarico dal professor Dino Rossi, Ispettore generale del Corpo delle miniere e dal 1957 membro del Comitato tecnico per gli idrocarburi (vedi oltre). L'anno accademico successivo il professor Rossi assunse l'incarico di entrambi i corsi di Arte mineraria, che tenne fino al 1959. Nell'Istituto operarono anche i giovani assistenti, e funzionari del Corpo delle miniere, ingegner Paolo Roma, che per il solo A.A. 1956/57 fu incaricato del corso di Arte mineraria 1 (miniere e cave), ingegner Sergio Tosi e ingegner Dioscoride Vitali, assistenti volontari senza insegnamento. Paolo Roma rimase nell'Istituto per soli due anni, Sergio Tosi per tre anni, mentre Dioscoride Vitali vi trascorrerà tutta la carriera.

Il professor Vitali divenne l'erede dell'insegnamento di Arte mineraria e professore di ruolo nel 1982, tramandando l'insegnamento e la pratica della materia fino alla sua scomparsa nel 1988.



*Figura 7. Il gas naturale del Polesine (anni Quaranta-Cinquanta), impianti di separazione e compressione in provincia di Rovigo.*

Una svolta decisiva nell'indirizzo del corso di laurea in Ingegneria mineraria si ebbe nell'anno 1958/59, quando la facoltà decise di creare, primo in Italia, il settore idrocarburi attivando la disciplina "Meccanica dei giacimenti di idrocarburi" (Cocchi, 1988), tenuto dal professor Bruno Poggi (1919-2005), pioniere di tali studi in Italia. Si ricorda che solo un anno prima la legge 11 gennaio 1957, n. 6, che disciplina la ricerca e la coltivazione degli idrocarburi liquidi

e gassosi, istituì l'Ufficio nazionale minerario per gli idrocarburi, con una sede a Bologna e competenza territoriale estesa a tutta l'Italia settentrionale<sup>11</sup>. Tale ufficio è ancora esistente e pienamente operativo: si tratta della sezione UNMIG di Bologna, dipendente dal Ministero dello sviluppo economico. Il potenziamento dell'Istituto di Scienze Minerarie bolognese verso il settore idrocarburi fu dunque molto probabilmente anche il frutto della riorganizzazione degli organi burocratici e di controllo dell'Amministrazione centrale, che traeva però senza dubbio anche origine dalle fortunate scoperte di importanti giacimenti di gas naturale effettuate in pianura padana nel decennio 1950-1960.

Il professor Bruno Poggi fu quindi incaricato di dare nuova vita alle ricerche in quest'area culturale e, tenuto anche conto delle intrinseche origini idrocarburistiche della scuola mineraria bolognese, ottenne l'istituzione di un Indirizzo Petrolifero. Dal primo gennaio del 1959 il professor Poggi fu incaricato alla direzione dell'Istituto di Arte Mineraria, e dall'anno accademico 1959/60 tenne il primo corso in Italia di "Reservoir Engineering", prima nell'ambito dell'insegnamento di Tecnologie speciali minerarie e successivamente, dall'anno accademico 1960/61, in quello più appropriato di Meccanica dei giacimenti di idrocarburi. Nel 1958 l'ingegner Vitali diviene assistente straordinario di Arte mineraria, e con lo stesso titolo entrò nell'organi-

<sup>11</sup> Altre due sedi furono dislocate a Roma e Napoli, con competenze territoriali estese all'Italia centrale e meridionale, rispettivamente. Questa legge speciale innova la legge mineraria fondamentale del 29 luglio 1927 (R.D. n. 1443, ancor oggi in vigore), adottando criteri uniformi e senza discriminazioni per gli idrocarburi liquidi e gassosi, disciplinando inoltre le attività petrolifere in terraferma, quattro anni dopo la legge istitutiva dell'ENI e della sua zona di esclusiva in Val Padana. Vista la complessità e la particolarità delle nuove questioni tecniche da risolvere, il legislatore dispose di affiancare all'Amministrazione un organo consultivo ben articolato e di specifica competenza tecnica e scientifica in questa materia, il Comitato tecnico per gli idrocarburi, costituito con il D.M. 17 aprile 1957 presso la Direzione generale miniere del Ministero dell'industria, commercio e artigianato, ai sensi della suddetta legge 11 gennaio 1957, n. 6.

co dell'Istituto il dottor Fulvio Ciancabilla (1930-2006), laureato in Geologia che, insieme all'ingegner Giovanni Brighenti (1932-vivente), già assistente incaricato di Arte mineraria dal 1959, dedicheranno la loro intera vita di ricerca scientifica nella facoltà di Ingegneria e di insegnamento appassionato nel corso di laurea in Ingegneria mineraria.

Nel 1960 scompare il professor Andreatta, e la sua eredità nei corsi di Mineralogia e giacimenti minerali fu tramandata ai professori Paolo Gallitelli, Gianfranco Simboli e Romano Mezzetti, tutti dell'Istituto di Giacimenti Minerali e poi professori della facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. I professori Simboli e Mezzetti continueranno la loro opera di insegnamento presso il corso di Ingegneria mineraria fino al loro pensionamento. Si ricorda che l'A.A. 1959/60 è l'ultimo in cui l'insegnamento di Arte mineraria è composto da due parti: anzi, per questo solo anno accademico entrambi i corsi furono dedicati a insegnamenti di ingegneria degli idrocarburi.

Dall'A.A. 1960/61 l'Istituto di Arte Mineraria si fuse insieme a quello di Giacimenti Minerali, e fu rinominato "Istituto di Scienze Minerarie"; dallo stesso A.A. il programma del corso di Arte mineraria si occuperà solo della progettazione e gestione delle miniere e delle cave, e sarà tenuto dal professor Vitali fino al 1986. Parallelamente, oltre al corso ormai consolidato di Meccanica dei giacimenti di idrocarburi, tenuto dal professor Poggi, il professor Rossi terrà il corso di Estrazione e trasporto degli idrocarburi. Nell'A.A. seguente furono istituiti i corsi di Impianti minerali 1 (professor Raffaele Girotti, Direttore generale dell'Agip Mineraria) e Impianti minerali 2 (professor Gian Luigi Chierici, che poi divenne pure Direttore generale di Agip), il primo dedicato all'impiantistica meccanica utilizzata all'interno di cave e miniere, il secondo dedicato allo studio delle recentissime tecnologie per lo studio dei giacimenti di idrocarburi tramite misure speciali in pozzo; l'anno accademico successivo questo corso sarà rinominato "Misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi".

Il corso di laurea in Ingegneria mineraria di Bologna, pur privilegiando gli insegnamenti di ingegneria degli idrocarburi, non dimenticò il settore tradizionale delle miniere, con l'istituzione di nuovi corsi. Nel periodo che va dal 1960 al 1970 furono accesi i corsi di Produzione e trasporto degli idrocarburi, Tecnica dei sondaggi (ingegner Carlo Giacomini, Ingegnere capo della sezione di Bologna dell'UNMIG e poi il professor Brighenti), Tecnologie minerarie (poi Preparazione dei minerali, professor Ciancabilla). Negli anni Settanta gli interessi di ricerca e didattici del corpo



*Figura 8. Il gas naturale dell'appennino bolognese: pozzo produttivo del campo di Pietramala (Bologna), anni Quaranta-Cinquanta.*



*Figura 9. La scoperta del gas naturale nel Mare Adriatico ("Ravenna Mare", 1960). Questo campo fu il primo giacimento di gas offshore scoperto nell'Europa occidentale, ed entrò in produzione nel 1964.*

docente dell'Istituto di Scienze Minerarie, ormai consolidato nelle sue funzioni e nel suo organico, si specializzarono nei tre settori che ancor oggi caratterizzano le discipline "minerarie": l'ingegneria e sicurezza degli scavi, l'ingegneria delle materie prime e l'ingegneria degli idrocarburi e dei fluidi del sottosuolo. Vari altri docenti si alternarono all'interno di questi settori, tra cui ricordiamo coloro che sono scomparsi, professor Sante Fabbri (Impianti minerari, Tecnica degli scavi) e professor Giulio Cesare Borgia (Meccanica dei giacimenti di idrocarburi), e quelli tutt'ora in pensione, professor Amos Paretini (Meccanica delle rocce), professor Guido Gottardi (Produzione e trasporto degli idrocarburi), professor Paolo Berry (Arte mineraria) e professor Carlo Elmi (Geologia).

Nulla si vuole riferire in questa sede su coloro che ancora oggi operano nell'intento di tramandare la tradizione e la cultura della ingegneria mineraria nell'Ateneo bolognese, preferendo lasciare questo compito ai ricercatori di domani.

## Bibliografia

- D. Brianta, *Industria mineraria e professione dell'ingegnere in Piemonte e Savoia tra Sette e Ottocento: l'apporto del modello franco-tedesco*, in M.L. Betri, A. Pastore (a cura di), *Avvocati, medici e Ingegneri*, CLUEB, Bologna, 1997.
- D. Brianta, *Trasmissione del sapere tecnico nell'industria dei "non ferrosi" e circolazione dell'ingegnere minerario in Europa e in America Latina, 1750-1850, Prima parte*, in «Ricerche di storia sociale e religiosa», Roma, 2000-a, 29-58, pp. 127-160.
- D. Brianta, *Stato moderno, corpi tecnici e accademie minerarie: influenze e scambi nell'età dei Lumi e in età napoleonica*, in L. Blanco (a cura di), *Amministrazione, formazione e professione: gli ingegneri in Italia tra Sette e Ottocento*, Il Mulino, Bologna, 2000-b.
- D. Brianta, *Europa mineraria. Circolazione delle élites e trasferimento tecnologico (secoli XVIII-XIX)*, Franco Angeli, Milano, 2007.
- L. Bulferetti, *La siderurgia piemontese e valdostana nel sec. XVIII*, in «Ricerche storiche», CLUSEF, Firenze, 10-3, 1980.
- G.C. Calcagno, *La Scuola per gli ingegneri dell'Università di Bologna tra Otto e Novecento*, in «Annali di storia delle università italiane», Vol. 1, Il Mulino, Bologna, 1997, pp. 149-163.
- G. Cocchi, *Cento anni di Scuola di Ingegneria a Bologna*, in G.P. Brizzi (a cura di), *L'Università a Bologna, maestri, studenti e luoghi dal XVI al XX secolo*, Bologna, 1988, pp. 195-205.

- P. Corsi, *La Carta Geologica d'Italia: agli inizi di un lungo contenzioso*, in G.B. Vai, W. Cavazza (a cura di), *Four centuries of the word Geology, Ulisse Aldrovandi 1603 in Bologna*, Minerva, Bologna, 2003, pp. 271-299.
- P.P. Diotallevi, *Una Facoltà tra due Scuole: la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna (1935-2012)*, in E. Mesini, D. Mirri (a cura di), *Scienza e tecnica nel Settecento e nell'Ottocento: la rivoluzione industriale vista dagli ingegneri*, CLUEB, Bologna, 2012.
- G. Girolami, *L'istruzione tecnica per la formazione dei periti industriali minerari*, in «1860-1960, Centenario del corpo delle miniere», Collegio sindacato nazionale ingegneri del Ministero per l'industria e il commercio, Roma, 1960.
- O. Hue, *Die Bergarbeiter. Historische Darstellung der Bergarbeiter-Verhältnisse von der ältesten bis in die neueste Zeit*, Dietz, Stuttgart 1910.
- P. Macini, E. Mesini (a cura di), *Georgius Agricola De re metallica, con in appendice il De animantibus subterraneis – Bermannus, ovvero un dialogo sul mondo minerale*, CLUEB, Bologna, 2003.
- P. Macini, E. Mesini, *Hydraulic Pumps of Agricola's De Re Metallica (1556)*, in «Journal of Hydraulic Engineering», American Society of Civil Engineers, Reston (VA), 130-11, 2004, pp. 1051-1054.
- M. Minesso, *L'ingegnere dall'età napoleonica al fascismo*, in M. Malatesta (a cura di), *Storia d'Italia Annali, I Professionisti*, Torino 1996, pp. 257-302.
- M. Pantaloni, *15 giugno 1873, nasce il R. Ufficio Geologico: 140 anni di geologia in Italia*, in «Geologia Tecnica & Ambientale», 1, 2014, pp. 37-44.
- N. Pevsner, *The Term "Architect" in the Middle Ages*, in «Speculum», Mediaeval Academy of America, The University of Chicago Press, 1942, 17-4, pp. 549-562.



## 2.32. LE MISURE ELETTRICHE NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DI BOLOGNA

*Domenico Mirri*

### 2.32.1. La fase iniziale delle Misure Elettriche con Stefano Basile

Nell'A.A. 1936/37 esistono due corsi di laurea nella Facoltà di Ingegneria di Bologna: uno in Ingegneria Civile (sottosezioni: Edile, Idraulica, Trasporti) e l'altro in Ingegneria Industriale (sottosezioni: meccanica ed elettrotecnica). Nel terzo anno di quest'ultimo compare per la prima volta un corso semestrale di Misure Elettriche tenuto da Stefano Basile, libero docente in Elettrotecnica, in qualità di Professore Incaricato; sono previste per le Misure Elettriche quattro ore di lezioni teoriche settimanali e due ore di esercitazioni sperimentali. Basile tiene contemporaneamente il Corso di Elettrotecnica e quello di Impianti Industriali Elettrici (anch'esso semestrale).

Di seguito il programma del corso: da notare le numerose prove sperimentali che sono messe in evidenza e che caratterizzano questo corso. La parte sperimentale ha quindi un grande rilievo.

#### **Misure Elettriche: Stefano Basile**

*UNITÀ DI MISURA:* Definizioni. Unità pratiche. *CAMPIONI. STRUMENTI MISURA:* Misura degli angoli. Galvanometri. Elettrodinamometri. Apparecchi industriali. Wattmetri. Ohmmetri. Elettrometri. Potenziometri. Registratori. Indicatori di massimo. Contatori. Trasformatori di misura. Taratura degli strumenti elettrici. *METODI DI MISURA:* Interruttori e commutatori. *Misure* di resistenza. Misure di Intensità e di tensioni costanti. Misure sui condensatori. Misure di induttanza. Misure di induzioni mutue. Misure di potenza. Misure speciali su correnti alternate: Analisi a sperimentale delle curve. Misura di differenza di fase. Misure di frequenza. *VALVOLE TERMOIONICHE:* proprietà delle valvole. Applicazioni delle valvole termoioniche alle misure. Studio sperimentale del macchinario elettrico: *MISURE MECCANICHE.* Considerazioni generali sulle prove del macchinario. *Prove* sulle macchine a corrente continua. *Prove* sulle macchine sincrone. *Prove* sui motori asincroni. *Prove* sui trasformatori. *Prove* sui convertitori. *Prove* sugli accumulatori. Studio sperimentale delle lampade: Fotometria. Prove su lampade e impianti di illuminazione. Studio sperimentale degli impianti di trasmissione e distribuzione: Collaudo degli impianti. *Prove* sugli impianti in esercizio.

Nell'A.A. 1937/38 è previsto nel terzo anno un corso complementare di Misure Elettriche e Impianti Elettrici tenuto da Stefano Basile in qualità di Professore Incaricato.

Nell'A.A. 1938/39 è previsto nel terzo anno un corso annuale di Misure Elettriche tenuto da Stefano Basile; sono previste per le Misure Elettriche tre ore di lezioni teoriche settimanali e due ore di esercitazioni sperimentali.

Di seguito il programma del corso, che è molto ampliato rispetto a quello dei due anni precedenti.

### **Misure Elettriche: Stefano Basile**

Generalità sulla esecuzione delle misure: misure dirette ed indirette. Errori. Richiami sulle unità di misura. Metodi di deviazione e metodi di zero. Dispositivi di lettura. Campioni delle unità elettriche. Rivelatori e misuratori di deboli correnti continue: galvanometri a bobina mobile; galvanometri a magnete mobile (principio di funzionamento). Milliamperometri e millivoltimetri a bobina mobile: particolari costruttivi. Cause di errore. Millivoltimetri usati come amperometri. Milliamperometri usati come voltmetri. Descrizione e funzionamento degli strumenti: elettrodinamici; a ferro dolce; termici; ad induzione. Impiego delle ternocoppie e dei raddrizzatori ad ossido. Galvanometri a vibrazione. Elettrometri e strumenti elettrostatici. Divisori di tensione elettrostatici. Kilovoltimetri. Teoria ed uso del galvanometro balistico. Confronto di capacità. Resistenze di precisione e loro costruzione. Misura delle resistenze. Piccole resistenze: ponte doppio di Thomson. Grandi resistenze. Ohmetri e principio di funzionamento dei misuratori di rapporto a bobine incrociate. Principio del potenziometro. Applicazione al confronto di f.e.m. ed alla misura di correnti e resistenze. Metodi potenziometrici di taratura degli amperometri e voltmetri. Descrizione di qualche tipo di potenziometro. Principio generale del ponte alimentato a corrente alternata. Applicazione alle misure d'impedenza. I principali schemi per il confronto di capacità, induttanze ed induttanze mutue. Caso delle capacità affette da perdite: influenza della frequenza e delle forma d'onda; angolo di perdita e sua determinazione (Ponte di Schering); capacità ed induttanza delle resistenze. Metodo industriale per la misura delle impedenze. Generalità sull'uno dello sfasatore e principio dei metodi di proiezione. Principio dei potenziometro a corrente alternata. Misura della potenza in un circuito a corrente alternata monofase. Wattmetri elettrodinamici, ad induzione, a termocoppie, elettrostatici. Cenno sui misuratori di potenza reattiva e di fattore di potenza. Misura di potenza nei circuiti trifasi a tre fili. Definizione dei fattore di potenza e sua misura. Trasformatori di misura: principio dei trasformatori di tensione e di corrente. Diagrammi di funzionamento. Errori di rapporto e di fase. Prestazione. Limiti d'errore e classi. Metodi di controllo. Cenno sui comparatori. Cenno sugli strumenti registratori. Strumenti integratori. Contatori elettrodinamici e ad induzione. Caratteristiche costruttive dei contatori monofasi ad induzione. Errori. Taratura dei contatori. Contatori speciali. Misure di frequenza. Registrazione delle curve di tensione e di corrente. Cenno sui metodi per l'analisi armonica delle curve di tensione e di corrente. Misura dei valori medi e di cresta delle correnti e tensioni alternate. Uso delle valvole termoioniche nelle misure elettriche. Cenno sui metodi per la misura di tensioni, correnti, resistenze, induttanze, capacità, lunghezza d'onda, decremento, in alta frequenza. Misure magnetiche: tensiometro magnetico e sue applicazioni; misura del. l'induzione magnetica; rilievo delle curve di magnetizzazione e d'isteresi. Misura delle perdite con magnetizzazione alternata. Alcune applicazioni di metodi elettrici alla misura di grandezze fisiche varie (termometri, pirometri, vacuometri, ecc.). Cenno sulla trasmissione a distanza delle indicazioni di uno strumento elettrico. Prove sulle macchine elettriche. Prove di sovrariscaldamento e di isolamento. Impiego degli spinterometri per la misura delle tensioni. Generalità sui metodi indiretti per la

determinazione dei rendimento. Collaudo di un trasformatore. Collaudo di una macchina sincrona. Collaudo di un motore asincrono. Collaudo di un motore a corrente continua. Cenno sulle prove di equilibratura statica e dinamica.

N.B. Il corso viene integrato da esercitazioni pratiche.

Negli A.A. 1939/40, 1940/41, 1941/42, 1942/43, 1943/44, 1944/45, 1945/46, 1946/47 la situazione rimane invariata. Nell'anno 1945 viene pubblicato il libro: S. Basile, *Lezioni di misure elettriche*, CEDAM, Padova.

Nell'A.A. 1947/48 Stefano Basile diventa professore straordinario di Misure Elettriche.

Nell'A.A. 1948/49 esistono quattro diverse lauree in Ingegneria: Ingegneria Civile (suddivisa in tre sottosezioni: Edile, Idraulica e Trasporti), Ingegneria Industriale (suddivisa in due sottosezioni: meccanica e elettrotecnica), Ingegneria Chimica, Ingegneria Mineraria. Le Misure Elettriche sono una materia complementare del terzo anno di Ingegneria industriale, sezione Elettrotecnica. Compaiono come assistenti volontari di Misure Elettriche Vittorio Mòdoni (fino al 15/02/49, poi assistente di ruolo) e Gian Paolo Dore.

Nell'A.A. 1950/51 il programma di Misure, tenuto ancora da Stefano Basile, risulta in parte modificato con i seguenti richiami di Elettrotecnica (il professore di Elettrotecnica era Vittorio Gori) a cui seguiva il consueto programma di Misure:

Richiami di elettrotecnica: Sistemi di unità di misura. Leggi dell'elettrodinamica e dell'elettromagnetismo. Grandezze alternate: generalità; studio dei circuiti in corrente alternata; potenza. Studio dei circuiti in regime transitorio. Sistemi a tre fili: generalità; sistemi equilibrati e squilibrati; potenza attiva, reattiva, apparente; fattore di potenza, componenti simmetrici.

Al termine del programma si precisa che il corso è completato da 4 ore settimanali di esercitazioni.

Fino al 28/2/51 Gian Paolo Dore è assistente volontario, poi diventa assistente di ruolo.

Nell'A.A. 1951/52 Stefano Basile tiene per supplenza anche il corso di Elettrotecnica oltre a quello di Misure Elettriche di cui è titolare.

### 2.32.2. L'epoca di Vittorio Mòdoni e Gian Paolo Dore

Nell'A.A. 1953/54 Stefano Basile diventa professore di ruolo di Elettrotecnica (dal 15/12/1953) e viene nominato Vittorio Mòdoni professore incaricato di Misure Elettriche.

Nell'A.A. 1954/55 nella sottosezione Elettrotecnica viene introdotto nel secondo anno il corso complementare di Misure Elettriche tenuto da Vittorio Mòdoni, mentre nel terzo anno sono previsti due corsi complementari di Misure, uno di Misure sulle Macchine tenuto da Vittorio Mòdoni ed uno di Misure in Alta Frequenza tenuto da

Gian Paolo Dore. Vittorio Mòdoni diventa libero docente di Misure il 27/12/1954. Nei corsi di Misure sono previste esercitazioni settimanali di laboratorio per le quali ciascuno studente deve fare una relazione, che gli viene corretta. Per potere fare l'esame orale è necessario ripetere una di queste prove con la relativa relazione, che deve essere valutata positivamente per potere sostenere l'esame orale. Nel 1955 viene pubblicato il libro *Misure Elettriche* scritto da Vittorio Mòdoni e Gian Paolo Dore. La prima parte, scritta da Mòdoni, è dedicata allo studio degli strumenti di misura. La seconda parte, scritta da Dore, riguarda lo studio dei metodi di misura. Come viene messo in evidenza nell'introduzione del libro, gli autori hanno «cercato di dare alla trattazione una forma tale che possa essere di utilità anche per i giovani ingegneri all'inizio della loro attività professionale». Per questo motivo la trattazione è molto ampia e dettagliata.

Nell'A.A. 1955/56 nella sottosezione Elettrotecnica viene mantenuto al secondo anno il corso complementare di Misure Elettriche I parte tenuto da Vittorio Mòdoni, mentre i due corsi complementari del terzo anno vengono distinti in Misure Elettriche II parte (correnti forti) tenuto da Vittorio Mòdoni e Misure Elettriche II parte (correnti deboli) tenuto da Gian Paolo Dore.

Negli A.A. 1956/57, 1957/58 la situazione didattica rimane invariata. Gian Paolo Dore diventa libero docente in Misure Elettriche il 16/08/1958.

Nell'A.A. 1958/59 il corso di Misure Elettriche (II parte - correnti forti) viene tenuto da Benito Brunelli. Gli altri due corsi rimangono invariati.

Nell'A.A. 1959/60 Luciano Simoni e Mario Gasparini vengono nominati assistenti straordinari di Misure Elettriche, il primo con Vittorio Mòdoni e il secondo con Gian Paolo Dore.

Nell'A.A. 1960/61 il biennio entra a far parte della Facoltà di Ingegneria e la durata degli studi diventa pertanto di cinque anni. Vengono distinti 7 corsi di laurea in Ingegneria: Civile (con al quinto anno le sezioni Edile, Idraulica, Trasporti), Meccanica, Elettrotecnica, Chimica, Mineraria, Elettronica, Nucleare. Vittorio Mòdoni è professore incaricato di Misure Elettriche al quarto anno del corso di laurea in Elettrotecnica e supplente di Tecnologie Elettriche al quinto anno dello stesso corso di laurea mentre Gian Paolo Dore è professore incaricato di Misure Elettriche al quinto anno del corso di laurea in Elettronica.

#### **Misure Elettriche (per Elettrotecnici): Vittorio Mòdoni**

*STRUMENTI DI MISURA.* Equazioni del moto di uno strumento di misura. Strumenti indicatori: elettrostatici, magnetoelettrici, elettromagnetici, elettrodinamici, a induzione, termici. Strumenti registratori e oscillografi. Strumenti integratori. Shunt e resistori addizionali; raddrizzatori e termoconverti; trasformatori di misura. – *METODI DI MISURA.* Generalità sulle misure, errori, tecnica delle misure. Misure di tensioni e di correnti. Misure di resistenza, capacità e induttanza. Misure di frequenza e di differenze di fase; analisi armonica. Misura delle grandezze magnetiche. Tarature. – *APPLICAZIONI. MISURE SUI CIRCUITI:* misure di controllo e di esercizio. – *PROVE SUI MATERIALI USATI NELL'ELETTROTECNICA:* nozioni e concetti generali; esempi. – *PROVE SULLE MACCHINE ELETTRICHE:* misure di temperatura, di velocità angolare, di potenza meccanica; criteri generali per il ri-

lievo delle caratteristiche delle macchine elettriche; determinazione del rendimento; prove di sovrariscaldamento; prove di isolamento; attrezzature per le prove sulle macchine elettriche. – *CENNO SULLE TELEMISURE*. Importanza delle telemisure e loro applicazioni. I principali metodi di telemisura e le loro caratteristiche. Qualche esempio di apparecchiatura per telemisure. – Il corso è corredato di esercitazioni in laboratorio ed in sala macchine.

### **Misure Elettriche (per elettronici): Gian Paolo Dore**

Richiami di teoria delle misure. - Sistemi di unità di misura, grandezze fondamentali, campioni: misure assolute e relative. - Generalità sulla misura delle grandezze elettriche. - Principi generali degli strumenti di misura «elettromeccanici» e caratteristiche specifiche dei diversi tipi, con particolare attenzione alle loro limitazioni in frequenza, livello, consumo, tempo di risposta, precisione. - Impiego di detti strumenti nelle misure sui circuiti in c.c. e in c.a. - Componenti dei circuiti di misura. Componenti normali: resistori, condensatori, induttori; derivatori, partitori, attenuatori, trasformatori. Richiami su componenti anomali, noti da altri corsi, esclusivamente per quanto interessa il loro particolare impiego nel campo delle misure. Generatori di f.e.m. campione. Generatori di segnale. Alimentatori per circuiti di misura. - Fenomeni indesiderati nei circuiti elettrici e metodi di eliminazione o compensazione dei medesimi. - Estensione dei limiti di frequenza: dispositivi di conversione, elettronici e termici, di segnali alternativi in continui. - Estensione dei limiti di livello e riduzione del consumo; amplificatori di misura, per c.c. 6, per c.a., a banda piatta e selettivi. - Misura e osservazione di grandezze rapidamente variabili: oscillografi. - Estensione dei limiti di precisione: reti di «zero». Potenzimetri e ponti per c.c.; strumenti «digitali». Potenzimetri, ponti e reti a T per c.a.; problemi particolari delle misure sui componenti a r.f., circuiti risonanti. - Misure di frequenza e di tempo. - Analisi delle forme d'onda. Metodi speciali per le misure di fase. - Principali applicazioni pratiche dei metodi e delle apparecchiature sopradescritte. - Nozioni fondamentali sulle misure ad altissima frequenza – Nozioni fondamentali sulle misure per via elettrica di grandezze non elettriche.

Nell'A.A. 1963/64 vengono nominati assistenti incaricati Alberto Burchiani e Antonio Menchetti, il primo con Vittorio Mòdoni e il secondo con Gian Paolo Dore. Mòdoni diventa professore straordinario di Misure Elettriche.

Nell'A.A. 1964/65 diventa assistente incaricato Mario Rinaldi con Vittorio Mòdoni.

Nell'A.A. 1965/66 Gian Paolo Dore diventa professore straordinario di Misure Elettriche (il padre, Paolo Dore, era appena andato in pensione; questa era una condizione necessaria affinché il figlio potesse diventare professore di ruolo nella stessa Facoltà del padre). Luciano Simoni assume l'incarico di professore di Tecnologie Elettriche nel corso di laurea in Elettrotecnica.

Nell'A.A. 1966/67 diventa assistente incaricato Gaetano Iuculano con Gian Paolo Dore. Domenico Mirri viene nominato assistente volontario di Misure Elettriche con Gian Paolo Dore.

Nell'A.A. 1967/68 Gian Paolo Dore prepara le dispense del corso di Misure per gli elettronici, che sono state raccolte in un volume pubblicato nel 1991 dalla casa editrice Esculapio.

**Appunti per il Corso di Misure Elettriche (per elettronici): Gian Paolo Dore**

*ELEMENTI DI METROLOGIA GENERALE:* Generalità. Classificazione dei metodi di misura. Richiami sugli errori di misura. *ELEMENTI DI CIRCUITO:* Generalità. Requisiti principali. Resistori: rete equivalente, proprietà generali. Resistori metallici. Bassi valori di resistenza, resistori a 4 morsetti. Altri tipi di resistori. Resistori variabili. Condensatori. Induttori. *Parametri indesiderati dei circuiti:* Generalità. Parametri introdotti dai collegamenti, accoppiamenti induttivi. Ammettenze indesiderate: generalità, schermatura, massa, ecc. Ammettenze indesiderate: criteri di massima per compensarne gli effetti. *GENERALITÀ SUGLI STRUMENTI ELETTROMECCANICI:* Generalità e classificazioni. Strumenti indicatori tarati. Molle antagoniste. Indici e scale. Sospensione a filo. Sospensione a fili tesi. Equazione del moto degli strumenti elettromagnetici. Transitorio degli strumenti indicatori. *STRUMENTI ELETTROMECCANICI PER CORRENTECONTINUA:* Generalità. Struttura di uno strumento a b.m., coppia motrice. Strumenti a perni e a fili tesi: limiti di portata. Voltmetria b.m. Comportamento transitorio e smorzamento. Galvanometri. Uso degli strumenti in c.c., errori dovuti al consumo. Strumenti a bobine incrociate. Appendice: Limiti di sensibilità dei galvanometri: Generalità. Voltmetri con amplificatore ad accoppiamento diretto Voltmetri a “chopper”. Ampermetri elettronici. Voltmetri ad altissima resistenza e misura di correnti deboli. *STRUMENTI ELETTRONICI ANALOGICI PER GRANDEZZE CONTINUE:* Generalità. Voltmetri con amplificatore ad accoppiamento diretto. Voltmetri “a chopper”. Ampermetri elettronici. Voltmetri ad altissima resistenza e misura di deboli correnti. *MISURE DI PRECISIONE DI GRANDEZZE CONTINUE:* Campioni di f.e.m., sorgenti di tensione di riferimento. Generazione di d.d.p. continue variabili 3. Misure potenziometriche. Schemi per la realizzazione pratica di misure potenziometriche. Estensione del campo di misura, d.d.p. molto piccole. Alcuni esempi di potenziometri. Considerazioni conclusive e cenni ai potenziometri a deflessione. *STRUMENTI ELETTROMECCANICI PER CORRENTE ALTERNATA:* Generalità. Strumenti elettrodinamici. Ampermetri e voltmetri elettrodinamici. Wattmetri elettrodinamici. Elettrodinamometri. Strumenti elettromagnetici a ferro mobile. Cenni ad altri tipi di strumenti. Uso degli strumenti (generalità, circuiti monofasi). Circuiti trifasi. Sistemi simmetrici. Sistemi simmetrici ed equilibrati. Misure di esercizio. Strumenti integratori e misure di energia (Generalità, Contatori elettrodinamici, Contatori a induzione, Impiego dei contatori nelle misure di energia, Contatori speciali). *STRUMENTI TERMICI ED ELETTRONICI PER GRANDEZZE ALTERNATE:* Generalità. Convertitori termoelettrici (termocoppie). Generalità sui convertitori elettronici. Voltmetri a diodo a valore di cresta. Schemi pratici di voltmetri a diodo. Millivoltmetri a diodi. Convertitori a valore medio. Multimetri. Voltmetri elettronici a valore medio. Convertitori a controllo di fase. Convertitori elettronici in classe A. Voltmetri ad amplificatore per tensioni alternate. Osservazioni sull'impedenza di ingresso dei voltmetri per radiofrequenza. Considerazioni conclusive. *STRUMENTI NUMERICI PER GRANDEZZE CONTINUE:* Generalità. Voltmetri potenziometrici. Strumenti “a gradinata”. Strumenti a conversione in tempo. Strumenti a conversione in frequenza. Strumenti a doppia rampa. Considerazioni conclusive. *MISURA DI PARAMETRI DI CIRCUITO:* Premessa. Misure di resistenza (Misure di resistenza, Analisi dell'incertezza della misura, Metodo volt-ampermetrico propriamente detto. Ohmmetri. Misure di resistenza col potenziometro. Confronto fra resistenze:

il ponte a 4 lati. Sensibilità dei ponte. Considerazioni sull'incertezza, metodo di sostituzione. Ponti per resistori a 4 morsetti. Impiego "a squilibrio" dei ponti. Cenni ad altri metodi e Conclusioni). Misure di impedenza (Considerazioni introduttive. Il ponte di impedenze a 4 lati: generalità. Disposizione degli elementi variabili del ponte. Ammettenze indesiderate, misure "a 3 morsetti". Altre reti per misure a 3 morsetti. Incertezza dovuta ai parametri indesiderati dei componenti. Ponti a radiofrequenze. Reti a T. La rivelazione nelle reti di zero in c.a. Circuiti, risonanti per misure, di impedenza). Appendice: Esempi di ponti in corrente alternata. *ALTRE QUESTIONI RELATIVE A MISURE SU CIRCUITI IN REGIME ALTERNATIVO*: Generalità. Wattmetri a convertitori elettronici e termici. Misuratori di potenza di uscita di tipo voltmetrico. Bolometri. Wattmetri calorimetrici. *OSSERVAZIONE DI FORME D'ONDA E MISURA DI GRANDEZZE NON STAZIONARIE*: Oscillografi magnetoelettrici (galvanometrici). Oscillografi a raggi catodici (Generalità. Struttura generale dell'oscilloscopio a r.c. Formazione del fascio. Sistema di deflessione, calcolo della sensibilità. Coordinamento dei potenziali del cannone elettronico e delle placche di deflessione. Schermi. Limiti di frequenza del tubo oscillografico). Oscillografi campionatori. Generalità.

Nell'A.A. 1968/69 Gian Paolo Dore passa, coi suoi assistenti, all'Istituto di Elettronica da poco istituito; inoltre assume l'incarico anche del corso di Metodi di Osservazione e Misure introdotto nel secondo anno del Corso di Laurea in Elettronica. Gaetano Iuculano è l'assistente di Dore per questo corso.

#### **Metodi di Osservazione e Misure: Gian Paolo Dore**

*CONSIDERAZIONI PRELIMINARI*, intese a giustificare la necessità dell'impiego di procedimenti statistici, e quindi della conoscenza del calcolo delle probabilità nell'ambito della misura delle grandezze fisiche e, più in generale, dell'osservazione di fenomeni naturali.

*ELEMENTI DI CALCOLO DELLE PROBABILITÀ*. Introduzione intuitiva del concetto di probabilità, definizione «classica» e «frequentista», loro limiti. Impostazione assiomatica del calcolo delle probabilità. Probabilità condizionate, teorema di Bayes, indipendenza stocastica. Esperimenti combinati, prove ripetute. Variabili aleatorie, funzioni di distribuzione, momenti. Variabili aleatorie suscettibili di assumere un numero finito di valori, distribuzioni binomiale, ipergeometrica, uniforme. Variabili aleatorie pluridimensionali, distribuzioni condizionate e marginali, covarianza; la distribuzione multinomiale. Proprietà delle somme di variabili aleatorie. Teoremi di Tchebycheff e di Bernoulli, legge (debole) dei grandi numeri. Variabili aleatorie ad infiniti valori discreti: distribuzioni geometrica, binomiale negativa, di Poisson (anche come approssimante la binomiale). Variabili aleatorie continue uni- e pluridimensionali; funzioni di densità di probabilità; funzioni di variabili aleatorie. Distribuzione normale; teorema di Des Moivre, cenno al teorema di convergenza stocastica; distribuzione binormale. Distribuzioni di tipo, gamma, esponenziale; distribuzioni di Studente di Fischer.

*ELEMENTI DI ANALISI STATISTICA*. Cenni di statistica descrittiva: rappresentazioni per attributi e per variabili; distribuzioni empiriche, loro parametri di posizione e di dispersione. Teoria dei campioni: stime, criterio di massima verosimiglianza, me-

todo dei momenti. Stima del valor medio e della varianza. Intervalli di confidenza. Il test ed alcuni altri problemi di verifica di ipotesi. Correlazione, regressione; il metodo dei minimi quadrati. Cenni sull'analisi della varianza.

*MISURA DELLE GRANDEZZE FISICHE.* Inquadramento generale di questioni già affrontate in altri corsi. Errori nelle misure dirette ed indirette, applicazioni specifiche dei metodi dell'analisi statistica precedentemente studiati.

Nell'A.A. 1970/71 Mario Rinaldi viene nominato aiuto di Misure Elettriche e Renato Sasdelli assistente incaricato con Vittorio Mòdoni. Il corso di Misure Elettriche per gli Elettrotecnici rimane un corso estensivo; le Misure Elettriche per gli Elettronici diventano invece corso intensivo.

Nell'A.A. 1971/72 Luciano Simoni diventa aiuto di Misure Elettriche con Vittorio Mòdoni; proseguirà però la sua carriera nell'ambito delle Tecnologie Elettriche e darà origine ad una scuola di Tecnologie Elettriche.

Nell'A.A. 1972/73 Mario Gasparini diventa aiuto di Misure Elettriche con Gian Paolo Dore. Viene sdoppiato il corso di Misure Elettriche per Elettronici e dato l'incarico a Mario Gasparini. Alberto Burchiani viene nominato professore incaricato di Complementi di Misure Elettriche e Mario Rinaldi di Strumentazione e Regolazione degli Impianti, ambedue nel corso di laurea di Elettrotecnica. Antonio Menchetti assume l'incarico di professore di Misure Elettroniche nella Facoltà di Ingegneria di Ancona.

Nell'A.A. 1973/74 Domenico Mirri, che ha pubblicato assieme a Mario Gasparini il libro *Dispositivi e Circuiti Elettronici* in due volumi (Calderini editore), viene nominato professore incaricato di Elettronica Applicata nella Facoltà di Ingegneria di Ancona. Questi libri ebbero ampia diffusione in tutta Italia e favorirono il passaggio, negli Istituti Tecnici Industriali, dell'insegnamento dell'elettronica dai tubi a vuoto ai semiconduttori e ai circuiti integrati (l'approccio utilizzato in questi due libri è di tipo induttivo con molti esempi applicativi).

Nell'A.A. 1975/76 Antonio Menchetti viene nominato professore incaricato di Tecnologie Elettroniche e Gaetano Iuculano professore incaricato di Statistica Applicata, ambedue nel corso di laurea di Elettronica. Il 4 aprile del 1976 muore Vittorio Mòdoni e, su proposta di Gian Paolo Dore che era stato a lungo incerto nella scelta, Mario Rinaldi viene nominato professore di Misure Elettriche per il corso di laurea in Elettrotecnica.

### 2.32.3. L'epoca degli allievi di Vittorio Mòdoni e Gian Paolo Dore

Nell'A.A. 1976/77 Gaetano Iuculano si trasferisce nella neonata Facoltà di Ingegneria di Firenze come professore incaricato stabilizzato di Misure Elettriche.

Nell'A.A. 1977/78 Domenico Mirri viene nominato assistente ordinario di Misure Elettriche col professore Gian Paolo Dore.

Nell'A.A. 1978/79 Alla fine di dicembre del 1978 muore improvvisamente Gian Paolo Dore. Antonio Menchetti rimane professore incaricato stabilizzato di



Tecnologie Elettroniche fino al 28/2/79 e successivamente assume l'incarico di professore incaricato stabilizzato di Misure Elettriche nel corso sdoppiato (con Mario Gasparini) per il corso di laurea in Elettronica.

Nell'A.A. 1979/80 Domenico Mirri viene nominato professore incaricato stabilizzato di Complementi di Elettrotecnica.

Nell'A.A. 1980/81 Mario Rinaldi diventa professore straordinario di Misure Elettriche.

Nell'A.A. 1981/82 Antonio Menchetti e Alberto Burchiani diventano professori associati di Misure Elettriche. Mario Rinaldi assume l'incarico di professore di Misure Elettriche per il corso di laurea in Elettronica (sdoppiato con Antonio Menchetti). Alberto Burchiani assume l'incarico di Misure Elettriche per il corso di laurea di Elettrotecnica e Mario Gasparini quello di Complementi di Misure Elettriche nello stesso corso di laurea.

### **MISURE ELETTRICHE (per gli Elettronici): Alberto Burchiani**

Il corso si propone la finalità di fornire agli allievi:

- le basi teoriche per affrontare i problemi generali delle misure;
- la conoscenza degli strumenti e dei metodi fondamentali per l'esecuzione delle rese elettriche;
- le procedure per l'esecuzione delle principali misure di verifica e collaudo relative alle macchine ed agli impianti elettrici.

Argomenti fondamentali del corso saranno:

- significato delle misure, unità di misura, precisione, teoria degli errori e legge di propagazione degli stessi;
- strumenti indicatori elettromeccanici: funzionamento, caratteristiche ed impiego;
- strumenti indicatori ad amplificatore (elettronici) analogici e digitali: caratteristiche esterne ed impiego;
- strumenti registratori scriventi ed a supporto magnetico;
- principali metodi di misura di grandezze elettriche: potenziometrici, a ponte in c.c. e c.a.;
- misure di potenza e di energia in c.c., c.a. monofase e trifase;
- prove fondamentali su materiali dielettrici, conduttori e magnetici;
- prove sulle macchine elettriche: isolamento, rendimento e sovrariscaldamento;
- misure su impianti di messa a terra.

### **MISURE ELETTRICHE (per gli Elettronici): Mario Rinaldi**

*METROLOGIA.* Richiami di metrologia generale. Il Sistema Internazionale, unità e campioni. Elementi di metrologia elettrica. Richiami di teoria degli errori. *SEGNALI ELETTRICI DI MISURA.* I segnali elettrici come supporto fisico delle informazioni. Catena di misura (data logging) e catena di regolazione automatica: Segnali analogici e numerici. L'amplificazione dei segnali analogici di misura (amplificatori operazionali e per strumentazione; amplificatori in ca). Conversione analogico-numerica, e numerico-analogica. L'elaborazione numerica dei segnali di misura. *MISURA PER VIA ELETTRICA DI GRANDEZZE NON ELETTRICHE.* Sensori e trasduttori: modello interpretativo, grandezze di influenza, funzionamento in regime stazionario e dinamico, condizioni di Principi fisici della trasduzione. Caratterizzazione dei tra-

sduttori riguardanti le grandezze fisiche di maggiore interesse nei dispositivi di regolazione e governo di impianti e processi industriali. Casi particolari del controllo di velocità di motori e del controllo di posizione.

*MISURE DI TEMPO E FREQUENZA.* Campioni di tempo e frequenza. Misura defila frequenza e degli intervalli di tempo con strumenti a contatore. *MISURA DELLE GRANDEZZE ELETTRICHE ATTIVE IN REGIE E STAZIONARIO ED IN TRANSITORIO.* Strumenti analogici elettromeccanici ed elettronici. Componenti per l'ampliamento del campo di misura: trasformatori di tensione e corrente, attenuatori, amplificatori, convertitori ca-cc di precisione, moltiplicatori analoghi Campioni di f.e.m. Metodi potenziometrici. Strumenti numerici. Registratori XY e Xi, Oscilloscopio. Registratore di transistori. Oscilloscopio a memoria numerica. *MISURE DI IMPEDENZA.* Componenti di precisione e reti equivalenti; Parametri indesiderati dei circuiti. Metodi indiretti e per sostituzione. Metodi volta in perimetrico, di zero, di risonanza. Strumenti automatici. *MISURE SUI CIRCUITI IN REGIME STAZIONARIO E IN TRANSITORIO.* Determinazione del regime dei circuiti in corrente continua, in corrente alternata monofase e trifase. La risposta dei circuiti nel dominio del tempo e della frequenza. Analizzatore di reti.

*SISTEMI COMPLESSI DI MISURA, SISTEMI DI ACQUISIZIONE DATI, TELEMISURE.* Strumenti di misura a microprocessore Interfaccia standard IEEE-488 per apparecchi di misura programmabili. Componenti di un sistema per l'acquisizione di dati. Problemi di diagnostica e di autodiagnostica. Sistemi a video, grafico con allarmi. Telemisure: concetti generali, sistemi analogici, sistemi numerici. Le esercitazioni svolte in aula riguardano approfondimenti e completamenti de argomenti trattati nelle lezioni. Le esercitazioni svolte in laboratorio riguardano la strumentazione (in particolare l'oscilloscopio), prove su componenti perat1tomazione tramite un banco automatico di misura, esempi di analisi di segnali e di filtraggio numerico, la determinazione sperimentale di alcuni parametri caratteristici di trasduttori.

Nell'A.A. 1982/83 Stefano Pirani diventa ricercatore di Misure Elettriche.

Nell'A.A. 1984/85 Renato Sasdelli e Domenico Mirri diventano professori associati di Misure Elettriche.

Nell'A.A. 1985/86 Domenico Mirri assume l'incarico di Misure Elettroniche per il corso di laurea in Elettrotecnica e Renato Sasdelli quello di Misure e Regolazione degli Impianti Elettrici. Antonio Menchetti assume l'incarico del corso sdoppiato di Metodi e Osservazioni di Misure. Domenico Mirri assume anche l'incarico di Misure Elettriche del corso di laurea in Elettronica (corso sdoppiato con Mario Rinaldi). Mario Gasparini va in pensione.

### **MISURE ELETTRONICHE (per gli Elettrotecnici): Domenico Mirri**

Richiami sugli amplificatori in C.C., sugli amplificatori operazionali e sui circuiti con amplificatore operazionale. Effetto delle caratteristiche non ideali dell'amplificatore operazionale.

Rumore e sua caratterizzazione.

Voltmetri analogici per c.c.: caratteristiche e prestazioni; voltmetri a chopper. Circuiti per l'elaborazione analogica dei segnali: raddrizzatori ad una e a due semionde; amplificatori logaritmici ed esponenziali; moltiplicatori; divisori; estrattori di radice quadrata.

Convertitori AC/DC a valor medio, a valore di cresta e a valore efficace: sensibilità, limiti di frequenza, precisione.

Wattmetri elettronici.

Richiami sui circuiti a retroazione instabili.

Oscilloscopio: principio di funzionamento, schema a blocchi, sensibilità, limiti di frequenza. Esempi di applicazione.

Circuiti logici sequenziali: flip-flop asincroni e sincroni; registri; contatori. Frequenzimetro numerico: principio di funzionamento, schema a blocchi, cause di errore, prestazioni.

Convertitori D/A e A/D: principali soluzioni circuitali, parametri caratteristici. Voltmetri numerici; cause di errore, prestazioni. Multimetri numerici.

Cenni sulle memorie digitali. Teorema del campionamento.

Registratori di transistori: principio di funzionamento, schema a blocchi, parametri caratteristici, cause di errore.

Oscilloscopio a memoria digitale: schema a blocchi.

Apparecchi di misura programmabili. Interfaccia HP-IB. Sistemi di acquisizione dati.

Diodi a semiconduttore e transistori bipolari in regime impulsivo.

Bipoli a resistenza negativa: diodo a quattro strati, SCR (caratteristiche statiche e dinamiche), Triac.

### **MISURE E REGOLAZIONE DEGLI IMPIANTI ELETTRICI: Renato Sasdelli**

*METROLOGIA.* Richiami di metrologia generale. Unità e campioni delle grandezze fondamentali nel Sistema Internazionale. Elementi di metrologia elettrica. Caratteristiche metrologiche statiche e dinamiche di componenti ed apparecchiature di misura. *MISURE DI IMPEDENZE.* Componenti di precisione e loro reti equivalenti. Influenza dei parametri indesiderati nei circuiti di misura. Ponti per misure a tre morsetti. *MISURE DI GRANDEZZE NON ELETTRICHE.* Misure di temperatura: termometri a mercurio, a resistenza, termocoppie, pirometri; misura di temperatura media di avvolgimenti; problemi nell'uso di ponti a squilibrio per misure di temperatura. Misure di velocità e di accelerazione: generatori tachimetrici; stroboscopi; altri metodi; accelerometri. Misure di coppia e di potenza meccanica. Misure di spostamento. Misure di rumore: trasduttori; fonometri; metodi per la determinazione della potenza sonora e del livello di pressione sonora. *MISURE SULLE MACCHINE ELETTRICHE PER LA DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO.* Problemi generali: caratteristiche nominali delle macchine elettriche; localizzazione delle perdite e loro eventuale riporto a temperatura convenzionale; misura del rendimento delle macchine elettriche. Misure sui trasformatori: misura delle perdite; determinazione dei parametri del circuito equivalente; determinazione del rapporto di trasformazione; misura dell'impedenza alla sequenza zero; prove sugli autotrasformatori. Misure sui motori asincroni: misura delle perdite e loro separazione; determinazione dei parametri del circuito equivalente; rilievo diretto della caratteristica meccanica; determinazione del diagramma circolare; determinazione dei parametri del circuito equivalente del motore monofase a condensatore. Misure sulle macchine in corrente continua: misura delle resistenze; rilievo delle caratteristiche; determinazione del rendimento; misura dei parametri caratteristici nel funzionamento transitorio in corrente continua. Misure sulle macchine sincrone: determinazione delle curve caratteristiche; determinazione delle reattanze di una macchina

sincrona; valutazione delle perdite. *PROVE TERMICHE*. Natura e scopo delle prove. Potenza nominale e tipo di servizio di una macchina elettrica. Misura della temperatura dell'ambiente e delle parti delle macchine. Metodi per la realizzazione del carico. Prove a circolazione d'energia. Prova in corto circuito e trasformatori in olio. Durata delle prove. Valutazione dell'esito delle prove. *PROVE DI ISOLAMENTO*. Natura e scopo delle prove. Schema generale di un impianto per prove di isolamento e requisiti dei componenti. Prove con tensioni alternate e con tensioni a impulso. *MISURE DI SCARICHE PARZIALI*. Parametri caratteristici delle scariche parziali. Circuiti di rilevazione e misura delle scariche parziali. Identificazione e localizzazione delle scariche come controllo tecnologico su trasformatori e condensatori. *COLLAUDO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI*. Misura della resistenza di isolamento. Misura delle cadute di tensione. Verifica del corretto dimensionamento delle apparecchiature di protezione. Misure sugli impianti di terra: misura della resistività del terreno, della resistenza di terra, dell'impedenza di guasto, delle tensioni di passo e di contatto. Misure di illuminamento. *MISURE E PROVE SUI COMPONENTI D'IMPIANTO*. Ponti per misure di capacità in alta tensione. Prove sui cavi per energia. Misure e prove su interruttori.

Nell'A.A. 1990/91 Antonio Menchetti passa da Metodi e Osservazione di Misure a Misure Elettriche per gli elettronici. Domenico Mirri assume anche l'incarico di Misure Elettroniche nella nuova Facoltà di Ingegneria a Ferrara.

Nell'A.A. 1992/93 Stefano Pirani diventa Professore Associato di Misure Elettriche e gli viene assegnato il corso di Complementi di Misure Elettriche nel corso di laurea in Elettrotecnica. Gaetano Pasini diventa Ricercatore di Misure Elettriche. Nel 1993 viene pubblicata da ISO/IEC la guida alla valutazione dell'incertezza di misura (la GUM). La traduzione italiana viene pubblicata come UNI CEI ENV.

Nell'A.A. 1994/95 Pirani assume l'incarico di Sensori e Trasduttori nel corso di laurea sia di Elettronica sia di Elettrotecnica.

Nell'A.A. 1995/96 Rinaldi assume anche l'incarico di Affidabilità, Controllo e Gestione della Qualità nel corso di laurea in Ingegneria Gestionale. Viene ristampata con poche correzioni la GUM.

Nell'A.A. 1996/97 Mirri assume anche l'incarico di Strumentazione Elettronica di Misura nel corso di laurea magistrale in Elettrotecnica. Questo corso si propone di fornire agli studenti in elettrotecnica anche le informazioni propedeutiche di Teoria dei Segnali necessarie per potere capire il funzionamento della moderna strumentazione. Viene pubblicato un libro su questo argomento, in collaborazione con Gaetano Pasini, dalla casa editrice Cedam. In agosto muore Antonio Menchetti. Lorenzo Peretto assume l'incarico di Strumentazione e Misure Elettroniche per il diploma in Ingegneria Elettronica a Cesena.

### ***STRUMENTAZIONE ELETTRONICA DI MISURA (per gli elettrotecnici):***

#### **Domenico Mirri**

*SEGNALI E SISTEMI NEL DOMINIO DEL TEMPO*. Segnali tempo-continui. Segnali tempo-discreti. Sistemi tempo-continui. Sistemi tempo-discreti. *SEGNALI E SISTEMI NEL DOMINIO DELLA FREQUENZA*. Introduzione. Trasformata di Fourier tempo-continua. Serie di Fourier tempo-continua. Analisi dei sistemi

LTI nel dominio della frequenza. Trasformata di Fourier tempo-discreta. Serie di Fourier tempo-discreta Funzione caratteristica. Trasformata di Fourier di un segnale periodico troncato. *CARATTERIZZAZIONE METROLOGICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI*. Introduzione. Amplificatore di tensione. Non idealità dell'Op Amp e loro effetti. Amplificatore di tensione in corrente alternata. Circuito Sample-Hold. Rumore di quantizzazione. Segnali quantizzati aleatori. Convertitori digitali-analogici. Convertitori analogici-digitali. Convertitori A/D a integrazione. *STRUMENTAZIONE DIGITALE*. Standard IEEE488. Multimetro digitale. Contatore universale. Wattmetro a campionamento. Oscilloscopio analogico. Oscilloscopio digitale. Analizzatore di spettro digitale. Sono previste esercitazioni di laboratorio.

Nell'A.A. 1997/98 Pirani si trasferisce all'Università di Ancona dove assume l'incarico di Misure Elettroniche nella Facoltà di Ingegneria; mantiene però l'incarico di Sensori e Trasduttori a Bologna. Lorenzo Peretto prende servizio come Ricercatore di Misure Elettriche.

Nell'A.A. 1998/99 l'insegnamento delle Misure Elettriche nel Corso di Laurea in Elettronica passa dal quinto al quarto anno ed assume il nome di Misure Elettroniche con due docenti (corso sdoppiato): Mario Rinaldi e Domenico Mirri. Iuculano e Mirri pubblicano il libro *Misure Elettroniche* con la casa editrice Cedam.

#### **MISURE ELETTRONICHE (per gli elettronici): Domenico Mirri**

*FONDAMENTI DELLA MISURAZIONE*. Introduzione. Risultato della misurazione. Misura trattata come variabile aleatoria. Postulato della misurazione. Probabilità. Densità di probabilità. Valore atteso. Varianza. Approssimazione di Taylor per una generica funzione della misura. Ineguaglianza di Tchebycheff. Livello di fiducia nel risultato di misurazione. Una formulazione alternativa del livello di fiducia. Incertezze di Categoria A e B. Legge di propagazione delle incertezze. Somma di Misure. Prodotto di due misure. Quoziente di due misure. *SISTEMI DI UNITA DI MISURA E CAMPIONI*. Introduzione. Sistema Internazionale di unità di misura. Unità fondamentali e derivate della meccanica. Unità fondamentale di corrente elettrica. Unità derivate delle grandezze elettriche e magnetiche. Ulteriori unità fondamentali e unità supplementari. Norme di scrittura. Campioni. *CARATTERIZZAZIONE METROLOGICA DEI COMPONENTI IN CORRENTE CONTINUA*. Introduzione. Resistore. Resistore lineare tempo-invariante. Resistore lineare tempo-variante. Diodo a giunzione. Generatori campione. Amplificatore di tensione in corrente continua. Non idealità dell'Op Amp e loro effetti. Conversione analogico-digitale e digitale-analogica. Convertitori digitali-analogici (DAC). Convertitori analogici-digitali. (ADC). *STRUMENTI IN CORRENTE CONTINUA*. Introduzione. Standard IEEE 488. Multimetro digitale. Strumento a bobina mobile. Strumenti elettronici analogici. *METODI DI MISURA IN CORRENTE CONTINUA*. Introduzione. Metodo voltampometrico. Metodo potenziometrico. Ponte di Wheatstone. *CARATTERIZZAZIONE METROLOGICA DEI COMPONENTI IN CORRENTE ALTERNATA*. Generalità. Resistore. Condensatore. Induttore. Parametri indesiderati dei circuiti. Amplificatore di tensione in corrente alternata. Circuito Moltiplicatore Analogico. Circuito Sample/ Hold. Effetto piezoelettrico. Oscillatori al quarzo *STRUMENTI IN CORRENTE*

*ALTERNATA*. Generalità. Oscilloscopio analogico. Oscilloscopio digitale. Contatore universale. Convertitori AC/DC. Convertitore AC/DC a valore medio raddrizzato. Convertitore AC/DC a valore di cresta. Misura del vero valore efficace. Convertitore AC/DC a vero valore efficace. Wattmetro analogico. Strumenti elettrodinamici. Wattmetro digitale. Analizzatore di spettro analogico. Analizzatore di spettro digitale. Esempi di determinazione mediante la FFT dello spettro di un segnale periodico. Strumento virtuale. *METODI DI MISURA IN CORRENTE ALTERNATA*. Introduzione. Ponti a quattro lati. Metodo risonante (Q-metro).

Nell'A.A. 2000/01 Gaetano Pasini assume l'incarico di Sensori e Trasduttori che poi diventa Sensori e Trasduttori per l'industria.

Nell'A.A. 2001/02 Domenico Mirri diventa professore straordinario di Misure Elettroniche. Pier Andrea Traverso diventa ricercatore. Vengono attivati i nuovi corsi di laurea (durata triennale) e di laurea specialistica (durata biennale) in sostituzione dei vecchi corsi di laurea. Nell'Ingegneria Informatica e in quella della Automazione scompare il corso di Misure Elettroniche; nell'Ingegneria Elettronica il corso di Misure Elettroniche diventa un corso a scelta del terzo anno. Pasini diventa professore associato di Misure Elettriche e assume l'incarico di Misure Elettroniche a Cesena per il corso di laurea in Ingegneria Elettronica per l'Energia e l'Informazione. Peretto assume l'incarico anche di Affidabilità e Controllo di Qualità nei tre corsi di laurea dell'Informazione.

Nell'A.A. 2002/03 Traverso assume l'incarico di Fondamenti della Misurazione. Paola Rinaldi prende servizio come ricercatore del Gruppo Misura.

Nell'A.A. 2003/04 Peretto diventa professore associato.

Nell'A.A. 2004/05 Traverso assume l'incarico di Misure Elettroniche nel corso di laurea di Ingegneria Elettronica per l'Energia e l'Informazione di Cesena. Peretto assume anche l'incarico di Qualità e Affidabilità di sistemi per ICTL per il corso di laurea in Ingegneria Elettronica a Cesena.

Nell'A.A. 2005/06 Paola Rinaldi assume l'incarico di Qualità e Affidabilità per sistemi ICT L nel corso di laurea in Elettronica a Cesena. Peretto assume l'incarico di Misure per la Conformità e l'Affidabilità per il corso di laurea in Ingegneria Gestionale.

#### 2.32.4. L'epoca moderna

Nell'A.A. 2008/09 Domenico Mirri va in pensione; mantiene però l'incarico, a titolo gratuito, di Strumentazione Elettronica di Misura. Lo sostituisce in Misure Elettroniche Pier Andrea Traverso. Roberto Tinarelli assume l'incarico di Misure e Collaudo di Macchine e Impianti Elettrici in Ingegneria Elettrica.

**Misure Elettroniche e Laboratorio (per gli Elettronici): Pier Andrea Traverso**  
*ELEMENTI DI METROLOGIA E FONDAMENTI DELLA MISURAZIONE.*  
 Scale di misura. Sistemi di unità coerenti ed incoerenti. Equazioni di coordinamento.

Il sistema SI: grandezze fondamentali e derivate. Campioni e riferibilità. Il campione di resistenza: effetto Hall quantistico. Il campione di f.e.m.: effetto Josephson. Norme di scrittura delle unità. Misurando e processo di misurazione. Risorse, attività associate al processo. Il modello del processo di misurazione e le grandezze di influenza. Incertezza di misura. Metodologie per la stima dell'incertezza: sorgenti di incertezza di tipo A e di tipo B. Propagazione dell'incertezza: incertezza combinata, incertezza estesa. Espressione del risultato di una misura. Esempi notevoli di propagazione dell'incertezza nelle misure indirette. *CONVERSIONE A/D E D/A*. Conversione analogico-digitale: teoria di base. Passo di quantizzazione, valore fondo scala, discretizzazione unipolare e bipolare. Codifica di una variabile discreta mediante codice binario naturale, codice bipolare con offset e codice "complemento a due". Principali non idealità della caratteristica statica di un convertitore A/D: errore di offset, di guadagno. Non linearità integrale e sua rappresentazione grafica. Non linearità differenziale. Teoria di base del rumore di quantizzazione. Modello della conversione A/D. Bit effettivi di un ADC. Classificazione degli ADC. Flash-converter a uno e due stadi. Convertitore A/D a gradinata ed asservito. Convertitore A/D a successive approssimazioni. Convertitori A/D ad integrazione: doppia rampa e rampa multipla. Sorgenti di incertezza nella conversione A/D. Conversione digitale-analogica: principali implementazioni per un DAC: rete resistiva a pesi binari e rete a scala. Sorgenti di incertezza nella conversione D/A. *CONVERTITORI AC/DC PER STRUMENTAZIONE DI MISURA*. Parametri per la caratterizzazione "globale" di una forma d'onda: valore di cresta, valor medio raddrizzato, valore efficace. Convertitori AC/DC a valore medio raddrizzato: misura di corrente e di tensione. Sensibilità. Convertitori AC/DC a valore di cresta: limiti superiore ed inferiore di frequenza, sensibilità. Convertitori AC/DC a vero valore efficace integrati. Cenni ai convertitori a termocoppia a componenti discreti ed integrati. *CARATTERIZZAZIONE METROLOGICA DI COMPONENTI E SOTTOSISTEMI*. Rete equivalente del resistore in regime statico. Espressione dell'incertezza relativa e concetto di tolleranza. Coefficiente termico. Fattori che influenzano la resistività. Potenza nominale. F.e.m. di tipo termoelettrico ed effetto Seebeck. Rumore termico. Cenni al rumore di bassa frequenza. Tecnologie per la realizzazione dei resistori. - Generatori di f.e.m. di riferimento: grandezze di influenza ed esempi circuitali. Compensazione in temperatura di generatori basati su diodi Zener. - Amplificatori in corrente continua: offset, sensibilità, guadagno, saturazione. - Circuiti con Op Amp. Parametri statici negli Op Amp: tensione di offset, CMRR, correnti di bias e di offset. Metodologie di misura dei parametri statici. - Generalità sulla caratterizzazione metrologica dei componenti elettronici in regime dinamico. Caratterizzazione del resistore: circuito equivalente. Effetto pelle. Costante di tempo. Tipologie di resistori. Condensatore: rete equivalente. Capacità apparente e pulsazione propria. Fattore di dissipazione ("tangente delta") per la stima della qualità del condensatore. Tipologie di condensatori. Induttore: rete equivalente. Perdite per correnti di Foucault e per isteresi. Pulsazione propria, fattore di qualità. Tipologie di induttori. - Estensione al caso di regime dinamico della caratterizzazione di amplificatori e circuiti con Op Amp. *Multimetro digitale*. Generalità, architettura. Condizionamento della grandezza in ingresso, portate, sensibilità. Cifre del display. Tempo di integrazione. Rapporto di reiezione di modo normale. Rete equivalente di ingresso. Misure fuori massa, disturbo di modo comune. Misure di corrente e di resistenza in DC. Stima ed espressione dell'incertezza di misura. Utilizzo del multimetro per misure in regime dinamico. Esempi

di strumenti commerciali. *OSCILLOSCOPIO A CAMPIONAMENTO*. Generalità, schema a blocchi. Circuiti front-end di condizionamento del segnale. Canale di acquisizione: resistenza di ingresso, circuito sample/hold e convertitore A/D. Circuito e metodi di triggering. Base dei tempi. Memorizzazione dei campioni e tecniche di visualizzazione. Utilizzo delle funzioni più comuni in modalità manuale. Tecniche di campionamento. Campionamento in tempo reale: criterio di Shannon/Nyquist, ricostruzione del segnale mediante filtri a risposta impulsiva finita. Campionamento in tempo equivalente: tecniche sequenziali e aleatorie. Cenni alle architetture per l'incremento della frequenza di campionamento equivalente. Oscilloscopio digitale usato per l'individuazione di disturbi asincroni ed eventi rari. Esempi di strumenti commerciali allo stato dell'arte per applicazioni a RF/microonde e per applicazioni ad alta risoluzione. *ANALIZZATORE DI SPETTRO ANALOGICO*. Generalità. Definizione del misurando. Schema supereterodina. Analisi alla frequenza intermedia. Problema della frequenza immagine. Soluzioni a conversione multipla. Risoluzione in frequenza. Principali funzioni dello strumento. Esempi di strumenti commerciali allo stato dell'arte. *ANALISI SPETTRALE DIGITALE*. Generalità, architetture. Algoritmi per la ricostruzione dello spettro di un segnale campionato: DTFT, DFT, FFT. Aliasing, risoluzione in frequenza. Finestra di osservazione. Zero-padding. Leakage spettrale. Finestre temporali per la riduzione del leakage. *METODI E STRUMENTI PER LA REALIZZAZIONE DI BANCHI AUTOMATICI DI MISURA*. Principali architetture e standard per la realizzazione di banchi automatici di misura. Lo standard IEEE-488. Introduzione all'ambiente LabVIEW: principali caratteristiche, diagramma a blocchi, pannello di controllo. Utilizzo di strutture logiche, sequenze, temporizzazioni. Grafici e tabelle per la visualizzazione dei dati di misura. Esempio di controllo in remoto di un multimetro digitale, di un oscilloscopio a campionamento, di un generatore di funzioni arbitrarie, di un analizzatore di spettro. Valutazione automatica dell'incertezza di misura.

Nell'A.A. 2009/10 Mario Rinaldi e Alberto Burchiani vanno in pensione. Roberto Tinarelli diventa Ricercatore del Gruppo Misure. Paola Rinaldi assume l'incarico di Laboratorio di Affidabilità e Controllo di Qualità nell'area dell'informazione a Bologna.

Nell'A.A. 2010/11 Gaetano Pasini assume anche l'incarico di Misure Elettriche e Laboratorio per il corso di laurea in Elettrotecnica. Lorenzo Peretto assume l'incarico di Strumentazione Elettronica di Misure per il corso di laurea Magistrale in Ingegneria Elettrica. Paola Rinaldi assume l'incarico di Affidabilità e Controllo di Qualità nel corso di laurea Gestionale.

### **Misure Elettriche e Laboratorio (per gli Elettrici): Gaetano Pasini**

Risultato della misurazione; la misura come variabile aleatoria; espressione e la determinazione dell'incertezza di misura: incertezza di tipo A e di tipo B; fattore di copertura; espressione dell'incertezza per misure dirette ed indirette; legge di propagazione dell'incertezza. Il Sistema Internazionale di unità di misura; unità fondamentali, supplementari e derivate; cenno ai campioni di massa, lunghezza, tempo e di grandezze elettriche (corrente, tensione e resistenza). Il concetto di riferibilità.

Caratterizzazione del resistore in DC; misure di resistenza: metodo voltamperometrico, ponte di Wheatstone e applicazione del metodo di sostituzione.



Il condizionamento dei segnali; l'amplificatore operazionale: comportamento ideale e comportamento reale, parametri statici e dinamici per la sua caratterizzazione, esempi di circuiti con amplificatori operazionali e discussione del loro funzionamento. Misure di tempo e di frequenza: discussione dei metodi di misura e dei loro limiti; metodo del contatore reciproco. Processo di conversione A/D: campionamento, quantizzazione e codifica; il dispositivo Sample/Hold. L'aliasing. I convertitori D/A: convertitore R-2R e convertitore a resistori pesati. I convertitori A/D: - convertitori a valore istantaneo (convertitore flash, a rampa semplice, a successive approssimazioni) - convertitori a valor medio (convertitore a doppia rampa, a rampa multipla e convertitore tensione-frequenza).

Definizione e misura dei parametri di ampiezza di un segnale periodico: valore di picco, valor medio, valore efficace.

Il multimetro: misure di tensione e corrente continua ed alternata; misure di resistenza. Le schede di acquisizione: funzionamento, caratterizzazione ed utilizzo. Il problema dei loop di terra. Gli strumenti virtuali.

Definizione di potenza attiva e reattiva e loro misura: wattmetro analogico e wattmetro digitale. L'oscillografo digitale: schema a blocchi, organizzazione della memoria, concetto di trigger e di pretrigger, funzionamento in tempo reale ed in tempo equivalente. Confronto con l'oscillografo analogico.

Bus per il controllo della strumentazione digitale: bus IEEE488.

Parametri passivi dei circuiti: resistori, induttori e condensatori; discussione del loro circuito equivalente e dei parametri per la loro caratterizzazione. Misure di impedenza con metodo voltamperometrico. Ponti per misure di impedenza: ponti in alternata e problemi di convergenza alla condizione di equilibrio. Ponti di Wien, Schering e Maxwell. Trasformatori di tensione (TV) e di corrente (TA); trasduttori ad annullamento di campo e a bobina di Rogowsky. Misure su sistemi trifasi a 3 e 4 fili; il teorema di Aron; inserzione Barbagelata. Misure in regime non sinusoidale: misure di distorsione, misure di contenuto armonico. L'analizzatore di spettro analogico: circuito supereterodina. L'analizzatore di spettro digitale: la DFT, il problema del leakage e la finestatura; cenno al circuito PLL. Strumenti e metodi per la misura della qualità dell'energia. La misura e la localizzazione delle scariche parziali. Cenni alle misure di inquinamento elettromagnetico e alle misure per la compatibilità elettromagnetica. Misure per la caratterizzazione delle macchine elettriche: misure per definirne la potenza. Misure sul trasformatore: prova a vuoto, prova in cortocircuito, misura del rendimento convenzionale, prova di isolamento. Misure sulla macchina asincrona: discussione della prova termica; funzionamento di diversi tipi di freni elettromagnetici. Misure sugli impianti elettrici: definizione della resistenza del picchetto di terra e sua misura; misura della resistività del terreno. Misura dell'impedenza dell'anello di guasto. *Le Prove di Laboratorio*: Misura della resistenza con metodo voltamperometrico a 2 e a 4 morsetti. Determinazione della resistività di un provino in materiale conduttore. Misura di resistenza con metodo a ponte. Implementazione di sistemi automatici di misura basati su LabView. Misura di impedenza con metodo voltamperometrico. Determinazione della frequenza di risonanza di un circuito risonante. Determinazione della cifra di perdita del materiale ferromagnetico. Determinazione del rendimento di un trasformatore per via indiretta. Misura su un sistema trifase simmetrico e squilibrato. Prova termica di un motore asincrono. Misura della resistenza di un picchetto di terra.

Nell'A.A. 2012/13 Paola Rinaldi assume anche l'incarico di Misure per la Conformità e l'Affidabilità nel corso di laurea in Ingegneria Gestionale.

Nell'A.A. 2013/14 Peretto assume anche l'incarico di Misure Meccaniche, Termiche e Collaudo nel Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica.

Nell'A.A. 2014/15 Tinarelli diventa Professore Associato di Misure Elettriche e assume anche l'incarico di Affidabilità e Controllo di Qualità nel corso di laurea di Ingegneria Informatica. Paola Rinaldi assume l'incarico di Affidabilità, Controllo di Qualità nel corso di laurea in Ingegneria Gestionale.

Nell'A.A. 2015/16 Peretto tiene due corsi, quello di *Applied Measurement for Power Systems* nel corso di laurea in Ingegneria Elettrica (curriculum in inglese) e quello di Misure Meccaniche, Termiche e Collaudo per il corso di laurea in Ingegneria Meccanica. Tinarelli assume l'incarico anche di Strumentazione e Metodi per le Misure sui Sistemi Elettrici per l'Ingegneria Elettrica. Negli anni successivi abbandona il corso di Misure e Collaudo di Macchine e Impianti Elettrici.

***Applied Measurements for Power Systems: Lorenzo Peretto***

1. Elements of Metrology; 2. Probability and Statistic; 3. Error and Uncertainty: Evaluation and Expression of Uncertainty in Measurements; 4. Analog and Digital signals; 5. Analysis of signals in time and in frequency domains; 6. Quantities measured in Power Systems; 7. International Standards related to Measurements in Power Systems; 7. Automatic Test Equipments (ATE) for Measurements in Power systems: conditioning circuits & Analog-to-Digital Converter; 8. Sensors and Transducers used for Measurements in Power Systems; 9. Virtual Instrumentation; 10. Distributed Measurement Systems

**Strumentazione e Metodi per le Misure sui Sistemi Elettrici: Roberto Tinarelli**

Elementi di metrologia. Elementi di probabilità e statistica. Sistemi automatici di misura: generalità; sensori e trasduttori: partitori resistivi, partitori capacitivi, trasduttori di corrente ad effetto Hall ad anello aperto e chiuso, traduttori Rogowski, la normativa IEC 61869; Circuiti di condizionamento; Convertitori AD: ADC ideale, Dithering, ADC reale, ADC con segnali variabili nel tempo, ADC in presenza di rumore; sample and hold; blocco di elaborazione e memorizzazione. Valutazione dell'incertezza di misura nei sistemi automatici: sorgenti di incertezza nei sistemi automatici di misura, richiami alla GUM, metodi numerici, esempi applicativi. Richiami di analisi dei segnali tempo continui. Segnali e sistemi tempo discreto: definizione e sequenze particolari; sistemi tempo discreto; trasformata di Fourier di una sequenza. Dal tempo continuo al tempo discreto: formulazione generale del teorema del campionamento; Il caso di segnali periodici; il fenomeno del leakage e le sue conseguenze. Metodi per la riduzione dell'errore di leakage: tecniche di finestratura; interpolazione nel dominio del tempo e della frequenza; sincronizzazione hardware.

Nell'A.A. 2017/18 Peretto diventa professore ordinario di Misure Elettriche.

Nell'A.A. 2018/19 Marco Crescentini, Ricercatore RTD-A, assume l'incarico di docente per il corso di Misure Elettroniche nel corso di laurea in Elettronica per l'Energia e l'Informazione a Cesena. Tinarelli assume l'incarico anche di Misure per la Sicurezza e il Controllo di Processo per il corso di laurea in Ingegneria Elettrica.

Nell'A.A. 2019/20 Peretto assume anche l'incarico di *Instrumentation for Electrical Engineering* nel corso di laurea Magistrale di Ingegneria Elettrica (curriculum in lingua inglese). Traverso assume anche l'incarico di Strumentazione di Misura nel corso di laurea in Ingegneria Meccatronica.

### 2.32.5. Il ruolo delle Misure Elettriche

La sperimentazione è parte integrante della Facoltà di Ingegneria per la interpretazione del mondo fisico e la costruzione di modelli che lo descrivono nei suoi molteplici aspetti particolari, ma anche per verificare il comportamento degli apparati progettati teoricamente dagli ingegneri per risolvere problemi specifici. Le Misure si pongono il problema di come si deve procedere nella sperimentazione e come si debbano esprimere i risultati delle misure. Contrariamente a quanto normalmente si pensa, il risultato di una misura è un intervallo, che può esser individuato dal suo valore centrale, indicato con tutte le cifre certe e la prima incerta, e la larghezza della metà dell'intervallo, chiamato incertezza e definito in passato per via deterministica ed ora in modo probabilistico. Come ricorda la guida alla valutazione dell'incertezza di misura (la GUM), un risultato di misura per essere utilizzabile richiede una indicazione quantitativa della sua attendibilità e qualità. Senza tale indicazione, infatti, i risultati di una misurazione non possono esser confrontati né tra di loro, né con valori di riferimento assegnati da specifiche norme. Tale indicazione si esprime in termine di incertezza del risultato di misura. Gian Paolo Dore era consapevole delle problematiche insite nella determinazione di questo intervallo quando ha introdotto il corso di Metodi di Osservazione e Misure, dedicato essenzialmente allo studio della probabilità, proseguendo in tale modo la tradizione paterna; si proponeva anche, negli ultimi anni, di trasferirsi dal corso di Misure a questa nuova disciplina. Per iniziativa di Gaetano Iuculano, l'allievo di Dore con una straordinaria attitudine per la matematica applicata, questo corso è stato anche la premessa per introdurre un nuovo ambito per la ricerca e la didattica nel Gruppo Misure riguardante l'Affidabilità e il Controllo di Qualità.

Il corso di Misure si propone di descrivere in dettaglio i diversi strumenti di misura e di presentare i molteplici metodi di misura che sono stati introdotti. I moderni strumenti di misura sono tutti una applicazione della Teoria dei Segnali, che studia i segnali (tempo continui e tempo discreti) e i sistemi sia nel dominio del tempo che in quello della frequenza. Da tale teoria si deduce come trasformare i segnali tempo-continui in sequenze di numeri e diventa così una disciplina che è indispensabile conoscere. Inoltre è necessario conoscere e caratterizzare da un punto di vista metrologico i circuiti per il campionamento, per la conversione analogico digitale e digitale analogica. Mentre nel passato ogni strumento era caratterizzato dalla specifica grandezza da misurare perché era la realizzazione analogica della sua definizione matematica, attualmente la grandezza misurabile dipende unicamente dal tipo di software utilizzato; si potrebbe così pensare anche ad uno strumento universale e gli strumenti particolari si distinguono per il tipo di software utilizzato e dall'incertezza che li caratterizza. Nel corso di Misure

viene anche presentato un panorama generale degli strumenti di misura attualmente disponibili sul mercato con le loro caratteristiche distintive anche per quanto riguarda la loro affidabilità. Grazie a queste conoscenze, quando si ha l'occasione di vedere un laboratorio di misure risulta subito evidente, dall'esame degli strumenti, il tipo di preparazione di chi ha provveduto agli acquisti e come essi vengono mantenuti nel tempo.

Un altro aspetto importante del corso di misure è la caratterizzazione metrologica dei componenti e sistemi. Quando si studia la teoria dei circuiti elettrici vengono introdotti la resistenza, la induttanza e la capacità, che sono tutti componenti ideali; nella realtà i circuiti utilizzano componenti reali, ossia resistori, induttori, condensatori, che debbono essere tutti definiti tramite le loro specifiche caratteristiche fisiche e ciascuno di essi quindi deve essere descritto mediante opportuni parametri in base ai quali scegliere il componente reale che meglio soddisfa nella pratica le singole esigenze. Tale argomento è molto ampio, perché sarebbe necessario definire le caratteristiche specifiche di ogni componente, apparato, sistema, impianto e indicare le relative misure per poterle valutare il reale comportamento nelle singole applicazioni specifiche. Una approfondita riflessione su questo problema apre anche un ampio campo di ricerca che dovrebbe forse trovare spazio anche nell'attività didattica. Infatti bisogna distinguere il diverso ruolo delle misure nei sistemi che possono essere descritti mediante modelli dedotti dalle loro caratteristiche fisiche e in quelli invece non conoscibili dal punto di vista fisico e identificabili soltanto attraverso specifiche misure (questi problemi sono approfonditi anche nella Teoria dei Sistemi). Da questo problema derivano anche discipline che nel tempo sono entrate a fare parte del Gruppo Misure, ad esempio i Sensori e i Trasduttori, per i quali altre discipline ne studiano la progettazione mentre i misuristi si pongono il problema della loro caratterizzazione metrologica.

Un altro problema affrontato dalle Misure è quello del Sistema Internazionale delle Unità di Misura e dei relativi Campioni (esso riguarda principalmente la cosiddetta Metrologia Scientifica per la quale esiste in ogni paese un istituto specifico; ad esempio in Italia è l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica di Torino); esiste anche la Metrologia Legale che ha il compito di garantire una precisione adeguata per le apparecchiature utilizzate per quantificare gli scambi di merci. Infine la gestione di un banco automatico di misura è un argomento che non può mancare in un corso di Misure.

Ovviamente, come si può dedurre dai programmi prima presentati, ogni area disciplinare richiede la trattazione di applicazioni specifiche. Una caratteristica distintiva che si è mantenuta però nel tempo nei diversi corsi di Misura sono le esercitazioni di laboratorio con la relativa relazione per controllare che i risultati delle misure vengano presentati correttamente.

Le Misure hanno mantenuto nel tempo un ruolo fondamentale nell'ambito del corso di laurea in Ingegneria Elettrica (forse anche perché sono nate come filiazione dell'Elettrotecnica); ciò però non è accaduto negli ultimi anni nell'ambito dei diversi corsi di laurea del settore dell'Informazione, dove le Misure sono assenti o sono diventate una materia a scelta.

## 2.33. PIERO POZZATI. UN MAESTRO DELL'INGEGNERIA

*Pier Paolo Diotallevi*

Se l'appellativo di “Maestro” significa, come riportato dalla Treccani: «Conoscitore profondo di una qualche disciplina, che egli possiede integralmente e che può insegnare agli altri nella maniera più proficua», mai tale termine risulta di più appropriata attribuzione e si addice al professor ingegner Piero Pozzati, che ha fondato, costruito e insegnato la disciplina della Tecnica delle costruzioni rivolta agli ingegneri civili, dei quali fu anche uno dei componenti di più alta distinzione, insegnando e formando più generazioni di studenti.

In lui si concentrano e trovano la loro massima espressione il valore ed il rigore scientifico, la capacità di innovazione, una didattica di chiara limpidezza ed efficacia unite ad una grande capacità di coinvolgimento e di interazione nei rapporti umani.

Raccogliere in poche righe il valore umano e scientifico del professor Pozzati è impresa di estrema difficoltà e inevitabilmente si presenterà incompleta e non adeguata allo spessore culturale di questo grande Maestro dell'Ingegneria come di fatto è stato.

### 2.33.1. Percorso accademico

Conseguì la laurea in Ingegneria Civile - Sezione trasporti con il massimo dei voti *et laude*, presso l'Università degli Studi di Bologna, subito dopo la fine della Seconda guerra mondiale, nel dicembre dell'anno 1945.

Iniziò subito, nell'anno 1946, la sua carriera scientifica e didattica quale Assistente volontario presso l'Istituto di Scienza delle Costruzioni della medesima Università nella quale aveva studiato; Istituto, che era diretto all'epoca dal professor ingegner Odone Belluzzi, titolare della cattedra di Scienza delle costruzioni e suo sempre dichiarato maestro.

Il suo percorso universitario è stato particolarmente brillante, nonostante le difficoltà dei tempi. Nel 1947 è assistente presso lo stesso Istituto e nel giugno del 1949 consegue la libera docenza in Scienza delle Costruzioni.

Nel 1950 assume l'incarico di professore di *Costruzioni in Legno, Ferro e Cemento Armato* insegnamento attivo dal 1942 e tenuto fino ad allora, per incarico, dal professor Belluzzi. Nel 1954 vince, primo ternato, il concorso alla cattedra di Scienza delle Costruzioni bandito dal Politecnico di Torino. Successivamente, nell'anno accademico 1955/56, fu chiamato – per trasferimento – a Bologna, presso la Facoltà di Ingegneria nell'Istituto di Scienza delle Costruzioni.

Fu nel contempo incaricato dalla Facoltà di tenere l'insegnamento della cattedra di *Costruzioni di Ponti*; cattedra che era vacante, sempre presso la medesima

Università di Bologna. In quegli anni (1956-1966) svolse anche l'insegnamento specialistico di *Lastre piane e curve* presso la Scuola di Specializzazione per le Costruzioni di Cemento Armato del Politecnico di Milano. La sua docenza presso la Facoltà d'Ingegneria della Università degli Studi di Bologna è stata tenuta, ininterrottamente, per ben oltre quarantacinque anni! Intere generazioni di giovani allievi ingegneri sono stati da lui formati, nel settore disciplinare della "ingegneria strutturale", con il rigoroso impegno scientifico che ha sempre caratterizzato il suo insegnamento.

Nel 1956 gli venne conferito l'incarico della direzione dell'Istituto di Scienza delle costruzioni a seguito della morte del professor Belluzzi avvenuta il 24 agosto dello stesso anno. Nell'anno successivo la direzione dell'Istituto di Scienza delle costruzioni venne assegnata al professor Osvaldo Zanaboni e venne costituito l'*Istituto di costruzioni in legno, ferro e cemento armato* del quale il professor Pozzati assunse la direzione, costituendo così il primo nucleo di un nuovo raggruppamento disciplinare.

Continuò a tenere l'insegnamento di *Costruzioni in Legno, Ferro e Cemento Armato* fino al 1960, anno nel quale si ampliò, con una nuova denominazione, il contributo scientifico della materia da lui insegnata raggiungendo autonomia e distinzione rispetto alla Scienza delle costruzioni.

Da questo anno infatti si costituì un nuovo settore scientifico-disciplinare denominato Tecnica delle costruzioni. La istituzione di questa nova disciplina venne promossa dallo stesso professor Pozzati unitamente ad altri docenti delle scuole di Napoli e Torino. Il professor Pozzati divenne professore ordinario di Tecnica delle costruzioni e la denominazione dell'insegnamento di *Costruzioni in legno ferro e cemento armato* divenne *Tecnica delle costruzioni*. Anche l'istituto di *Costruzioni in legno ferro e cemento armato* modificò la denominazione in *Istituto di Tecnica delle costruzioni* del quale tenne la magistrale direzione fin quasi alla sua età di pensionamento ed uscita dal ruolo avvenuta nel 1992.

L'obiettivo fondamentale delle modifiche relative alle suddette denominazioni di settore scientifico, di insegnamento e di Istituto risiede in una nuova e più attenta visione della formazione culturale degli ingegneri, visione che venne concretizzata nell'obiettivo del progetto. Esso infatti si fonda sulle conoscenze specifiche proprie della scienza delle costruzioni, delle conoscenze matematiche e fisiche, e si evolve nella progettazione come ideazione ed insieme di conoscenze utili e necessarie alle realizzazioni delle costruzioni. Questo cambiamento avviene nel clima della ricostruzione post-bellica nella quale iniziative e sfide hanno trovato nella nuova disciplina sostegno teorico e realizzativo guidando i progettisti alla visione generale di un'opera e fondendo in essa conoscenze, sperimentazione, inventiva e intraprendenza per nuove e sempre più sofisticate sfide tecniche.

Nell'ambito delle attività accademiche è da rilevare inoltre l'assunzione della Direzione della Biblioteca di Facoltà che tenne dal 1956 al 1960 e di delegato della Facoltà di Ingegneria presso la Biblioteca Universitaria.

Dunque è dal 1960 che inizia la vicenda della Tecnica delle costruzioni con all'interno una forte carica innovativa, promossa dalla lungimiranza e dalla competen-

za del professor Pozzati, che ha portato all'ampliamento della materia propria della progettazione strutturale con l'attivazione di nuovi insegnamenti mirati, anche sulla base di esperienze di ricerca, a corsi che acquisirono le seguenti denominazioni: *Tecnica delle fondazioni*, *Complementi di Tecnica delle costruzioni*, *Costruzioni metalliche*, *Costruzioni in zona sismica*, oltre allo sdoppiamento dell'insegnamento di Tecnica delle costruzioni in ragione del rilevante incremento del numero di studenti iscritti al Corso di ingegneria civile avvenuto negli anni Settanta.

### 2.33.2. Il pensiero scientifico

Il professor Pozzati ha saputo costruire un modo di pensare e di riflettere che ha trasmesso con indicibile dedizione agli studenti esercitando in modo eccellente il suo compito di insegnante.

Già negli anni Ottanta, quale frutto del suo approfondimento scientifico e culturale, rivolse molte delle sue attenzioni ai problemi della responsabilità che investe gli ingegneri nell'ambito della loro attività, responsabilità non solo tecniche ma anche etiche. Una prima testimonianza di questo approfondimento è l'essere stato chiamato, dall'allora Rettore dell'Ateneo di Bologna, professor Fabio Roversi Monaco, a tenere la prolusione generale nell'ambito della celebrazione del nono centenario della nascita dell'Ateneo Bolognese: il tema, dal titolo molto conciso ma estremamente significativo fu *Responsabilità Etiche della Tecnica*. Con tale prolusione aprì pubblicamente un nuovo campo di formazione per gli ingegneri inserendo la tecnica, e in particolare la Tecnica delle costruzioni, in un più ampio ambito culturale, ugualmente necessario, al pari delle conoscenze tecniche e scientifiche nella formazione e nella professione di ingegnere. A sottolineare la particolare importanza dell'evento ricordo che in occasione delle celebrazioni dell'ottavo centenario dell'Ateneo di Bologna, la prolusione generale venne tenuta da Giosuè Carducci.

La sua attività didattica si concluse formalmente nell'anno accademico 1991/92 e la sua ultima lezione – *lectio magistralis* – fu tenuta in data 3 giugno 1992 sul tema *Proliferazione delle Normative e del tecnicismo*, argomento del quale ha portato contributi essenziali e rilevanti nella sua vicenda scientifica e culturale.

Nell'anno 1997, il Consiglio di Facoltà d'Ingegneria della Università degli Studi di Bologna, lo elesse al ruolo di professore emerito di *Tecnica delle costruzioni*.

Nell'anno accademico 2000/01 gli venne conferito dalla Facoltà d'Ingegneria dell'Università degli Studi di Pavia (IUSS) l'incarico di tenere il Corso di *Etica ambientale*, tema ed argomento da lui sviluppato e approfondito già dagli anni Ottanta. Su suo impulso venne costituito presso la Biblioteca G.P. Dore della Facoltà di Ingegneria un "Centro di documentazione sull'etica ambientale" e venne anche istituito un insegnamento di Etica ambientale per gli studenti di Ingegneria.

Molti sono i riconoscimenti della sua attività accademica e scientifica e qui ne cito alcuni: nel 1977 ricevette la medaglia d'oro del Ministero della Pubblica Istruzione per "Benemerenze nella Scuola, nella Cultura e nell'Arte" accompa-

ta dal Diploma di I Classe con medaglia d'oro; nel 1981 è nominato Accademico Benedettino dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Scienza, Lettere ed Arti di Bologna, e nel 1995 è nominato membro Corrispondente dell'Academia Nacional de Ingeniería di Buenos Aires.

Terminato il percorso universitario è stato chiamato a reggere la Presidenza del *Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici* nei difficili anni della situazione di grave crisi generale della Nazione Italiana (1992-1994) che in quel periodo ha avuto pesanti ripercussioni principalmente nel settore dei Lavori Pubblici ed anche in quello dei Lavori Privati. Nel corso della sua Presidenza si provvedeva alla stesura e al varo della *Legge Quadro sui Lavori Pubblici*.

Questa Legge restituiva al "progetto" dell'opera la sua centralità nonché anche al "progetto e al processo costruttivo", coinvolgendo tutte le figure interessate alla realizzazione dell'opera, tra le quali gli Operatori Economici, la Committenza, il Progettista, il Direttore dei Lavori, il Collaudatore e l'Impresa.

Sempre sotto la sua Presidenza si pervenne alla stesura ed al varo, nell'ambito del recepimento della Normativa Europea all'interno delle normative nazionali, degli *Euro-Codici EC2 ed EC3*, quale ulteriore testimonianza della sua propensione all'approfondimento della disamina tecnica ed apertura al sistema normativo che si stava affermando in contesto europeo, senza tuttavia perdere o dimenticare la centralità del progettista e delle sue responsabilità nel processo costruttivo.

Importanti ruoli inoltre ha ricoperto all'interno del CNR, lasciando anche in questo organo preposto alla organizzazione della ricerca in ambito nazionale, tracce e impostazioni indelebili.

### 2.33.3. Il docente

Dopo questo breve e sintetico *excursus* storico sui ruoli e sulle attività svolte dal professor Pozzati vorrei ora entrare nel merito di alcuni aspetti della sua figura di maestro dell'ingegneria; in particolare cercherò di tratteggiare la sua figura innanzi tutto di docente, di scienziato, di ingegnere e di uomo, anche se queste qualità in realtà non sono fra loro scindibili ma costituiscono un insieme armonico caratteristico della sua persona.

Ha formato diverse generazioni di ingegneri insegnando per più di quaranta anni nella Facoltà di Ingegneria con un insegnamento appassionato dal quale traeva profonde soddisfazioni con un sentimento di amore verso la Scuola; tutti i suoi allievi, ed io fra questi, hanno tratto grande passione per la materia da lui insegnata, sempre presentata con limpida chiarezza e resa facile e comprensibile dalla sua straordinaria capacità di presentare anche le situazioni più complesse in maniera chiara, evidente e convincente: sapeva rendere semplici e comprensibili anche le situazioni più complesse.

Riprendo quanto riportato nella presentazione del volume che raccoglie le sue opere principali redatto nel 1992 in occasione della sua uscita dal ruolo di professore ordinario:



Il suo insegnamento trasmesso attraverso lezioni esemplari per chiarezza, carica emotiva e “spessore” dei contenuti, ha profondamente inciso nella preparazione degli allievi, tanto da rendere il corso di Tecnica delle costruzioni un momento essenziale per la maturazione culturale dello studente e per l'armonico collegamento tra l'apprendimento scientifico e l'esercizio della professione.

La vocazione, squisitamente universitaria, al ruolo di “Maestro”, è stata per il professor Pozzati una vera e propria ragione di vita. Ne è testimonianza la mole notevolissima di pubblicazioni e il vasto spettro delle sue attività universitarie.

E si concludeva quella presentazione con le seguenti parole:

Noi allievi [ed io fra questi] ci sentiamo privilegiati e riconoscenti per aver potuto studiare e lavorare accanto ad un “Maestro” che ha saputo trasmettere il suo pensiero scientifico e il suo metodo di lavoro in modo eccellente e capillare anche con generosi sacrifici personali.

#### **2.33.4. L'attività scientifica e le pubblicazioni**

Numerose e tutte importanti sono le pubblicazioni che raccolgono il suo pensiero scientifico. Prime fra tutte i quattro volumi di *Teoria e tecnica delle strutture*, testi fondamentali per gli ingegneri ed in particolare per i progettisti di strutture; in essi sono raccolti ed affrontati con grande chiarezza i temi della progettazione strutturale analizzati sempre con estremo rigore scientifico, particolare competenza e chiarezza. Questi testi sono di costante consultazione per gli ingegneri progettisti.

Vorrei qui ricordare alcuni degli argomenti principali che sono stati oggetto delle sue riflessioni scientifiche e tecniche, consapevole della possibile incompletezza della quale mi scuso.

Si è particolarmente dedicato, fin dai primi lavori pubblicati, allo studio dei corpi bidimensionali (lastre) nelle più svariate forme, condizioni di carico e di vincolo; l'estensione dei criteri di calcolo ai solai a fungo ha portato ad una formulazione completa ed esaustiva utile per la progettazione. I metodi analitici impiegati hanno fatto prevalentemente riferimento alle soluzioni con sviluppi in serie trigonometriche, semplici o doppie, differenze finite. Le superfici di influenza di lastre piane sono state studiate con estensione ai corpi bidimensionali del teorema di Land, fornendo un metodo, assai utile, per la progettazione di tali elementi costruttivi.

Telai e sistemi di aste sono state un argomento di estrema rilevanza nella sua produzione scientifica: ben nota è l'applicazione di procedimenti iterativi a telai con nodi spostabili. Essa è sempre stata da Lui nominata come “estensione del metodo di Cross” e così è stata sempre richiamata nelle sue lezioni. Per dare la dovuta considerazione a questo metodo innovativo (con l'introduzione dei momenti IV in una pubblicazione del 1954) ricordo che tale procedimento è sempre stato denominato, al di fuori di Bologna e a testimonianza della sua modestia, come “metodo di Pozzati” così come riportato in tutti i testi che lo citano. In precedenza i suoi studi sui telai con

nodi che ruotano e traslano lo hanno portato a formulare una soluzione completa della trave Vierendeel eliminando la drastica semplificazione, fino ad allora utilizzata, di considerare i montanti come infinitamente rigidi od anche i nodi dotati della sola possibilità di traslare senza ruotare. Anche in questo caso con una soluzione iterativa si poteva raggiungere il grado voluto di precisione.

Nell'affrontare i diversi problemi per la soluzione delle strutture ha sempre privilegiato metodi numerici, spesso iterativi, atti a fornire risultati con il livello di approssimazione richiesto, consapevole della potenza degli strumenti di calcolo allora disponibili: sviluppi in serie, soluzioni iterative, metodi alle differenze finite, soluzioni in forma chiusa quando possibile evidenziando anche, ma non è necessario che lo sottolinei, la solida ed ampia base di formazione matematica di cui disponeva e che sapeva al meglio utilizzare cogliendo sempre l'essenza dei problemi oggetto di studio.

Altro tema nel quale ha lasciato traccia indelebile è contenuta nei suoi *Metodi di calcolo delle fondazioni*, pubblicato in più articoli sequenziali, nei quali affronta tutti i temi, allora non ancora organicamente organizzati, delle strutture di fondazione superficiali: plinti, travi, reticoli di travi e platee rigide e su suolo elastico, dando, come sempre, agli ingegneri un indispensabile strumento per la progettazione. In tutti i temi da lui affrontati l'obiettivo dunque era sempre quello di fare riferimento a veri problemi ingegneristici e di dare soluzioni praticabili e utili nell'ambito della progettazione.

Sempre nell'ambito di strutture interagenti con il terreno di estrema rilevanza sono le pubblicazioni relative al metodo di calcolo delle paratie. Anche in questo caso generalizzazioni e approfondimenti per il calcolo dell'approfondimento e dello stato di sollecitazione di paratie con e senza tiranti hanno portato alla definizione di semplici digrammi di estrema utilità nella progettazione fornendo in modo sintetico la soluzione per diverse classi di problemi.

Le strutture precomprese, che nel dopoguerra si sono imposte come metodo di progettazione avanzato ed innovativo, hanno costituito un campo nel quale la sua capacità di analisi e di sintesi hanno fatto storia, ancora una volta. Vengono introdotti criteri di progettazione delle sezioni mediante un coefficiente di forma e si introduce inoltre il criterio progettuale sulla distribuzione dei cavi con l'idea della individuazione dei cavi limite. Anche l'applicazione a strutture iperstatiche della precompressione, situazione particolarmente complessa per l'insorgere di momenti parassiti, viene trattata, impostata e risolta.

Un esempio mirabile di questa sua conoscenza e della capacità di applicazione si trova ad esempio nel trampolino di Cortina costruito in occasione delle Olimpiadi del 1956. In un suo articolo dell'anno precedente illustra i criteri di progettazione di questa singolare ed unica struttura con una altezza di oltre 44m e una unica campata della rampa di oltre 65m. Ma ciò che più stupisce in quel progetto è la tecnica utilizzata: la precompressione parziale, tecnica allora ancora in fase di definizione e di sperimentazione, tecnica che si è poi affermata solo nei decenni successivi.

Lastre curve per sili e serbatoi, volte scatolari, superfici di rivoluzione sono stati oggetto di studi e della definizione di procedimenti risolutivi interpretando il com-

portamento con soluzioni di fatto semplici, ma tali solo dopo che sono state da lui formulate ed esposte. Generalizzazioni di soluzioni già note e parziali di queste tipologie costruttive hanno permesso di approfondirne lo studio spesso rimuovendo ipotesi semplificative non sempre legittime e con limitati appesantimenti delle calcolazioni per le quali privilegiato è sempre stato l'uso degli sviluppi in serie.

Estensione di questi criteri poi sono stati applicati agli impalcati da ponte a casone con una o più celle sottoposti, per effetto dei carichi mobili, a sollecitazioni torsionali. Queste tipologie costruttive si sono poi imposte per la costruzione di ponti di grande luce.

Il moltiplicatore dei carichi che provoca il collasso di una struttura intelaiata iperstatica può essere determinato con riferimento a strutture isostatiche piuttosto che ad una configurazione labile; questo procedimento, introdotto in una delle sue pubblicazioni, porta ad una più efficiente applicazione dei criteri di Greenberg-Prager riportando anche una più semplice dimostrazione dei criteri di valutazione del carico di collasso da essi individuati

Anche nel campo della dinamica e del comportamento sismico delle strutture i suoi contributi sono stati di fondamentale importanza. Non dimentichiamo che proprio in ragione di una sua visione lungimirante della Tecnica delle costruzioni presso la Facoltà di Ingegneria e l'Istituto da lui diretto furono avviati gli studi ed i corsi per ingegneri relativi alla progettazione in zona sismica. Nel campo della dinamica delle strutture l'applicazione di metodi iterativi da lui proposti e semplificazioni nelle soluzioni di strutture complesse hanno fatto da guida per lo studio del comportamento sismico delle strutture: i fondamenti sono raccolti in una nota da lui presentata in occasione di un lungo seminario organizzato nel 1984 presso la Facoltà di Ingegneria e dedicato agli ingegneri. Oltre ai fondamenti della sismica in quella nota si anticipano i criteri della ripartizione delle azioni orizzontali generate dal sisma fra diversi elementi strutturali di irrigidimento nonché i criteri per la valutazione di strutture sottoposte a sismi violenti, criteri poi adottati in ambito normativo.

Nella sua progressione scientifica il professor Pozzati ha poi rivolto l'attenzione alle implicazioni etiche della tecnica. Un primo e fondamentale momento di questa sua attenzione e riflessione si è manifestato in occasione, novembre 1987, delle celebrazioni del nono centenario della fondazione dell'Ateneo di Bologna, tema sul quale ritorno dopo il breve cenno riportato nell'ambito delle sue attività accademiche. La dissertazione intitolata *Responsabilità etiche della tecnica e riflessi sulla formazione dei giovani* rappresenta un punto di maturazione del suo pensiero e di avvio delle sue riflessioni nel campo più ampio dell'etica. Uno dei suoi obiettivi principali è sempre stato quello di pensare ai giovani e alla loro formazione come nel citato testo emerge con chiarezza e decisione.

Si apre con quella prolusione, un nuovo campo di studi nella visione della tecnica inserita in una organizzazione di pensiero e di azione che va oltre i soli riferimenti analitici, tecnici e tecnologici, ma si inserisce nella visione più ampia e totalizzante della incidenza nello sviluppo del mondo, della società e della responsabilità sia del singolo sia del quadro formativo dei giovani.

Si prendono in esame gli aspetti della problematica che riguarda il modo di operare del “tecnico” che viene sempre più chiamato a misurarsi con una inedita “responsabilità” e si conclude con l’auspicare la consegna alle generazioni future di un pianeta Terra in condizioni tali da poter assicurare loro una “qualità di vita” degna di essere vissuta.

Questi temi vengono trattati nelle lezioni di Etica ambientale, corso del quale ebbe l’incarico dall’Università di Pavia e sono contenuti nel volume, da lui redatto e pubblicato nel 2007 dal titolo *Verso la cultura della responsabilità – Ambiente, tecnica, etica*.

Alcuni di questi temi sono già richiamati nella sua ultima lezione nell’Università di Bologna tenuta il 3 giugno 1992; il solo titolo è assai significativo: *Proliferazione delle normative e tecnicismo*, segno del grande impegno profuso anche nell’indicare la strada ed essere la guida per uno sviluppo appropriato della Tecnica come poi dimostrerà nell’ambito della sua presidenza del Consiglio Superiore di Lavori Pubblici, lasciando tracce indelebili della sua visione scientifica e Tecnica.

In tale ambito poi è bene ricordare che in quella veste aggiornò le normative nazionali per le costruzioni inserendole nel circuito più ampio delle normative europee recependo, anche per il territorio nazionale le indicazioni normative contenute negli Eurocodici.

Nell’esercizio di questo compito istituzionale, sostenuto dalle sue ineguagliabili doti di equilibrio, saggezza, lungimiranza e determinazione, ha guidato il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, massimo organo tecnico dello Stato, verso più alti livelli di prestigio, propri dei momenti migliori della lunghissima tradizione di questo organismo.

### 2.33.5. L’ingegnere e le sue realizzazioni

Ma le sue attività non si limitano a quanto sopra brevemente richiamato. Il professor Pozzati è stato anche un grande ingegnere progettista ed inserito quindi nel mondo delle realizzazioni sempre supportato dalle sue profonde valenze scientifiche. Ricordo molto brevemente alcune sue opere solo per dare anche a questo aspetto la sua giusta dimensione: il già citato trampolino olimpionico di Cortina, l’intervento sulla grande copertura del Teatro Comunale Bologna nei primi anni Ottanta dopo un periodo di pressoché totale abbandono della costruzione, le ampie vote delle pensiline del Palazzo dello Sport di Bologna, l’ampliamento, in occasione dei mondiali di calcio del 1990, dello stadio Dall’Ara di Bologna, il rinforzo dei Chiostri francescani di Ravenna, le consulenze per imprese operanti in ambito internazionale relative a importanti opere (ad esempio silos per cereali a Giacarta), e tanti altri lavori. È bello ricordare che, essendo professore di Tecnica delle costruzioni, la sua attività professionale di fatto è sempre stata rivolta all’applicazione di metodi innovativi e dagli stessi lavori si traeva spunto per nuovi campi di studio, di ricerca e di applicazione delle conoscenze ingegneristiche.

In questo ambito è sempre stato promotore, sostenitore ed elemento attivo nell'associazionismo: ha contribuito in modo determinante alla nascita ed allo sviluppo ad esempio dell'AICAP (Associazione Italiana del Cemento Armato e Precompresso), indirizzando e promuovendo convegni nazionali.

Concludo, scusandomi per le innumerevoli dimenticanze, ricordando che la sua attività, di cui si è fatto cenno innanzi, lo colloca tra le più significative ed importanti personalità della Scienza e della Tecnica in Italia nel campo delle costruzioni e della sicurezza delle strutture, sia nel campo statico che nel campo dinamico.

La sua opera di ricerca ed i suoi lavori scientifici sono stati riconosciuti ed apprezzati nel mondo accademico, nazionale ed internazionale.

Ma al di là delle sue ben affermate tappe della carriera professionale ed accademica, consentitemi di ricordare le sue doti intellettuali, morali e caratteriali di uomo che mai hanno ceduto al compromesso portando le sue idee sempre con grande modestia ma in maniera immediatamente convincente. L'onestà intellettuale e morale sono sempre state accompagnate da grande signorilità e dalla capacità di mettere sempre a proprio agio gli interlocutori anche se di diversa opinione.

Deciso nelle affermazioni e dalla esposizione chiara, coerente e concisa.

Di carattere calmo, un poco chiuso, ma estroverso nei rapporti umani, professionali e scientifici con la comunità. Ha sempre brillato per la sua intelligenza ed intuizione profonda.

Il professor Pozzati ha saputo costruire un modo di pensare e di riflettere che ha trasmesso con indicibile dedizione agli studenti esercitando in modo eccellente il suo compito di insegnante.

Ha costituito e costruito una scuola di pensiero.

### **3. I CORSI DI LAUREA**



### **3.1. IL CORSO DI STUDI IN INGEGNERIA BIOMEDICA NELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

*Guido Avanzolini, Gianni Gnudi*

#### **Premessa**

Il Corso di Laurea quinquennale in Ingegneria Biomedica, istituito nel 1999, ha avuto sin dal suo inizio un carattere intersettoriale, a cavallo tra il settore dell'Ingegneria Industriale (caratterizzato, tra l'altro dagli storici Corsi di Studio in Ingegneria Meccanica e in Ingegneria Chimica) e il Settore dell'Ingegneria dell'Informazione (caratterizzato, tra l'altro dallo storico corso di studio in Ingegneria Elettronica, nonché dal più recente in Ingegneria Informatica).

Rispetto alla storia della Scuola di Ingegneria, che fonda le sue origini nella Scuola di Applicazione per Ingegneri, istituita a Bologna nel 1887, si tratta di un Corso di Studi relativamente recente, come è naturale per un curriculum legato alle moderne tecnologie dell'Ingegneria. Tuttavia, come si vedrà, i suoi primi insegnamenti furono attivati circa trent'anni prima che fosse istituito il Corso di Laurea.

In questa relazione, dopo una sintetica descrizione delle prime attività formative organizzate in Ingegneria Biomedica, viene illustrato il passaggio dal Diploma Universitario alla Laurea quinquennale e, infine, al Corso di Laurea Triennale e Magistrale in Ingegneria biomedica, presentando anche le principali caratteristiche dei relativi piani di studio. Infine, alcune considerazioni conclusive completano la relazione.

#### **Le prime attività formative organizzate**

Nell'Università di Bologna, l'attività scientifica organizzata nell'area dell'Ingegneria Biomedica (o Bioingegneria) iniziò nell'aprile del 1969 sotto la guida del professor Enzo Belardinelli, attorno ad un progetto basato sull'integrazione tra Ingegneria e Scienze della Vita, di cui egli già aveva valutato le ampie possibilità di sviluppo. Negli stessi anni, analoghe attività scientifiche furono attivate presso il Politecnico di Milano, sotto la guida del professor Emanuele Biondi, presso l'Università di Padova, sotto la guida del professor Giuseppe Francini e presso l'Università di Napoli, sotto la guida del professor Franco Cappuccini.

#### **I primi insegnamenti**

Le prime attività formative organizzate nell'area della Bioingegneria iniziarono nel 1971 quando fu attivato, come corso libero, l'insegnamento di Bioautomatica, te-



nuto da Enzo Belardinelli. Visto il suo successo presso gli studenti, l'anno successivo fu attivato un secondo insegnamento, Strumentazione Biomedica, tenuto da Guido Avanzolini, mentre, nel 1978 fu attivato il terzo insegnamento, Automazione ed Organizzazione Sanitaria, tenuto da Gianni Gnudi.

Anche a seguito della positiva accoglienza di questi insegnamenti da parte degli studenti, nel 1979 venne costituito, all'interno del Corso di Laurea quinquennale in Ingegneria Elettronica, l'indirizzo di Bioingegneria, a fianco di quelli di Microelettronica, Telecomunicazioni, Automatica e Informatica. Negli anni immediatamente successivi questo indirizzo si arricchì, poi, con gli insegnamenti di Bioingegneria, prima, e di Biomeccanica, poi.

### **Dal Diploma Universitario al Corso di Laurea**

Una tappa importante per lo sviluppo di attività formative organizzate fu l'istituzione, nel 1995, del Corso di Diploma Universitario in Ingegneria Biomedica, inizialmente presieduto dal professor Pier Ugo Calzolari (futuro Rettore dell'Università di Bologna) e poi dal professor Gianni Gnudi. Una successiva tappa non meno significativa fu l'istituzione, nel 1999, del Corso di Laurea quinquennale in Ingegneria Biomedica, dapprima presieduto dal professor Massimo Ferri e, poi, dal professor Guido Avanzolini, fino all'introduzione del nuovo ordinamento cosiddetto 3+2. Successivamente, tali Corsi di Laurea (Triennale e Magistrale/Specialistica) furono presieduti dal professor Gianni Gnudi (2000-2006), dal professor Mauro Ursino (2006-2012) e dal professor Claudio Lamberti (2012-2018).

Tali Corsi di Studio furono attivati a Cesena dal momento che:

- a) in quel tempo le nuove iniziative dovevano privilegiare la Romagna;
- b) si intendeva consentire la nascita della II Facoltà di Ingegneria, che richiede la presenza di almeno tre Corsi di Studio (ne erano allora disponibili solo due: Meccanica ed Aerospaziale);
- c) la Facoltà di Ingegneria si era impegnata ad attivare anche a Bologna i Corsi di Studio in Ingegneria Biomedica.

Infatti, il progetto della Facoltà era quello di attuare due poli didattici in Ingegneria Biomedica, uno a Bologna ed uno a Cesena, in analogia con quanto già realizzato dall'Elettronica, dall'Informatica, dalle Telecomunicazioni e dalla Meccanica.

Infine, va sottolineato che il corpo docente di questi Corsi di Studio poteva avvantaggiarsi di un significativo numero di dottori di ricerca con il titolo conseguito presso il Dottorato di Ricerca in Bioingegneria, istituito già nel 1982 come Consorzio comprendente anche le Università di Firenze, Roma "la Sapienza" e Napoli "Federico II", e la cui sede amministrativa era l'Alma Mater.

### **Attuazione della riforma 3+2 ai sensi del D.M. 509/1999**

I principali elementi introdotti da questa riforma possono così essere sintetizzati:

a) ogni Corso di Laurea afferisce ad una Classe, fra quelle indicate da specifici Decreti Ministeriali, che definisce il valore legale del Corso di Laurea;

b) sono introdotti i Crediti Formativi Universitari (CFU): 1 CFU = 25 ore di impegno complessivo per lo studente, di cui almeno la metà per lo studio individuale; la quantità media di impegno complessivo di apprendimento svolto in un anno da uno studente a tempo pieno è convenzionalmente fissata in 60 CFU;

c) il percorso di studi del Corso di Laurea richiede un impegno complessivo di 180 CFU;

d) il percorso di studi del Corso di Laurea Specialistica richiede un impegno complessivo di 300 CFU; per l'ammissione alla Laurea Specialistica sono previsti requisiti curriculari (prima di tutto il possesso della Laurea) e l'adeguatezza della personale preparazione verificata dagli atenei;

e) le attività formative sono distinte in 6 tipologie: A. di base, B. Caratterizzanti la classe, C. affini o integrative di quelle caratterizzanti, D. a scelta libera dello studente, E. prova finale e lingua straniera; F. altre ( tirocinio, laboratori, abilità informatiche e relazionali, ulteriori conoscenze linguistiche).

### **Il Corso di Laurea (triennale) in Ingegneria Biomedica**

L'obiettivo generale era duplice: da un lato formare "tecnici" con preparazione universitaria, qualificati per recepire e gestire l'innovazione scientifica e tecnologica nel settore e per svolgere attività di supporto alla ricerca applicata, dall'altro offrire un percorso di formazione che lasciasse aperte molte possibili strade (tecnico, manager, libero professionista, ulteriore approfondimento culturale).

L'obiettivo specifico era formare professionisti in grado di operare: 1) nell'ambito industriale in attività di produzione e controllo qualità di dispositivi, apparecchiature, protesi, sistemi di elaborazione utilizzati in medicina e biologia, nonché in attività di supporto tecnologico alle connesse iniziative commerciali, e: 2) nell'ambito delle strutture preposte all'erogazione dei servizi sanitari in attività di gestione tecnica di apparecchiature e sistemi biomedici.

Il Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica si caratterizza per una spiccata interdisciplinarietà, tanto è vero che fu inserito fra quelli che, soddisfacendo determinati requisiti, potevano afferire sia alla classe dell'Ingegneria industriale sia alla classe dell'Ingegneria dell'informazione.

#### ***Il primo piano didattico del Corso di Laurea (triennale) in Ingegneria Biomedica: principali caratteristiche***

Risultò abbastanza naturale considerare come base di partenza quanto sperimentato per oltre un quinquennio nel diploma universitario nella sede decentrata di Cesena,

con gli opportuni adattamenti alla struttura prevista per il nuovo ordinamento didattico. In particolare, si segnala l'articolazione della didattica su tre cicli di lezione (Schematicamente: 1° ciclo, lezioni in ottobre e novembre, esami in dicembre; 2° ciclo, lezioni in gennaio e febbraio, esami in marzo; 3° ciclo, lezioni in aprile e maggio, esami in giugno, luglio e settembre), coerente con unità formative di 5/6 CFU ed il frequente ricorso a prove in itinere per la verifica del profitto.

Ogni CFU, in linea con la scelta di gran parte dei Corsi di Studio della Facoltà di Ingegneria, corrispondeva a 10 ore di didattica frontale.

Tutte le materie di base per la Classe (tipologia A) furono previste al primo anno di corso, la maggior parte delle materie caratterizzanti la/le Classe/i (tipologia B) al secondo anno, le materie affini o integrative (tipologia C) e a scelta (tipologia D) fra secondo e terzo anno. Furono previsti due orientamenti uno, denominato *generale*, preferibile per chi avrebbe proseguito gli studi nella Laurea Specialistica e uno, denominato *applicativo*, preferibile per chi pensava di entrare nel mondo del lavoro subito dopo la laurea.

Al primo anno fu assegnato un numero di CFU leggermente inferiore a 60, recuperando al secondo e terzo anno, per aiutare le matricole ad adattarsi con maggiore gradualità allo studio universitario.

Questa struttura del piano di studi era finalizzata a fornire un adeguato livello di cultura di base e una preparazione interdisciplinare (matematica, fisica, chimica, ingegneria industriale, ingegneria dell'informazione e fisiologia), nonché una certa enfasi sulla pratica di laboratorio, collaudo, sicurezza, affidabilità, qualità, per consentire un rapido inserimento nelle attività professionali. Inoltre, il piano di studi era completamente accreditato per il proseguimento degli studi nella Laurea Specialistica in Ingegneria Biomedica.

## **Il Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Biomedica**

Fu attivato nell'A.A. 2002/03 fino all'introduzione della riforma secondo il D.M. 270/2004. Di seguito si riporta il piano di studi relativo al successivo anno accademico, nel quale fu completato per la prima volta l'intero percorso di studi quinquennale (300 CFU, inclusi i 180 acquisiti con la Laurea triennale).

L'obiettivo generale del Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Biomedica era duplice, da un lato formare "tecnici" di elevata preparazione, in grado di svolgere le attività connesse alla ricerca e alla progettazione, e di promuovere e sviluppare l'innovazione scientifica e tecnologica del settore, dall'altro fornire una impostazione metodologica a largo spettro.

L'obiettivo specifico era fornire la qualificazione necessaria per operare 1) nell'ambito industriale in attività di ricerca e di progetto avanzato di dispositivi, apparecchiature, protesi, organi artificiali e sistemi di elaborazione utilizzati in medicina e biologia, 2) nell'ambito delle strutture preposte all'erogazione dei servizi sanitari in attività di coordinamento della gestione tecnica di apparecchiature e sistemi biomedici, 3) proseguire gli studi per l'avviamento alla ricerca scientifica.

**Caratteristiche generali del percorso formativo**

Il primo impianto puntava a dare una preparazione interdisciplinare a largo spettro, un buon livello di cultura di base, con enfasi sulla progettazione avanzata in due ampie aree dell'Ingegneria Biomedica delineate in due orientamenti: 1) Progettazione biomeccanica e di organi artificiali e 2) Sistemi e segnali biologici.

Uno spazio adeguato (12 CFU) era assegnato al lavoro per la tesi di laurea specialistica.

Di seguito si riporta il primo piano didattico dei Corsi di Laurea e di Laurea Specialistica.

**Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica, Nuovo Ordinamento  
Piano Didattico - A.A. 2001/02**

I ciclo			II ciclo			III ciclo			tot CFU
Insegnamento/ Attività formativa	CFU	tip	Insegnamento/ Attività formativa	CFU	tip	Insegnamento/ Attività formativa	CFU	tip	
<b>1° anno</b>									
Analisi matematica L-A	6	A	Analisi matematica L-B	6	A	Elettrotecnica L-A	6	B	
Geometria ed algebra L-A	6	A	Fisica generale L-A	6	A	Fisica generale L-B	6	A	
Reti logiche L-A	6	B	Fondamenti di informatica L-A	6	A	Fondamenti di chimica L-A	5	A	
Lingua inglese L-A							3	E	
<i>tot CFU</i>	<b>18</b>			<b>18</b>			<b>20</b>		<b>56</b>

**2° anno (A.A. 2002/2003)**

Controlli automatici L-A	6	B	Elettronica L-A	6	B	Elettronica L-B	6	B	
Matematica applicata L-A	6	C	Comunicazioni elettriche L-A	6	C	Bioingegneria L-A	5	B	
Fisiologia L-A	6	C	Fisica tecnica L-A	6	B	Laboratorio biomedico L-A	3	B	
			Fisiologia L-B	6	C	Biomeccanica L-A	5	B	
<i>tot CFU</i>	<b>18</b>			<b>24</b>			<b>19</b>		<b>61</b>

**3° anno (A.A. 2003/2004)**

Economia e organizzazione aziendale L-A	6	C	Strumentazione biomedica L-A	5	B	Fondamenti di Informatica L-B	6	B	
Biomateriali L-A	5	B	Elaborazione di dati e segnali biomedici L-A	5	B	Laboratorio biomedico L-B o Lingua inglese L-B	3	F	
Scelte di orientamento <sup>(1)</sup>				11		Tirocinio o Cultura d'impresa L-A	6	F	

Due moduli a scelta libera <sup>(2)</sup>							10	D	
						Prova finale	6	E	
<i>tot CFU</i>	<b>11</b>			<b>21</b>			<b>31</b>		<b>63</b>

**(1) Orientamento applicativo**

Comportamento meccanico dei materiali L-A	6	B	Automazione ed organizzazione sanitaria L-A	5	B				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

**(2) Insegnamenti consigliati per la scelta libera**

Calcolatori elettronici L-A, Elettronica industriale L-A, Gestione della qualità L-A, Ricerca operativa L-A.	
--	--

**(1) Orientamento generale**

Analisi matematica L-C	5	A	Geometria e Algebra L-B	3	A				
			Calcolo numerico L-A	3	A				

**(2) Insegnamenti consigliati per la scelta libera**

Comportamento meccanico dei materiali L-A, Automazione ed organizzazione sanitaria L-A, Calcolatori elettronici L-A,	
Elettronica industriale L-A, Gestione della qualità L-A, Ricerca operativa L-A.	

**Corso di Laurea specialistica in Ingegneria Biomedica  
Piano didattico A.A. 2003/04**

I ciclo			II ciclo			III ciclo			tot. CFU
Insegnamento/ Attività formativa	CFU	tip	Insegnamento/ Attività formativa	CFU	tip	Insegnamento Attività formativa	CFU	tip	
<b>1° anno</b>									
Analisi matematica BS	6	A	Biochimica BS	6	C	Controlli automatici BS	6	C	
Analisi numerica BS-A	3	A	Analisi numerica BS-B	3	A	Biomeccanica BS	6	B	
Geometria e Algebra BS	3	A	Propagazione BS	6	C	Elaborazione di dati e segnali biomedici BS	9	B	
Modelli di sistemi biologici BS	6	B							
<i>tot CFU</i>	<b>18</b>			<b>15</b>			<b>21</b>		<b>54</b>
<b>1° o 2° anno</b>									
Attività formative a scelta libera <sup>(1)</sup>							6	D	6
<b>2° anno</b>									
Strumentazione biomedica BS	6	B				Tirocinio BS	6	F	

Fenomeni di trasporto BS	6	C							
Scelta Guidata n. 1 o n. 2 <sup>(2)</sup>							24		
Un insegnamento fra quelli indicati in Tabella 1, non ancora inserito nel proprio percorso didattico							6		
						Prova finale	12	E	
<i>tot CFU</i>	<b>12</b>			<b>0</b>			<b>48</b>		<b>60</b>
									<b>120</b>

**(1) Attività formative consigliate per la scelta libera**

Calcolatori elettronici L-A	6	D	Elettronica industriale L-A	6	D				
Sistemi elettronici LS	6	D							
Gestione della Qualità L-A	6	D							
Ricerca operativa L-A	6	D							

**(2) Scelta Guidata n. 1 - (Progettazione biomeccanica e di organi artificiali)**

						Biomeccanica computazionale BS	6	B	
						Biomeccanica della funzione motoria BS	6	B	
<i>Due insegnamenti fra i seguenti</i>									
Organi artificiali BS	6	B	Meccanica dei tessuti biologici BS	6	B				
	6	B	Bioingegneria della riabilitazione BS	6	B				
	6	B	Bioingegneria molecolare e cellulare BS	6	B				24

**(2) Scelta Guidata n. 2 - (Sistemi e segnali biologici)**

Sistemi intelligenti naturali e artificiali BS	6	B	Bioimmagini BS	6	B				
<i>Due insegnamenti fra i seguenti</i>									
Organi artificiali BS	6	B	Bioingegneria molecolare e cellulare BS	6	B				
			Elettronica BS	6	C	Telecomunicazioni BS	6	C	24

**Tabella 1**

Sistemi intelligenti naturali e artificiali BS	6	B	Bioimmagini BS	6	B	Biomeccanica computazionale BS	6	B	
Organi artificiali BS	6	B	Meccanica dei tessuti biologici BS	6	B	Biomeccanica della funzione motoria BS	6	B	
			Elettronica BS	6	C	Telecomunicazioni BS	6	C	
			Bioingegneria della riabilitazione BS	6	B				
			Bioingegneria molecolare e cellulare BS	6	B				

### Riprogettazione dei Corsi di Studio secondo il D.M. 270/2004

I principali elementi introdotti da questa riforma possono così essere sintetizzati:

a) il Corso di Laurea Specialistica è sostituito dal Corso di Laurea Magistrale, che rappresenta un ciclo di studi separato e successivo a quello della Laurea e richiede un impegno complessivo di 120 CFU.

b) viene stabilito un limite massimo al numero di esami o valutazioni finali di profitto per il Corso di Laurea (20) e il Corso di Laurea Magistrale (12).

Il Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica fu attivato per la prima volta nell'A.A. 2008/09 secondo la normativa introdotta dal D.M. 270/2004.

Nello stesso A.A. fu avviato il passaggio a due periodi di lezione (13 settimane prima di Natale e 14 settimane da fine febbraio a inizio giugno), organizzazione della didattica più adatta ad un percorso con attività formative (o valutazioni finali di profitto) prevalentemente di 9-12 CFU.

Rispetto all'ordinamento precedente, tenendo conto dell'esperienza degli ultimi anni, come per esempio il fatto che la stragrande maggioranza degli studenti sceglieva di proseguire gli studi nella laurea specialistica, mantenendo gli stessi obiettivi formativi generali e specifici, sono stati introdotti alcuni adattamenti e aggiornamenti alle caratteristiche del percorso formativo. In particolare, sono stati concentrati al primo anno tutti i 18 CFU di Analisi matematica, anticipando anche i 6 CFU precedentemente collocati al primo anno della Laurea Specialistica (cioè, di fatto al 4° anno di corso per gli studenti). I due orientamenti sono stati sostituiti da un solo insieme di attività formative fra cui lo studente può scegliere un complesso di 18 CFU. Infine, è stato stabilito che non è possibile sostenere gli esami del terzo anno se non sono stati superati gli esami di Analisi matematica e Fisica generale.

Il Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica fu attivato dall'A.A. 2009/10 ai sensi del D.M. 270/2004, introducendo anche in questo caso alcuni

adattamenti e aggiornamenti sia nei contenuti che nei titoli delle attività formative, coerenti con le modifiche apportate nella laurea di primo livello. In particolare, sono stati introdotti ulteriori 6 CFU di lingua straniera (inglese), non sono stati previsti specifici orientamenti, lasciando maggiore libertà di scelta allo studente, ed infine è stato aumentato a 15 il numero di CFU connessi allo svolgimento della prova finale, articolando e regolamentando meglio le varie possibilità messe a disposizione dello studente per l'acquisizione di questi CFU.

Di seguito si riporta l'attuale piano didattico dei Corsi di Laurea e di Laurea Magistrale.

### Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica - Piano Didattico A.A. 2018/19

#### Primo anno

Primo ciclo				Secondo ciclo			
Attività formativa	SSD	Tipo	CFU	Attività formativa	SSD	Tipo	CFU
Analisi matematica A*	MAT/05	A	9	Analisi matematica B*	MAT/05	A	9
Fisica generale (C.I.): Fisica generale A*	FIS/01	A	6	Fisica generale (C.I.): Fisica generale B*	FIS/01	A	6
Fondamenti di chimica- modulo 1	CHIM/07	A	6	Fondamenti di informatica A	ING-INF/05	A	9
Geometria e algebra	MAT/03	A	6	Fondamenti di chimica- modulo 2	CHIM/07	A	3
				Idoneità di lingua inglese B1		E	3

\* *Gli insegnamenti di Analisi matematica A, Analisi matematica B e Fisica generale (C.I.) sono propedeutici agli esami del terzo anno di corso.*

#### Secondo anno

Primo ciclo				Secondo ciclo			
Attività formativa	SSD	Tipo	CFU	Attività formativa	SSD	Tipo	CFU
Elaborazione dei segnali	ING-INF/03	B	9	Calcolatori elettronici	ING-INF/05	B	9
Elettrotecnica	ING-IND/31	B	6	Fisica Tecnica	ING-IND/10	C	6
Fisiologia	BIO/09	C	9	Controlli automatici	ING-INF/04	B	6
				Laboratorio di Ingegneria biomedica	ING-INF/06	F	6
Elettronica					ING-INF/01	B	12



**Terzo anno**

Per poter sostenere gli esami del terzo anno di corso è necessario aver sostenuto i seguenti esami: Analisi matematica A, Analisi matematica B, Fisica generale (C.I.)

Primo ciclo				Secondo ciclo			
Attività formativa	SSD	Tipo	CFU	Attività formativa	SSD	Tipo	CFU
Bioingegneria	ING-INF/06	B	6	Economia e organizzazione aziendale	ING-IND/35	B	6
Biomateriali e Comportamento meccanico dei biomateriali (C.I.): Biomateriali	ING-IND/34	B	6	Fondamenti di Strumentazione biomedica e ingegneria clinica (C.I.): modulo di Ingegneria clinica	ING-INF/06	B	6
Biomateriali e Comportamento meccanico dei biomateriali (C.I.): Comportamento meccanico dei biomateriali e delle strutture biomeccaniche	ING-IND/14	C	6				
Fondamenti di Biomeccanica	ING-IND/34	B	6				
Fondamenti di Strumentazione biomedica e ingegneria clinica (C.I.): modulo di Fondamenti di Strumentazione biomedica	ING-INF/06	B	6				
Attività formative a scelta guidata di tipologia D (12 CFU) – Le attività elencate in Tabella 1							
Attività formative a scelta libera di tipologia E (6 CFU) – Le attività elencate in Tabella 2							

**Tabella 1**

Primo ciclo				Secondo ciclo			
Attività formativa	SSD	Tipo	CFU	Attività formativa	SSD	Tipo	CFU
Laboratorio di strumentazione biomedica e laboratorio di biomeccanica (C.I.): Laboratorio di biomeccanica	ING-IND/34	D	3	Informatica medica e reti di telemedicina	ING-INF/06	D	6
Laboratorio di strumentazione biomedica e laboratorio di biomeccanica (C.I.): Laboratorio di strumentazione biomedica	ING-INF/06	D	3				
Tirocinio		D	6				

**Tabella 2**

<b>Prova finale per un totale di 6 CFU</b> Lo studente deve scegliere uno dei seguenti gruppi	<b>Tipo</b>	<b>CFU</b>	<b>Ciclo</b>	<b>Voto/Idoneità</b>
<b>GRUPPO A</b>				
Prova finale (6 CFU)	E	6	2	No Voto
<b>GRUPPO B</b>				
Prova finale (3 CFU)	E	3	2	No Voto
Tirocinio in preparazione prova finale (3 CFU)	E	3	2	Idoneità

**Laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica - piano didattico A.A. 2018/19****Primo anno**

<b>Primo ciclo</b>				<b>Secondo ciclo</b>			
<b>Attività formativa</b>	<b>SSD</b>	<b>Tipo</b>	<b>CFU</b>	<b>Attività formativa</b>	<b>SSD</b>	<b>Tipo</b>	<b>CFU</b>
Biomeccanica LM	ING-IND/34	B	6	Elaborazione di dati e segnali biomedici LM	ING-INF/06	B	9
Algebra e analisi numerica LM	MAT/08	C	9	Modelli di sistemi biologici LM	ING-INF/06	B	9
Biochimica applicata LM	BIO/10	C	6	Strumentazione biomedica LM	ING-INF/06	B	9
Bioelettromagnetismo LM	ING-INF/02	C	6				
Idoneità di lingua inglese B - 2		F	6				

**Secondo anno**

<b>Attività formativa</b>	<b>SSD</b>	<b>Tipo</b>	<b>CFU</b>	<b>Attività formativa</b>	<b>Tipo</b>	<b>CFU</b>
Organi artificiali LM	ING-IND/34	B	6			
Attività formative a scelta guidata di tipo B/C (27 CFU) Si operi la scelta nell'ambito delle attività in Tabella 1						
Attività formative a scelta libera di tipo D (12 CFU) – Le attività elencate in Tabella 1 e 2						
Attività formative a scelta guidata di tipo E (15 CFU) – Le attività elencate in Tabella 3						

**Tabella 1**

<b>Attività formativa</b>	<b>SSD</b>	<b>Tipo</b>	<b>CFU</b>	<b>Attività formativa</b>	<b>SSD</b>	<b>Tipo</b>	<b>CFU</b>
Sensori e nanotecnologie LM	ING-INF/01	C	9	Bioimmagini LM	ING-INF/06	B	9
Bioingegneria della riabilitazione LM	ING-INF/06	B	9	Meccanica dei tessuti biologici LM	ING-IND/34	B	9
Modelli e metodi per la Cardiologia computazionale LM	ING-INF/06	B	9				
Sistemi neurali M	ING-INF/06	B	9				

**Tabella 2**

Attività formativa	SSD	Tipo	CFU	Attività formativa	SSD	Tipo	CFU
Reti wireless LM (C.I.): Sistemi di telecomunicazioni LM	ING-INF/03	D	6	Reti wireless LM (C.I.): Reti wireless per l'internet delle cose LM	ING-INF/03	D	6
Reti di Telecomunicazioni LM	ING-INF/03	D	6	Biomeccanica della funzione motoria LM	ING-IND/34	D	6
Fondamenti di ingegneria dei tessuti biologici LM	BIO/10	D	3	Biomeccanica computazionale LM	ING-IND/34	D	6
Machine learning LM	ING-INF/05	D	6	Ingegneria biomedica per i paesi in via di sviluppo LM	ING-INF/06	D	3
Biologia sintetica LM	BIO/10	D	6	Fenomeni di trasporto LM	ING-IND/24	D	6
				Cognizione e neuroscienze LM	M-PSI/02	D	6

**Tabella 3**

Prova finale per un totale di 15 CFU Lo studente deve scegliere uno dei seguenti gruppi		Tispo	CFU	Ciclo	Voto/ Idoneità
<b>GRUPPO A</b>					
86158	Prova finale LM (15 CFU)	E	15	2	No Voto
<b>GRUPPO B</b>					
81992	Prova finale LM (6 CFU)	E	6	2	No Voto
Oltre alla Prova finale da 6 CFU lo studente deve scegliere un'altra attività fra quelle elencate (9 CFU)					
85111	Preparazione prova finale all'estero LM (9 CFU)	E	9	2	Idoneità
86162	Tirocinio all'estero in preparazione della prova finale LM (9 CFU)	E	9	2	Idoneità
86161	Tirocinio in preparazione della prova finale LM (9 CFU)	E	9	2	Idoneità
<b>GRUPPO C</b>					
86160	Prova finale LM (3 CFU)	E	3	2	No Voto
Oltre alla Prova finale da 3 CFU lo studente deve scegliere un'altra attività fra quelle elencate (12 CFU)					
82327	Preparazione prova finale all'estero LM (12 CFU)	E	12	2	Idoneità
86153	Tirocinio all'estero in preparazione della prova finale LM (12 CFU)	E	12	2	Idoneità

## Conclusioni

Il Corso in Ingegneria Biomedica, presente nella Facoltà di Ingegneria sin dai primi anni Settanta con alcune sue discipline caratterizzanti, ha assunto la struttura di un Corso di Laurea solo nella seconda metà degli anni novanta, com'è naturale per un Corso di Studi a largo spettro basato sulle moderne tecnologie della Ingegneria.

Sin dall'inizio si è cercato di corrispondere alla domanda di formazione proveniente da una competitiva industria biomedica presente nel paese e, in particolare, in Emilia-Romagna (si pensi alla cosiddetta *Biomedical Valley*, situata a cavallo delle province di Bologna e Modena), che richiedeva specifiche competenze per la progettazione e la produzione di apparecchiature biomediche. Altresì, si intendeva corrispondere alle esigenze di importanti strutture sanitarie (si pensi agli Istituti Ortopedici Rizzoli, al Centro Protesi INAIL di Vigorso di Budrio, all'Istituto per le Scienze Neurologiche, ecc.) responsabili della gestione sicura, corretta ed economica di un ampio e complesso parco tecnologico, e, più in generale, a quelle della società, per affrontare in modo razionale i problemi legati al sempre più stretto intreccio tra ambiente e tecnologia.

Al termine di questa più che ventennale esperienza, questi Corsi di Studio hanno avuto un numero di iscritti al primo anno della Laurea Triennale sempre maggiore a 100 (oltre 140 nell'A.A. 2012/13), sempre maggiore a 50 nella Laurea Specialistica (oltre 60 nell'A.A. 2013/14), nonché mediamente 6 iscritti ad ogni ciclo al Dottorato di Ricerca nei suoi primi 30 anni di funzionamento.

Come testimoniato dalle precedenti tabelle, l'attuale organizzazione degli studi è da tempo consolidata su due semestri e non prevede un'articolazione in indirizzi né nella Laurea Triennale né in quella Magistrale. Ciò favorisce una maggiore libertà di scelta da parte dello studente ed un più agevole adattamento ad una realtà in rapida e continua evoluzione.

## 3.2. IL CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA NELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Massimo Rudan*

### L'ordinamento quinquennale

Il Corso di Laurea quinquennale in Ingegneria Elettronica, attivo per molti anni nella Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Bologna, fu un'evoluzione di quello che, fino a circa alla metà degli anni Sessanta del secolo scorso, era un percorso del Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica<sup>1</sup>. L'istituzione e l'attivazione del nuovo Corso di Laurea nell'Università di Bologna furono portate a compimento grazie all'iniziativa di Ercole De Castro che, insieme con Giuseppe Biorci dell'Università di Genova ed Emilio Gatti del Politecnico di Milano, fondò le discipline dell'Elettronica nell'Università italiana. La configurazione del Corso di Laurea era ad ampio spettro; in parte, ciò era dovuto a vincoli di legge<sup>2</sup>: ad esempio, erano obbligatori sul piano nazionale anche insegnamenti di settori del tutto estranei all'Elettronica, quali Scienza delle Costruzioni, Meccanica applicata alle Macchine e Fisica Tecnica. Nella preparazione del piano didattico, una scelta molto saggia (che, nei limiti del possibile, è stata mantenuta anche negli ordinamenti più recenti) fu quella di assegnare largo spazio alle discipline matematiche e fisiche: venivano erogate tre annualità obbligatorie di Analisi matematica, una di Algebra e Geometria, una di Meccanica razionale, e due di Fisica; in totale, praticamente un quarto di quelle complessive, che erano 29. A queste seguivano annualità di materie di base nei settori dell'Elettronica, delle Comunicazioni elettriche e dei Controlli automatici. All'origine di questa scelta era il desiderio di fornire allo studente una solida preparazione di base, capace di sopravvivere all'evoluzione della tecnologia (evoluzione particolarmente rapida nel caso dell'Elettronica); in altri termini, si voleva creare una figura di laureato capace di affrontare la progettazione di sistemi complessi, evitando una focalizzazione troppo angusta e settoriale del Corso di Laurea. L'impianto prevedeva una serie di corsi obbligatori per i primi quattro anni, seguito da gruppi di esami a scelta nel quinto; i gruppi di scelta creavano diversi orientamenti (Elettronica, Telecomunicazioni, Automazione, Bioingegneria, Informatica, Gestionale), che in uno sviluppo successivo avrebbero dato origine a Corsi di Laurea autonomi. La Tabella A mostra un esempio di piano didattico in vigore alla fine degli anni Sessanta (ordinamento 2006); i corsi a scelta sono indicati in corsivo.

---

<sup>1</sup> Il percorso veniva chiamato "delle correnti deboli".

<sup>2</sup> Le denominazioni ammesse per i Corsi di Laurea, come pure gl'insegnamenti obbligatori di ciascun Corso di Laurea (obbligatori sia come contenuti che come denominazioni), erano prescritti da tabelle ministeriali. La tabella d'Ingegneria recava il numero XXIX; erano prescritte anche le possibili denominazioni degli insegnamenti a scelta.

*Tabella A. Esempio di piano didattico dell'ordinamento 2006, comprendente 29 annualità.*

Anno 1	Analisi matematica I, Fisica generale I, Geometria e algebra, Chimica, Disegno
Anno 2	Analisi matematica II, Fisica generale II, Meccanica razionale, Metodi di osservazione e misura
Anno 3	Complementi di analisi matematica, Fisica tecnica, Elettrotecnica I, Elettrotecnica II, Scienza delle costruzioni, Elettronica generale
Anno 4	Elettronica applicata, Tecnologie elettroniche, Comunicazioni elettriche, Campi elettromagnetici e circuiti, Controlli automatici, Reti logiche, Meccanica applicata alle macchine e macchine
Anno 5	Radiotecnica, Misure elettriche, <i>Teoria e tecnica dei circuiti</i> , <i>Teoria e tecnica delle microonde</i> , <i>Tecnologie dei semiconduttori</i> , <i>Chimica fisica dello stato solido</i> , <i>Elettronica quantistica</i>

Nell'A.A. 1991/92 avvenne una prima separazione, che produsse i Corsi di Laurea in Ingegneria delle telecomunicazioni (ordinamento 2103) e Ingegneria informatica (ord. 2108). Mentre i Corsi di Laurea da esso gemmati tendevano ad assumere una struttura monocorde, il nuovo Corso di Laurea in Ingegneria elettronica (ord. 2106) mantenne la configurazione ad ampio spettro, dando allo studente la possibilità di scegliere fra sei orientamenti (Bioingegneria, Calcolatori elettronici, Comunicazioni elettriche, Controlli automatici, Gestionale, Progettazione elettronica), oppure due indirizzi (Biomedico ed Elettronico). Nell'A.A. 1998/99 ci fu una modesta evoluzione, nella quale il numero di annualità complessive passò da 29 a 28 (ordinamento 2146). La Tabella B mostra un esempio di piano didattico dell'ordinamento 2146 con scelta di orientamento. Si nota come l'eliminazione di materie tipiche dei settori civile e industriale abbia consentito l'anticipo di corsi che nel precedente ordinamento erano collocati al quarto o quinto anno.

*Tabella B. Esempio di piano didattico dell'ordinamento 2146, comprendente 28 annualità.*

Anno 1	Analisi matematica I, Fisica generale I, Geometria e algebra, Chimica, Fondamenti di informatica I
Anno 2	Analisi matematica II, Fisica generale II, Elettrotecnica, Meccanica razionale, Fisica tecnica, Fondamenti di informatica II
Anno 3	Analisi matematica III, Controlli automatici, Reti logiche, Comunicazioni elettriche, Elettronica applicata I, Campi elettromagnetici
Anno 4	Calcolatori elettronici I, Elettronica applicata II, Misure elettroniche, Sistemi di telecomunicazione, Calcolatori elettronici II, Microelettronica
Anno 5	Economia e organizzazione aziendale, <i>quattro annualità dell'orientamento prescelto</i>

La struttura ad ampio spettro del Corso di Laurea venne mantenuta anche in occasioni di successive gemmazioni, che portarono alla creazione dei Corsi di Laurea in Ingegneria dell'automazione, Ingegneria gestionale (quest'ultima fu duplicata nella sede di Reggio Emilia), e Ingegneria biomedica (istituita nella Seconda Facoltà d'Ingegneria).

### La riforma "3+2"

La legge istitutiva degli ordinamenti "3+2" (D.M. 509/1999) concedeva ampi margini temporali per l'istituzione e attivazione dei nuovi Corsi di Studio. Nella Facoltà

d'Ingegneria, l'attivazione dei Corsi di Laurea del nuovo ordinamento avvenne nell'A.A. 2000/01; essa riguardava il primo anno dei nuovi ordinamenti a ciclo unico e di quelli triennali, fra i quali era la Laurea triennale in Ingegneria Elettronica. L'attivazione dei Corsi di Laurea specialistici seguì nel 2002/03. Le discussioni in merito alla struttura del nuovo Corso di Laurea triennale furono intense; se, da un lato, la riforma conferiva un titolo intermedio, dando al laureato triennale la possibilità di scegliere fra una carriera lavorativa e il proseguimento degli studi (nello stesso Corso di Laurea o in uno affine), era peraltro evidente una grossa pecca: la necessità di comprimere nei primi tre anni una quota non piccola di materie applicative scardinava un impianto collaudato, che fino a quel momento aveva funzionato egregiamente<sup>3</sup>. Seppur con notevole sacrificio in termini di ore complessive di lezione di ciascun insegnamento, il Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica riuscì a mantenere la precedente articolazione dei corsi di tipo matematico e fisico: tre di Analisi matematica, uno di Algebra e Geometria, uno di Meccanica razionale, e due di Fisica; soprattutto, riuscì a mantenere la distribuzione di questi corsi nell'arco dei tre anni. Al contrario, buona parte degli altri Corsi di Laurea triennali d'Ingegneria scelse l'opzione, molto dannosa per gli studenti, di comprimere i corsi di base nei primi due o tre semestri; talvolta si tornò addirittura allo schema antidiluviano di sovrapporre il primo corso di Fisica col primo corso di Analisi matematica, seppellendo così ogni speranza che gli studenti comprendessero la Fisica.

Nell'impianto originale, il piano didattico della Laurea in Ingegneria Elettronica aveva una struttura "a Y": i primi due anni e parte del terzo contenevano gli stessi insegnamenti per tutti gli studenti; nella seconda parte del terzo anno lo studente poteva scegliere fra due percorsi: il primo, identificato come "percorso teorico", avrebbe consentito una continuazione senza debiti nella futura Laurea specialistica<sup>4</sup>; il secondo, detto "professionalizzante", avrebbe consentito un accesso diretto alle attività lavorative<sup>5</sup>. Ben presto ci si rese conto che non aveva senso istituire debiti per

---

<sup>3</sup> Come i fatti hanno ampiamente dimostrato, era priva di senso l'idea che la riforma avrebbe eliminato la piaga del fuoricorso che affligge l'Università italiana. Peraltro, la vera piaga non è l'esistenza dei fuoricorsi, perché ognuno ha il diritto di scegliere il ritmo che preferisce; il problema è la possibilità di reiterare all'infinito il tentativo di superare un esame: nel sistema italiano uno studente può essere solo promosso, mai rimosso. Va da sé che se si volessero introdurre norme che fan decadere dallo stato di studente quanti non riescono a superare un esame entro un numero fisso di tentativi, si dovrebbero introdurre anche norme che eliminano i docenti infingardi; la probabilità che ciò avvenga è alquanto remota.

<sup>4</sup> Nella riforma "3+2" del D.M. 509/1999, il Corso di Studio veniva ancora inteso come un blocco di cinque anni con un titolo intermedio, e si poteva accedere al secondo livello con una preparazione incompleta, detta "con debiti". Lo studente doveva completare il percorso degli studi sanando i debiti e ottemperando alle prescrizioni di tutto il percorso "3+2" per ciò che atteneva ai settori scientifico-disciplinari degli insegnamenti. Ciò richiedeva calcoli cabalistici che avevano ben poco a che spartire con la cultura. Il D.M. 22.10.2004 n. 270 eliminò il problema dei debiti, istituendo Lauree magistrali separate da quelle triennali; purtroppo, come detto più avanti, la necessità di calcoli cabalistici non è stata affatto eliminata.

<sup>5</sup> Il termine "professionalizzante" è entrato nell'uso, ma in questo contesto andrebbe evitato, perché sembra implicare che un laureato che ha seguito un numero minore di corsi teorici sia più adatto a svolgere la professione d'ingegnere. Con questo criterio, i vecchi laureati quinquennali non sarebbero stati dei buoni professionisti...

i laureati triennali del percorso “professionalizzante”; infatti, le differenze di contenuti dei due percorsi erano modeste: l’idea dei debiti fu perciò abbandonata prima ancora di attivare la Laurea specialistica. Nonostante i migliori sforzi, non poté essere evitata una certa compressione delle materie, e per questo si dovette trasferire nella Laurea specialistica e, successivamente, nella magistrale, parte dei contenuti di base; a regime, l’esito della nuova struttura è che gli studenti sperimentano un notevole aumento di difficoltà nel passaggio dal primo al secondo livello di Laurea<sup>6</sup>.

Un aspetto per nulla marginale, collegato alla compressione delle materie citata poco sopra, fu questo: la legge sui nuovi ordinamenti ha introdotto il concetto di credito formativo universitario (CFU) come misura dello sforzo richiesto allo studente per superare l’esame, in termini di ore di lezione sommate a quelle di studio personale; inoltre, la legge prescrive il numero di crediti necessario per il conseguimento del titolo (180 nella Laurea triennale e 120 nella specialistica o magistrale). Nella Facoltà d’Ingegneria si procedette con una valutazione di massima assegnando 12 CFU a un’annualità; ciò produceva  $300/12 = 25$  annualità, contro le 28 previste dal vecchio ordinamento. Poi, osservando che le materie di base del vecchio ordinamento svolgevano intorno a 120 ore ciascuna, si stabilì l’equivalenza fra un CFU e 10 ore di lezione; infine, dal momento che la compressione dei contenuti richiedeva numerosi insegnamenti di breve durata, ogni annualità fu suddivisa in due corsi da 60 ore ciascuno. In pratica, la Laurea triennale prevedeva circa 30 esami, quella specialistica circa 20. Queste scelte ebbero conseguenze negative non banali: intanto, dato che nel vecchio ordinamento solo le materie di base svolgevano circa 120 ore, mentre tutte le altre ne svolgevano circa 90, il carico didattico è aumentato alquanto; inoltre, la parcellizzazione del percorso formativo in una miriade di piccoli esami, accompagnata alla pratica impossibilità di stabilire propedeuticità, induceva molti studenti a cercare di superare gli esami in ordine casuale, secondo un “cammino di resistenza minima”, con esiti disastrosi sull’apprendimento. Quanto al transitorio fra vecchio e nuovo ordinamento, si può affermare col senno di poi che il passaggio da un ordinamento all’altro non tenne in conto un aspetto: una parte significativa degli studenti, fuori corso o meno, non frequenta le lezioni nell’anno “giusto”; la repentina scomparsa della vecchia struttura dei corsi creò enormi problemi di frequenza, che dovettero essere sanati con una pletera di interventi “di emergenza”<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Nelle discussioni preliminari sull’impianto della Laurea triennale, uno spazio notevole fu dedicato all’importanza da dedicare alla tesi. Le prima di due posizioni estreme era: “Nel vecchio ordinamento non si è mai sentita la necessità di imporre la scrittura di una tesina a metà percorso, perché dovremmo farlo adesso?”; l’altra era: “Per chi non prosegue negli studi, la tesi triennale è forse l’unica occasione nella vita di cimentarsi nella preparazione di un documento scritto”. La seconda visione prevalse.

<sup>7</sup> All’inizio furono prese, caso per caso, delibere dei Corsi di Laurea che sancivano equivalenze di contenuti fra combinazioni di insegnamenti del nuovo ordinamento e annualità del vecchio. Alla fine, di fronte all’imponenza del problema, nel settore dell’Ingegneria dell’Informazione s’istituirono, nell’A.A. 1999/2000, Corsi di laurea “transitori” di vecchio ordinamento, siglati 2163, 2166 e 2168 per Ingegneria delle telecomunicazioni, elettronica e informatica, dotati di insegnamenti semestrali che anticipavano la struttura di quelli del nuovo ordinamento.



Il D.M. 22/10/2004 n. 270 modificò alquanto l'assetto dei Corsi di Studio: istituite le Lauree magistrali al posto di quelle specialistiche, ed eliminata la iattura dell'accesso "con debiti", si legiferò anche contro la "parcellizzazione", l'eco dei cui nefasti esiti si era evidentemente propagata fino agli organi legislativi: la nuova legge fissò a 20 il massimo numero di esami delle Lauree triennali, e a 12 il massimo delle magistrali, riportando il numero complessivo a un valore simile a quello del vecchio ordinamento. Peraltro, molti Corsi di studio aggirarono prontamente il limite di legge usando l'infame trucco dei corsi integrati<sup>8</sup>. La Laurea magistrale in Ingegneria Elettronica fu attivata nell'A.A. 2009/10.

Nell'ambito dell'ordinamento ex D.M. 22/10/2004 n. 270, la Laurea triennale in Ingegneria Elettronica raggiunse un assetto molto ordinato, eliminando la struttura "a Y" e organizzando la successione dei corsi nei tre anni in modo da graduare le difficoltà di apprendimento. La nuova Laurea magistrale mantenne la strutturazione ad ampio spettro, anche qui in contrasto con lo spiccato orientamento verso la "pulizia etnica" scelto dalle Lauree magistrali gemmate. La Tabella C mostra il piano didattico della Laurea triennale nell'A.A. 2006/07; gli insegnamenti obbligatori sono tutti da 6 CFU a parte uno (che ha 3 CFU).

*Tabella C. Piano didattico della Laurea triennale in Ingegneria elettronica nell'A.A. 2006/07.*

	Analisi matematica L-A, Fondamenti di Informatica L-A, Geometria e Algebra
<i>Anno 1</i>	L-A, Analisi matematica L-B, Fondamenti di Informatica L-B, Fisica generale L-A, Elettrotecnica L-A, Reti logiche L-A, Fisica generale L-B
<i>Anno 2</i>	Controlli automatici L-A, Analisi matematica L-C, Matematica applicata L-A, Economia e organizzazione aziendale L-A, Fisica generale L-C, Comunicazioni elettriche L-A, Circuiti elettronici analogici L-A, Circuiti elettronici digitali L-A, Comunicazioni elettriche L-B, Propagazione L-A
<i>Anno 3</i>	Microelettronica L-A, Progetto di circuiti analogici L-A, Calcolatori elettronici L-A, Analisi matematica L-D, Elettronica applicata L-A, Progetto di sistemi elettronici L-A, un modulo a scelta guidata, attività di tipo D per un totale di 9 CFU, attività di tipo F per un totale di 9 CFU.

Nell'A.A. 2008/09 il Corso di Laurea triennale in Ingegneria delle Telecomunicazioni fu soppresso per mancanza di studenti<sup>9</sup>. Per mantenerne i contenuti

<sup>8</sup> Alcuni aspetti non marginali della nuova legge erano abbastanza vaghi da richiedere la sollecita pubblicazione di decreti applicativi; fra questi aspetti vi era il metodo di calcolo delle differenze, in termini di CFU, fra Lauree triennali appartenenti alla stessa classe, che dovevano avere almeno 60 CFU identici, ma dovevano differire per più di 40 CFU (nel caso delle Lauree magistrali, per più di 30). Il Ministro dell'epoca era Fabio Mussi, che nell'estate del 2007 era "distratto" perché stava fondando un nuovo partito causa dissapori con l'allora Presidente dei Democratici di Sinistra Massimo D'Alema. Ciò produsse un forte ritardo che si tradusse in una decretazione affrettata; sfruttando la confusione, una manina maliziosa aggiunse le parole "diviso per due" nel testo del decreto, amplificando grandemente la libertà dei Corsi di Studio nel calcolo del secondo tipo di differenze. Ci volle qualche anno prima che "l'errore" fosse scoperto e sanato.

<sup>9</sup> Sempre a causa dello scarso numero di studenti, nell'A.A. 2007/08 era già stato soppresso l'orientamento *Sistemi elettronici per le Telecomunicazioni* del Corso di Laurea specialistica in Ingegneria elettronica. Gli altri orientamenti erano *Sistemi elettronici per l'Automazione*, *Sistemi elettronici per l'elaborazione dell'informazione*, *Sistemi elettronici per applicazioni biomediche*, *Microelettronica e sistemi elettronici sensoriali*; essi vennero mantenuti anche nel successivo Corso di Laurea magistrale fino a che nuove disposizioni di legge

fu deciso di ristrutturare il Corso di Laurea triennale in Ingegneria Elettronica dotandolo, al terzo anno, di un percorso orientato alle telecomunicazioni, e riorganizzando nel contempo il secondo anno. Nonostante il fatto che il settore disciplinare *Campi elettromagnetici* sia comune all'ambito Elettronica e a quello Telecomunicazioni, la ristrutturazione fu alquanto complessa a causa della necessità di attivare numerosi insegnamenti che prima erano erogati solo nel Corso di Studio soppresso. La presenza dei due percorsi paralleli produsse anche il cambio di denominazione del Corso di Laurea triennale, che da *Ingegneria Elettronica* divenne *Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni*.

### I Corsi di Studio internazionali

In parallelo al passaggio dagli ordinamenti ex D.M. 509/1999 a quelli ex D.M. 270/2004, furono istituiti nella Facoltà d'Ingegneria Corsi di Studio erogati in lingua inglese, oppure contenenti percorsi completamente erogati in inglese<sup>10</sup>; in alcuni casi ciò avvenne in occasione di accordi con Università estere. Il Corso di Laurea magistrale in Ingegneria elettronica istituì e attivò, nell'A.A. 2009/10, un percorso in inglese; questo si affiancò a quelli in italiano, rimasti immutati<sup>11</sup>. Nel corso dei lavori preparatori si era anche affacciata l'idea d'istituire un Corso di Laurea magistrale a sé stante nella classe LM29 (Ingegneria elettronica), ad ampio spettro, con una distribuzione equilibrata delle discipline dell'area dell'Informazione; il progetto si rivelò subito irrealizzabile a causa dei vincoli di legge. Peraltro, anche la più semplice istituzione del percorso in inglese produsse, da parte di settori del Dipartimento diversi da quello elettronico, una forte opposizione, come è tipico del mondo accademico; peraltro, l'opposizione non produsse nulla di significativo, se non la modifica del nome del percorso: inizialmente, questo doveva chiamarsi ICT (*Information and Communication Technology*), alla fine si chiamò ECST (*Electronics and Communication Science and Technology*)<sup>12</sup>. Gli studenti iscritti al percorso in inglese sono quasi tutti stranieri, e la maggior parte di essi proviene da Paesi asiatici o mediorientali: India, Cina, Pakistan, Afghanistan, Iran; in misura minore, da Paesi

---

stabilirono che ogni percorso avrebbe comportato un aggravio di costi in termini di docenza; a causa di queste disposizioni, il Corso di Laurea magistrale si è articolato in tre percorsi, due dei quali in italiano (*Elettronica*, *Bioingegneria elettronica*), e uno internazionale. Questa struttura è stata mantenuta fino all'A.A. 2018/19, nonostante che in anni recenti la fantasia del legislatore abbia abolito il costo dei percorsi: al momento della preparazione di questo scritto, orientamenti o percorsi non richiedono ulteriori docenti rispetto al percorso singolo (il costo in termini di docenza deriva solo dal numero complessivo di studenti).

<sup>10</sup> Questi Corsi di Studio sono detti "internazionali".

<sup>11</sup> La possibilità di abolire del tutto gli insegnamenti in italiano è dubbia. Il 29 gennaio 2018 il Consiglio di Stato ha confermato l'illegittimità di corsi interamente erogati in lingua inglese; la sentenza segue quella del TAR che, nel 2013, aveva accolto il ricorso di alcuni docenti contro la delibera emanata l'anno prima dal Politecnico di Milano secondo cui tutti i Corsi di Laurea magistrale e i Dottorati di ricerca, a partire dal 2014, sarebbero stati erogati esclusivamente in lingua inglese.

<sup>12</sup> Un lettore malizioso potrebbe pensare che l'opposizione fosse dovuta in buona sostanza alla vocale "I".

dell'Europa orientale e dell'America meridionale. Un problema che si presenta in un percorso internazionale è quello di valutare l'adeguatezza della preparazione iniziale degli studenti che richiedono l'iscrizione; dal momento che questi studenti provengono da ordinamenti molto diversi, non sono applicabili le regole di accesso *standard* che valgono per chi ha conseguito in Italia il titolo di primo livello. Le Commissioni del Corso di Studio hanno dovuto impegnarsi alquanto per acquisire l'esperienza necessaria a valutare l'adeguatezza dei candidati.

Una notevole trasformazione del percorso in inglese è stata introdotta nell'A.A. 2017/18, ispirata dall'idea di identificare un tema, di grande interesse culturale e applicativo, su cui basare la riprogettazione del piano didattico. Il nuovo percorso, che sostituisce ECST, è indicato dalla sigla E-BIT (*Electronic Technologies for Big-data and Internet of Things*), e ha incontrato notevole favore presso gli studenti internazionali. Infine, a partire dall'A.A. 2019/20 sarà attivo un solo percorso in italiano (*Elettronica*), nel quale gl'insegnamenti dei settori della Bioingegneria sono compresi all'interno di gruppi di scelta.

### Considerazioni conclusive

Nel cinquantennio qui sommariamente descritto, il Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica ha assunto una struttura di più marcata specializzazione rispetto all'originario impianto ad ampio spettro; nonostante ciò, è ancora importante la presenza di discipline affini e, soprattutto, delle materie di base: in assenza di queste ultime, il rischio che corre un Corso di Studio d'Ingegneria è quello di assumere una connotazione che gli studenti, con atteggiamento cinico, ma efficace, denotano col termine "discorsiva". Del tutto vana, in questo come negli altri Corsi di Studio d'Ingegneria, è stata la speranza che l'assetto "3+2" eliminasse la piaga del fuoricorso: come detto sopra, le cause di questo fenomeno non vanno ricercate nella struttura del piano didattico<sup>13</sup>.

Come noto, negli ultimi decenni lo sviluppo delle tecnologie elettroniche, e dei metodi e applicazioni di queste, è stato tumultuoso e non accenna a rallentare; ciò ha comportato, e tuttora comporta, un continuo adeguamento dei contenuti e dell'articolazione del piano didattico, in particolare di quello specialistico e poi magistrale; come testimonia la numerosità e stabilità delle iscrizioni (nonostante il fatto che l'Elettronica sia una disciplina "difficile"), questo sforzo da parte del Corso di Laurea è stato coronato da successo.

---

<sup>13</sup> Se un Corso di Laurea predispone un piano didattico in cui il numero di crediti del primo anno è inferiore alla media, ed è in parte formato da esami di natura "discorsiva", il numero di studenti che abbandonano il Corso di Laurea nel passaggio dal primo al secondo anno è minimo, con grande soddisfazione dell'Università che può esibire parametri favorevoli. Il trucco viene pagato con gl'interessi negli anni successivi, con forte danno per gli studenti.

In parallelo all'evoluzione culturale è avvenuta una molto meno gradita, e ben poco utile, evoluzione amministrativa, dovuta al passaggio agli ordinamenti "3+2" e alla pleora di leggi, leggine, decreti e linee-guida con cui gl'insegnamenti vengono incasellati e combinati a seconda del tipo, ambito, settore, numero di crediti, e via discorrendo. Il numero di vincoli imposto dai nuovi ordinamenti è tale che la preparazione del piano didattico si riduce a un estenuante esercizio cabalistico, da cui le considerazioni culturali rischiano di essere bandite. Un fiero colpo all'efficienza è stato anche portato dall'eliminazione delle Facoltà, imposta dalla legge 240 del 2010, che per Ingegneria è stata un'operazione sciagurata; nelle Facoltà, infatti, si realizzavano i due pilastri ineliminabili su cui poggia qualunque processo che aspiri a un minimo di qualità: il controllo delle risorse e la certezza della catena di *management*. Prima della legge 240 i docenti erano giuridicamente incardinati nella Facoltà che, in "tempo reale", era in grado di verificare la disponibilità o meno delle risorse necessarie all'attivazione dei Corsi di Studio; inoltre (nel caso specifico della Facoltà d'Ingegneria), i docenti di materie matematiche, fisiche, chimiche, economiche, ecc., essendo incardinati nella Facoltà, insegnavano le loro materie nei Corsi di Studio della Facoltà, senza che fossero necessari gli estenuanti mercanteggiamenti e prestiti di docenti fra un Dipartimento e l'altro. Quanto alla catena di *management*, nella situazione precedente alla legge 240 essa era certa e lineare: Corso di Studio, Facoltà, Senato Accademico. Tutte le azioni amministrative necessarie per la programmazione didattica facevano capo alla Facoltà, mentre nell'assetto presente sono parcellizzate in modo confuso fra Dipartimenti e Scuole, con continue invasioni di campo, e incertezze nelle attribuzioni dei compiti, che sicuramente non giovano alla qualità del processo. In pratica, il risultato prodotto dalla legge 240 è che, per fornire agli studenti un servizio identico a quello del periodo pre-240, la quantità di lavoro richiesto alle strutture periferiche dell'Università è enormemente aumentato<sup>14</sup>.

Un'ultima considerazione riguarda l'accesso al mondo del lavoro. I laureati nei Corsi di Laurea magistrale in Ingegneria sono costantemente al primo posto negli indicatori nazionali, sia per quanto riguarda la percentuale di occupati, sia per quanto riguarda la rapidità di accesso alla professione rispetto al momento in cui il titolo di studio viene conseguito. Ben diversa è la situazione dei laureati triennali: l'accesso al mondo del lavoro d'Ingegneri con il solo titolo triennale è modesto, ed è limitato a impieghi nei quali l'esigenza prevalente è quella di possedere una discreta manualità. Da questo punto di vista, l'introduzione dell'assetto "3+2" non sembra

<sup>14</sup> Nel caso dell'Università di Bologna, l'inefficienza intrinseca all'applicazione della legge 240 è stata ulteriormente aggravata dalla bulimia accentratrice degli organi amministrativi. Questi, con tenacia degna di miglior causa, sono riusciti a far approvare agli organi di governo dell'Ateneo una ristrutturazione gerarchica che sottrae al controllo dei Dipartimenti il Personale amministrativo periferico che si occupa di didattica. La conclusione è stata che, nell'assetto presente, la gestione amministrativa dei Corsi di Laurea è avulsa dalle sedi che le sarebbero proprie, cioè i Dipartimenti, perché il Personale risponde solo alla sede centrale dell'Università (in definitiva, risponde a persone che non hanno mai fatto didattica, sono all'oscuro dei problemi tipici di un Corso di Studio, né sono interessate a comprenderli).

aver mantenuto le promesse, quanto meno per Ingegneria<sup>15</sup>. Questa osservazione spiega come mai, a distanza di quasi vent'anni dall'introduzione degli ordinamenti "3+2", non sia affatto sopita la corrente di pensiero che ritiene preferibile un ritorno agli ordinamenti quinquennali: se questo ritorno si concretizzasse, il piano didattico assumerebbe una struttura molto più razionale, perché verrebbero eliminati d'un sol colpo sia l'accumulo di argomenti applicativi nei primi tre anni, sia la necessità di riprendere argomenti teorici nel successivo biennio<sup>16</sup>. Questo ritorno alla vecchia struttura, del tutto auspicabile, non può appoggiarsi su cambi di ordinamento, per il semplice fatto che, con l'unica eccezione del Corso di Laurea in Ingegneria Edile - Architettura, la legge non prevede ordinamenti a ciclo unico per Ingegneria (né, considerate le attuali condizioni della politica nazionale, è pensabile che l'introduzione di nuovi ordinamenti sia in cima ai pensieri di chi governa). Peraltro, la presenza di ordinamenti a ciclo unico non è necessaria, perché sarebbe sufficiente mappare sul presente ordinamento "3+2" la struttura del vecchio: in conclusione, un ritorno alla configurazione del Corso di Studio su cinque anni, oltre che auspicabile, sarebbe anche relativamente semplice e non comporterebbe modifiche di ordinamenti.

---

<sup>15</sup> A meno che la promessa inconfessata non fosse quella di fornire manovalanza a basso costo.

<sup>16</sup> Molti colleghi che svolgono insegnamenti nella Laurea magistrale lamentano la forte inadeguatezza della preparazione di base degli studenti. Tale inadeguatezza ostacola fortemente la preparazione, perché gli studenti arrancano sui conti e perdono di vista i concetti.

### **3.3. IL CORSO DI INGEGNERIA INFORMATICA NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

*Anna Ciampolini*

Il Corso di Laurea in Ingegneria Informatica fu attivato presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna nell'anno accademico 1992/93. Nei decenni successivi, sia a fronte delle sollecitazioni legislative provocate dalle varie riforme ministeriali, sia per effetto della naturale e rapida evoluzione della disciplina, il corso ha subito diverse trasformazioni, fino ad arrivare all'attuale assetto.

In questo breve contributo verrà inizialmente descritta la genesi del Corso di Studio in Ingegneria Informatica a partire dagli albori dell'Ingegneria dell'Informazione nella Facoltà di Ingegneria. Successivamente si analizzerà l'evoluzione del Corso di Studio, evidenziando le modifiche apportate all'organizzazione e ai contenuti del corso dal 1992 in poi.

#### **La didattica dell'Informatica nella Facoltà**

##### ***Fino al 1960***

Prima dell'anno 1960 l'Informatica non era presente in nessuno dei Cds della Facoltà. Tuttavia, con l'istituzione nel 1957 del Centro Calcoli della Facoltà, si cominciarono a formare e a diffondere tra alcuni docenti della Facoltà competenze specifiche sull'architettura, la programmazione e l'uso dei calcolatori elettronici. A questo proposito è doveroso ricordare, in particolare, gli importanti contributi di alcuni docenti della Facoltà come Giuseppe Evangelisti, Aurelio Boari, Roberto Laschi e Remo Rossi, veri e propri pionieri dell'informatica all'interno della Facoltà.

Le attività che in quel periodo si svolgevano nel Centro Calcoli furono principalmente stimolate dalle crescenti necessità computazionali scaturite dalle attività di ricerca. Ciò consentì ai docenti "pionieri" l'acquisizione di conoscenze teoriche e pratiche sempre più approfondite nel settore dell'elaborazione automatica delle informazioni. Queste competenze rimarranno confinate all'esclusivo ambito della ricerca fino all'anno 1960.

##### ***Gli anni dal 1960 al 1992***

Come conseguenza dei d.P.R. n. 53/1960 e n. 1445/1960 che estesero l'offerta didattica delle Facoltà di Ingegneria a 9 Corsi di Laurea, nell'A.A. 1960/61 venne attivato nella Facoltà il nuovo Corso di Laurea quinquennale in Ingegneria Elettronica. Esso rappresentò il primo percorso formativo della Facoltà nel nascente settore dell'informazione. All'interno del corso di Ingegneria Elettronica cominciarono ad essere introdotti alcuni contenuti alla base dell'informatica.

Il primo Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica della Facoltà oggi potrebbe essere definito un corso di "Ingegneria dell'Informazione" perché al suo interno venivano insegnati non soltanto contenuti appartenenti all'area esclusiva dell'Elettronica, ma anche materie riferibili ad ogni altra area che oggi caratterizza il settore dell'informazione: l'informatica, l'automatica, le telecomunicazioni e la bioingegneria.

Per quanto riguarda l'informatica in particolare, fin dal suo primo anno di vita il piano didattico del corso in Ingegneria Elettronica prevedeva, all'interno di un percorso specifico, gli insegnamenti di Calcolatori elettronici e di Programmazione dei calcolatori elettronici.

Negli anni successivi l'offerta delle materie informatiche nel Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica fu progressivamente ampliata, in linea con l'evoluzione e la diffusione delle discipline informatiche. In particolare furono attivati insegnamenti nel settore dell'architettura degli elaboratori (Reti Logiche e Sistemi per l'Elaborazione dell'Informazione), dei sistemi operativi e della programmazione concorrente (Calcolatori Elettronici), dei sistemi informativi (Gestione dell'Informazione) e dei Linguaggi di Programmazione, alcuni dei quali furono successivamente resi obbligatori per tutti gli studenti del corso in Ingegneria Elettronica, riconoscendo di fatto all'Informatica il valore fondamentale che tutt'ora ritroviamo in quasi tutti i Corsi di Laurea di Ingegneria.

Con il passare del tempo e con il rapido progredire delle discipline del settore dell'informazione, si andò a delineare sempre più marcatamente l'esigenza di attivare all'interno del Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica percorsi specifici per formare laureati con particolari competenze in sotto-aree dell'ingegneria dell'informazione, mediante l'introduzione nel piano didattico di alcuni "Indirizzi". Gli Indirizzi furono realizzati come gruppi di esami a scelta negli ultimi tre anni del percorso formativo: all'inizio degli anni novanta gli studenti del Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica potevano scegliere tra 6 possibili indirizzi tra i quali, naturalmente, era presente un indirizzo specifico in Informatica (v. Tabella 1).

### ***Il Corso di Laurea in Ingegneria Informatica***

Il passaggio al nuovo ordinamento (d.P.R. del 20 maggio 1989) determinò un ulteriore ampliamento dell'offerta didattica della Facoltà, nel cui ambito fu istituito il Corso di Laurea in Ingegneria Informatica, attivato nell'anno accademico 1992/93.

Al nuovo Corso di Laurea, di durata quinquennale, si affidò il duplice compito di recepire, da un lato tutto il patrimonio culturale e tecnico degli indirizzi di Informatica e di Automazione del precedente Corso di laurea in Ingegneria Elettronica, e, dall'altro, di ampliare e armonizzare l'offerta didattica per definire figure professionali con una larga base comune, ma con competenze specifiche differenziate, adatte alle esigenze dei diversi settori del mondo del lavoro.

A questo scopo, il Corso di Studi fu strutturato in 29 insegnamenti (v. Tabella 2), dei quali 22 obbligatori e 7 a scelta. In particolare le scelte, limitate al quarto e quinto anno, venivano inquadrare all'interno di due possibili indirizzi:

Tabella 1. Piano didattico del Corso di Laurea in Ing. Elettronica nell'A.A. 1991/92 con indirizzo Informatica.

<b>Ingegneria Elettronica AA.1991-92</b>		
<b>Insegnamenti comuni a tutti gli indirizzi:</b>		
<b>Anno di corso</b>	<b>I Ciclo</b>	<b>II Ciclo</b>
<b>I</b>	Analisi Matematica I Elementi di Informatica	Chimica Fisica I Geometria
<b>II</b>	Analisi matematica II Fisica II Programmazione dei calcolatori elettronici	Elettrotecnica I Meccanica razionale Metodi di osservazione e misura
<b>III</b>	Complementi di matematiche Reti Logiche Fisica Tecnica	Comunicazioni elettriche I Elettronica Applicata I
<b>IV</b>	Campi elettromagnetici e circuiti Controlli automatici I	Elettronica Applicata II Sistemi per l'elaborazione dell'informazione
<b>V</b>	Economia e organizzazione aziendale Misure elettriche	

<b>Piano di studio con indirizzo Informatica</b>		
<b>Anno di corso</b>	<b>I Ciclo</b>	<b>II Ciclo</b>
<b>III</b>		Teoria dei sistemi
<b>IV</b>	Linguaggi di programmazione	Gestione dell'informazione
<b>V</b>	Economia e organizzazione aziendale Misure elettriche	
<b>Insegnamenti a scelta:</b>		
<b>V</b>	Comunicazioni elettriche II Elettronica applicata III	Sistemi per l'elab. delle informazioni (avanzato) Elettronica industriale Meccanica delle macchine e macchine

- l'indirizzo "Sistemi ed Applicazioni Informatici", volto ad approfondire il tema della progettazione e della gestione dei sistemi informatici hardware e software, tramite la trattazione di argomenti come la progettazione di sistemi software, la progettazione dei sistemi informativi e l'architettura dei sistemi di elaborazione; a queste tematiche furono man mano aggiunti contenuti avanzati nei settori dell'intelligenza artificiale, dei sistemi distribuiti, dell'ingegneria del software e dell'ottimizzazione;

- l'indirizzo "Automatica e Sistemi di Automazione", che si proponeva di approfondire lo studio della modellistica, del controllo e delle tecnologie per realizzare i sistemi di automazione industriale.

### La riforma del "3+2"

#### **Il Corso di Studi riformato ex D.M. 509/1999**

La riforma del D.M. 509/1999 determinò la trasformazione di tutti i Corsi di Laurea della Facoltà in percorsi di formazione strutturati su due livelli: la laurea di primo



Tabella 2. Piano didattico del Corso di Laurea in Ing. Informatica nell'A.A. 1992/93.

<b>Ingegneria Informatica A.A.1992-93</b>		
<b>Insegnamenti comuni a tutti gli indirizzi:</b>		
<b>Anno di corso</b>	<b>I Ciclo</b>	<b>II Ciclo</b>
<b>I</b>	Analisi Matematica I Fondamenti di Informatica I	Chimica Fisica I Geometria e algebra
<b>II</b>	Analisi matematica II Fisica II Fondamenti di Informatica II	Elettrotecnica Meccanica razionale Fisica tecnica
<b>III</b>	Analisi matematica III Reti logiche Teoria dei sistemi	Comunicazioni elettriche Controlli automatici I Elettronica Applicata I
<b>IV</b>	Calcolatori elettronici I Elettronica applicata II Ricerca operativa	Misure elettriche
<b>V</b>	Economia e organizzazione aziendale	

<b>Piano di studio con indirizzo Automatica e Sistemi di Automazione Industriale</b>		
<b>Anno di corso</b>	<b>I Ciclo</b>	<b>II Ciclo</b>
<b>IV</b>		Controllo dei processi Meccanica applicata alle macchine
<b>V</b>	Tecnologie dei sistemi di controllo 1 insegnamento a scelta	Controlli automatici II 2 insegnamenti a scelta
<b>Insegnamenti a scelta:</b>		
<b>Almeno un insegnamento a scelta tra i seguenti:</b>		
<b>V</b>	Intelligenza artificiale Reti di calcolatori	Robotica industriale Sensori e trasduttori
qualunque altro insegnamento incluso nei piani di studio del settore dell'Ingegneria dell'Informazione		

<b>Piano di studio con indirizzo Sistemi ed Applicazioni Informatici</b>		
<b>Anno di corso</b>	<b>I Ciclo</b>	<b>II Ciclo</b>
<b>IV</b>		Sistemi informativi I Calcolatori elettronici II
<b>V</b>	2 insegnamenti a scelta	Meccanica applicata alle macchine 2 insegnamenti a scelta
<b>Insegnamenti a scelta:</b>		
<b>Almeno due insegnamenti a scelta tra i seguenti:</b>		
<b>V</b>	Linguaggi e traduttori Intelligenza artificiale Reti di calcolatori	Ingegneria del software Sistemi di elaborazione Sistemi informativi II
qualunque altro insegnamento incluso nei piani di studio del settore dell'Ingegneria dell'Informazione		

livello (Laurea “Triennale”) e la laurea di secondo livello (Laurea Specialistica, di durata biennale).

La nuova laurea di primo livello in Ingegneria Informatica, attivata nel 2001/02 dopo una sperimentazione biennale, aveva tra i suoi scopi primari la preparazione di laureati in grado di inserirsi nel mondo del lavoro dopo una formazione di soli tre anni. Questo ambizioso obiettivo comportò necessariamente una profonda revisione dell’organizzazione dell’intero percorso quinquennale, dato che una semplice trasposizione dei primi tre anni della vecchia laurea nel Corso di Laurea triennale non sarebbe stata efficace: l’organizzazione del vecchio corso quinquennale prevedeva infatti che la maggior parte delle materie tecniche e “professionalizzanti” fossero collocate negli ultimi anni, dedicando i primi due-tre anni allo studio approfondito delle materie di base e propedeutiche, la maggior parte comuni a tutti i Corsi di Studio della Facoltà.

La nuova impostazione (v. Tabella 3) si basò su alcune importanti novità, di seguito sintetizzate:

- Furono introdotti nella laurea di primo livello contenuti tecnici e applicativi di ambito informatico, alcuni dei quali non presenti nel piano didattico della vecchia laurea quinquennale, come, ad esempio, Ingegneria del Software, Reti di Calcolatori, Sistemi Distribuiti e Tecnologie web.

- Per conferire ai laureati una adeguata capacità operativa e progettuale, furono inoltre previste, già a partire dal primo anno, alcune attività di laboratorio mediante

Tabella 3. Piano didattico del Corso di Laurea triennale in Ing. Informatica nell’A.A. 2001/02.

<b>Corso di Laurea in Ingegneria Informatica AA.2001-02</b>			
<b>Insegnamenti comuni a tutti gli indirizzi:</b>			
<b>Anno di corso</b>	<b>I Ciclo</b>	<b>II Ciclo</b>	<b>III Ciclo</b>
<b>I</b>	Analisi matematica L-A (6 crediti) Fondamenti di informatica L-A (6 crediti) Geometria e algebra L-A (6 crediti) Lab. di informatica L-A (6 crediti)	Analisi matematica L-B (6 crediti) Fondamenti di informatica L-B (6 crediti) Fisica generale L-A (6 crediti)	Elettrotecnica L-A (6 crediti) Fisica generale L-B (6 crediti) Reti logiche L-A (6 crediti)
	Lingua inglese (3 crediti)		
<b>II</b>	Controlli automatici L-A (6 crediti) Controlli automatici L-B (5 crediti) Matematica applicata L-A (6 crediti)	Elettronica L-A(6 crediti) Comunicazioni elettriche L-A (6 crediti) Calcolatori elettronici L-A (6 crediti)	Elettronica L-B (6 crediti) Reti di telecomunicazioni L-A (6 crediti) Sistemi operativi L-A (6 crediti)
<b>III</b>	Sistemi informativi L-A (6 crediti)	Economia e organiz. aziendale (6 crediti) Reti di calcolatori L-A (6 crediti) Ingegneria del software L-A (6 crediti)	Sistemi distribuiti L-A (6 crediti) Sistemi informativi L-B (6 crediti)
	Prova finale (6 crediti)		
<b>Insegnamenti a scelta: (24 crediti)</b>			
<p><b>Scegliere un insegnamento tra i seguenti:</b>                      Ricerca operativa L-A (5 crediti)                      Controllo dei processi L-A (5 crediti)</p> <p><b>Scegliere un insegnamento tra i seguenti:</b>                      Fisica generale L-C (5 crediti)                      Ingegneria e tecnologie dei sistemi di controllo L-A (5 crediti)</p> <p><b>Scegliere un insegnamento tra i seguenti:</b>                      Chimica L-A (5 crediti)                      Identificazione dei modelli e analisi dei dati L-A (5 crediti)</p> <p><b>Scegliere attività per un totale di 9 crediti tra i seguenti insegnamenti:</b>                      Tirocinio (9 crediti)                      Laboratorio di creazione d’impresa L-A (6 crediti)                      Affidabilità e controllo della qualità L-A (6 crediti)                      Laboratorio di analisi numerica L-A (3 crediti)                      Laboratorio di ricerca operativa L-A (3 crediti)                      Laboratorio di automazione L-A (3 crediti)</p>			

Tabella 4. Piano didattico del Corso di Laurea specialistica in Ing. Informatica nell'A.A. 2003/04.

Laurea Specialistica in Ingegneria Informatica A.A. 2003-04									
I ciclo			II ciclo			III ciclo			
Anno		CFU	Tipo		CFU	Tipo		CFU	Tipo
I	Controlli automatici LS	6	B	Matematica discreta LS	6	A	Ricerca operativa LS	6	C
	Linguaggi e modelli computazionali LS	6	B	Tecnologie per la sicurezza LS	6	B	Fondamenti di intelligenza artificiale LS	6	B
	Sistemi digitali LS	6	B	Sistemi operativi LS	6	B	Calcolatori elettronici LS	6	B
II	Gestione dell'innovazione e dei progetti LS	6	C	Sistemi informativi LS	6	B	Sistemi in tempo reale LS	6	B
	Ingegneria del software LS	6	B	Reti di calcolatori LS	6	B			
	Attività formative a scelta <sup>(1)</sup>								
	Prova Finale (12 CFU, tipo E)								

(1) Attività formative a scelta guidata (tipologie B/C, F) e a scelta libera (tipologia D):

Tipologia B/C:

12 credi Si operi la scelta nell'ambito delle attività formative di tipologia B o C indicate nella seguente tabella.

Tipologia D:

6 credi Si suggerisce di operare la scelta nell'ambito delle attività formative di tipologia B, C, D indicate nella seguente tabella.

Tipologia E:

6 credi Si operi la scelta nell'ambito delle attività formative di tipologia F indicate nella seguente tabella.

I ciclo			II ciclo			III ciclo		
Metodi numerici per la grafica LS	6	B	Applicazioni di intelligenza artificiale LS	6	B	Elaborazione dell'immagine LS	6	B
Algoritmi di ottimizzazione LS	6	B	Ottimizzazione delle risorse LS	6	C	Sistemi distribuiti LS	6	B
Robotica industriale L-A	6	B	Sistemi di controllo digitale L-A	6	B	Sistemi di controllo distribuito LS	6	B
Sistemi di telecomunicazione L-A	6	C	Sistemi di telecomunicazione LS	6	C	Trasmissione numerica L-A	6	C
Elaborazione statistica dei segnali nei sistemi elettronici LS	6	C	Architetture digitali per l'elaborazione dei segnali LS	6	C	Elaborazione elettronica dei segnali digitali LS	6	C
Economia dell'ICT L-A	3	F	Laboratorio di creazione di impresa L-A	6	F	Affidabilità e controllo di qualità L-A	6	F
Economia dei mercati e analisi degli indici economici L-A	3	F	Sistemi di gestione integrati L-A	6	F	Politica tecnologica e della ricerca nell'Unione Europea L-A	6	F
Tirocinio							6	F

le quali gli studenti potevano sperimentare sul campo le metodologie e gli strumenti appresi in aula. Ad esempio, i fondamenti della programmazione, insegnati al primo anno nei corsi di Fondamenti di Informatica, venivano sperimentati nel corrispondente corso di Laboratorio.

- Per creare lo spazio necessario ai nuovi contenuti si dovette procedere a una dolorosa, ma necessaria, eliminazione di alcuni insegnamenti fino ad allora presenti nel biennio propedeutico come la Meccanica Razionale e la Chimica.

- Lo spazio dedicato alle materie di base di ambito matematico e fisico nel triennio fu moderatamente ridotto, prevedendo in qualche caso approfondimenti tra le materie a scelta nel terzo anno (es. Fisica generale LC) o al primo anno della laurea specialistica (es. Matematica discreta LS).

La trattazione delle materie informatiche della triennale aveva come obiettivo la padronanza dei concetti di base, delle tecnologie e degli strumenti, limitando gli approfondimenti teorici al minimo indispensabile. Come conseguenza di quest'ultima scelta, nella Laurea Specialistica in Ingegneria Informatica (attivata nell'A.A. 2003/04, v. Tabella 4), oltre alle materie specialistiche (come ad esempio Intelligenza artificiale, Linguaggi e modelli computazionali, Tecnologie per la sicurezza, Sistemi in tempo reale, Data mining, Elaborazione dell'immagine), furono previsti approfondimenti teorici e metodologici in alcune discipline già introdotte nel corso della triennale (es. Sistemi Operativi, Reti di Calcolatori, Sistemi Digitali).

Le scelte compiute nel progetto delle lauree 3+2 in Ingegneria Informatica furono premiate da ottimi dati sull'occupazione, che confermarono, in particolare, l'effica-

cia professionalizzante della laurea triennale: nel 2008<sup>1</sup> il 92% dei laureati triennali in Ingegneria Informatica a Bologna che non proseguirono gli studi nella Laurea Specialistica trovò immediata collocazione nel mondo del lavoro.

### ***L'Ingegneria Informatica dal 2007 al 2018***

La riforma “Moratti” (D.M. 270/2004) dettò nuove regole sull'organizzazione dei Corsi di Studio, introducendo ulteriori vincoli per limitare la proliferazione e la parcellizzazione delle attività formative. Tra le principali novità portate dal D.M. 270/2004 vi fu il limite al numero massimo di esami da sostenere: 20 esami per la laurea triennale, 12 per la laurea di secondo livello (ridenominata dalla riforma come “Laurea Magistrale”). Di conseguenza, entrambi i Cds subirono un'ulteriore profonda ristrutturazione.

Riguardo alla laurea triennale in Ingegneria Informatica, il D.M. 270/2004 fu l'occasione per compiere alcuni interventi di consolidamento e razionalizzazione del piano didattico nello spirito della legge, tramite la compattazione di alcuni filoni disciplinari in esami unici (es. Elettronica, Controlli automatici, Telecomunicazioni) e una redistribuzione più bilanciata del carico di studio sui due livelli di studio.

La nuova LT venne varata nell'A.A. 2008/09 (v. Tabella 5); nell'anno successivo fu attivata la nuova Laurea Magistrale, alla quale furono aggiunte man mano nuove materie al passo con l'evoluzione disciplinare (ad es. Sistemi intelligenti, Sistemi mobili, Computer graphics). Per poter accogliere al suo interno l'ampia gamma dei contenuti ritenuti importanti per la formazione del moderno ingegnere magistrale, la struttura del piano didattico (v. Tabella 6) è oggi caratterizzata da un'elevata flessibilità, che consente allo studente di configurare il proprio percorso in base ai propri interessi ed ai propri obiettivi professionali.

*Tabella 5. Piano didattico del Corso di Laurea triennale in Ing. Informatica nell'A.A. 2018/19.*

<b>Laurea triennale in Ingegneria Informatica A.A.2018-19</b>		
<b>Insegnamenti comuni a tutti gli indirizzi:</b>		
<b>Anno di corso</b>	<b>I Ciclo</b>	<b>II Ciclo</b>
<b>I</b>	Analisi matematica T-1 (9 CFU) Fondamenti di informatica T-1 (12 CFU) Geometria e algebra T (6 CFU)	Analisi matematica T-2 (6CFU) Fondamenti di informatica T-2 (12 CFU) Reti logiche T (6CFU)
	IDONEITA' LINGUA INGLESE B - 2 (6 CFU)	
<b>II</b>	Calcolatori elettronici T (6 CFU) Fisica generale T (9 CFU) Sistemi informativi T (9 CFU) Matematica applicata T (6 CFU)	Sistemi operativi T (9 CFU) Economia e organizzazione aziendale T (6 CFU) Elettrotecnica T (6 CFU) Fondamenti di telecomunicazioni T (9 CFU)
	<b>III</b>	Controlli automatici T (9 CFU) Elettronica T (6 CFU) Reti di calcolatori T (9 CFU) Tecnologie web T (9 CFU)
PROVA FINALE (3 CFU)		

<sup>1</sup> Fonte: indagine Alma laurea 2008 sulla condizione occupazionale dei laureati.

Tabella 6. Piano didattico del Corso di Laurea magistrale in Ing. Informatica nell'A.A. 2018/19.

Piano didattico della Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica A.A. 2018-19						
Insegnamenti Obbligatori:						
1 <sup>a</sup> anno	Ciclo 1	CFU	Tipo	Ciclo 2	CFU	Tipo
					Ricerca Operativa M	8
	Attività a Scelta Guidata <sup>(1)</sup>					
	Inglese B2 (6 CFU, tipo F)					

2 <sup>a</sup> anno	Ciclo 1	CFU	Tipo	Ciclo 2	CFU	Tipo
		Gestione dell'Innovazione e dei Progetti M	6	C		
	Attività formative a scelta guidata e a scelta libera <sup>(2)</sup>					
	Prova Finale (24 CFU, tipo E)					

**(1) Attività formative a scelta guidata (tipologie B e F), primo anno:**

**Tipologia B:** lo studente deve scegliere 5 attività tra quelle indicate in tabella 1 per il primo anno;

**Tipologia E:** lo studente può svolgere 1 attività progettuale (4 CFU) abbinata a un esame di tipologia B e C incluso nel piano di studi.

**(2) Attività formative a scelta guidata (tipologie B e F), secondo anno:**

**Tipologia B:** lo studente deve scegliere 5 attività tra quelle indicate in tabella 1 per il primo anno;

**Tipologia E:** lo studente può svolgere 1 attività progettuale (4 CFU) abbinata a un esame di tipologia B e C incluso nel piano di studi.

**Tipologia D:** 16 crediti. Si suggerisce di operare la scelta nell'ambito delle attività formative indicate nelle Tabelle 1 e 2.

Tabella 1: attività caratterizzanti (tipologia B)						
1 <sup>a</sup> anno	Ciclo 1	CFU	Ore	Ciclo 2	CFU	Ore
		Calcolatori Elettronici M	8	64	Fondamenti di Intelligenza Artificiale M	8
	Linguaggi e Modelli Computazionali M	8	64	Ingegneria dei Sistemi Software M	8	64
	Sicurezza dell'Informazione M	8	64	Infrastructures for cloud computing and big data M	8	64
	Sistemi Operativi M	8	64	Sistemi in Tempo Reale M	8	64
	Sistemi Digitali M	8	64	Tecnologie delle Basi di Dati M	8	64

2 <sup>a</sup> anno	Ciclo 1	CFU	Ore	Ciclo 2	CFU	Ore
		Computer Vision and Image Processing M	8	64	Robotica Industriale M	8
	Controlli automatici e teoria dei sistemi M	8	64	Sistemi di Controllo distribuito M	8	64
	Diagnostica e Controllo M	8	64	Intelligent Systems M	8	64
	Data Mining M	8	64	Mobile Systems M	8	64
	Sistemi Distribuiti M	8	64	Multimedia Data Management M	8	64

Tabella 2: attività a scelta libera						
2 <sup>a</sup> anno	Ciclo 1	CFU	Ore	Ciclo 2	CFU	Ore
		Optimization Algorithms M	6	60	Multimedia Services and Applications M	6
	Fondamenti di Computer Graphics M	6	60	Architetture e protocolli per reti spaziali M	4	30
	Hardware – Software Design Methods M	6	60	Sistemi Embedded Riconfigurabili M	4	32
	Ottimizzazione su reti M	4	32			

## **Conclusioni**

Nonostante la storia dell'Ingegneria informatica nell'Università di Bologna sia relativamente breve rispetto a quella di altri settori storici dell'ingegneria, il Corso di Studio nella sua vita quasi trentennale ha subito varie e profonde trasformazioni, continuamente adattandosi all'evoluzione rapida delle discipline informatiche e alle necessità del mondo del lavoro. Oggi è uno dei corsi più numerosi nell'area dell'Ingegneria.

## **Nota bibliografica**

*Guide dello Studente della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna*, Bologna, CLUEB.

### **3.4. IL CORSO DI INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI NELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

*Carla Raffaelli*

#### **Sommario**

Il Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni fu istituito con questo nome nell'Università di Bologna all'inizio degli anni Novanta. In questa relazione viene descritto come il Corso di Studio si è evoluto dalla organizzazione quinquennale alla trasformazione in Laurea di primo livello seguita dalla Laurea di secondo livello, alla fusione con la Laurea di primo livello in Elettronica e infine alla attuale trasformazione della Laurea di secondo livello in Laurea Internazionale in lingua inglese dal nome Telecommunications Engineering.

#### **La disciplina delle Telecomunicazioni e l'evoluzione normativa**

A seguito del riordinamento dell'offerta formativa operato dal D.P.R del 20 maggio 1989, nell'A.A. 1992/93 fu istituito per la prima volta il Corso di Studio quinquennale in Ingegneria delle Telecomunicazioni (2143) presso la Facoltà di Ingegneria con sede a Bologna. Nello stesso A.A. 1992/93 furono istituiti i diplomi universitari, secondo la legge 341/90: presso la sede di Cesena venne attivato il Corso di Diploma in Ingegneria delle Telecomunicazioni.

#### **La formazione in Ingegneria delle Telecomunicazioni secondo il D.M. 509/1999**

Dall'A.A. 1999/2000 si avvia la sperimentazione della formula 3+2 con il Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni, ordinamento 2163. Viene introdotto il sistema dei crediti. La nuova organizzazione degli studi si articola su due livelli: il primo di tre anni, pari a 180 crediti, con l'obiettivo di acquisizione della Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni, e il secondo, successivo al primo, di due anni, pari ad ulteriori 120 crediti con l'obiettivo di acquisizione della Laurea Specialistica in Ingegneria delle Telecomunicazioni. Quest'ultimo partirà con il primo anno nell'A.A. 2002/03. Il Corso di Laurea quinquennale rimane ad esaurimento a partire dal secondo anno.

L'idea è stata quella di riuscire ad offrire ad alcuni studenti la possibilità di un percorso più breve e professionalizzante, basato su concetti più pratici, il "saper fare", da conseguire nei primi tre anni. Gli approfondimenti teorici sono stati introdotti prevalentemente e successivamente nel percorso specialistico, a carattere decisamente metodologico e progettuale. Il dibattito sulla efficacia di questa organizzazione è

stato presente nell'ambito disciplinare delle telecomunicazioni fin dai primi tempi, riconoscendo la difficoltà per queste discipline di offrire su un percorso di soli tre anni una formazione già spendibile nell'industria e al tempo stesso in grado di fornire le basi per i successivi approfondimenti specialistici. Fu creato uno sdoppiamento al terzo anno del primo livello tra percorso generale, pensato per chi voleva proseguire, e percorso applicativo, per chi voleva concludere con il primo livello.

Il percorso specialistico articolato su due anni e tre cicli di lezioni è riportato nella Tabella 1 secondo l'ordinamento 0231 come configurato nell'A.A. 2005/06. Oltre agli esami obbligatori esso prevedeva materie a scelta guidata, laboratori (tip. F) e materie a scelta libera (tip. D). Le successive evoluzioni della Laurea Specialistica in Laurea Magistrale risentono significativamente di questa impostazione e tradizione culturale che ancora oggi si mantiene seppure nei suoi necessari aggiornamenti. Si mettono in evidenza in particolare gli aspetti di sistemi e reti radio e di propagazione a cui si aggiungono le competenze sulle antenne e sulle comunicazioni in fibra ottica.

Tabella 1. Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni, ordinamento 0231, A.A. 2005/06.

Primo anno								
Primo ciclo			Secondo ciclo			Terzo ciclo		
Metodi numerici per l'ingegneria LS	A	6	Sistemi di telecomunicazioni LS	B	6	Sistemi a portante ottica LS	B	6
Sistemi d'antenna LS	B	6	Reti di telecomunicazioni LS	B	6	Teletraffico LS	B	6
Elettronica dei sistemi digitali LS	C	6	Propagazione LS-A	B	6	Propagazione LS-B	B	6

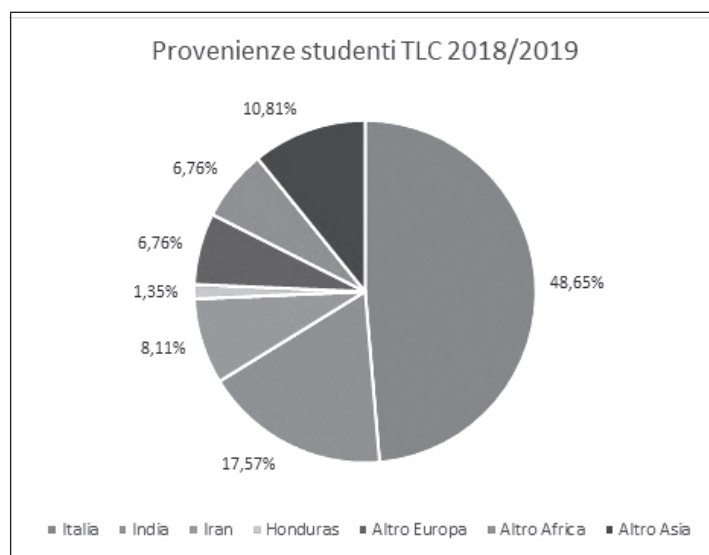
Secondo anno								
Primo ciclo			Secondo ciclo			Terzo ciclo		
Sistemi radio LS	B	6	Trasmissione numerica LS	B	6			
Componenti e circuiti a radiofrequenza LS	B	6						
Modelli e applicazioni in reti di calcolatori LS	C	6						
Moduli a scelta guidata (18 CFU) - Moduli di tipologia F (6 CFU) - Moduli di tipologia D (6 CFU)								
Prova finale (E 12)								

## La trasformazione del Corso di Studio con la Riforma Gelmini

Nel 2009 con la Riforma Gelmini ha inizio una riprogettazione sia della Laurea triennale che della Laurea Specialistica nell'ottica di una auspicata razionalizzazione dell'offerta didattica. Dall'A.A. 2010/11 si ha la fusione delle due Lauree triennali in Elettronica e Telecomunicazioni in un unico percorso di Laurea in



Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni, tuttora attivo come ordinamento 923 del D.M. 270, che prevedeva una differenziazione tra le due anime culturali, Elettronica e Telecomunicazioni appunto, al terzo anno. Contestualmente ha inizio una nuova proposta di percorso di Laurea Magistrale in Ingegneria delle Telecomunicazioni caratterizzato da due curricula, uno orientato ai Circuiti e Sistemi delle Telecomunicazioni, tenuto in lingua italiana, e l'altro orientato alle emergenti discipline di reti e servizi, tenuto in lingua inglese. L'introduzione di una didattica in lingua inglese, benché in linea con le molteplici attività internazionali dei gruppi di ricerca del settore Telecomunicazioni e campi elettromagnetici, non ha immediatamente raccolto la convinzione di tutti i docenti, ma è stato tuttavia accompagnato da un coinvolgimento sempre più ampio, fino ad arrivare, soprattutto per motivi di razionalizzazione delle risorse, alla offerta di un unico percorso in lingua inglese tuttora presente con forti connotazioni internazionali. Sulla base dei requisiti previsti per la docenza in corsi internazionali e riguardanti la conoscenza della lingua inglese, molti dei docenti hanno partecipato personalmente a corsi, organizzati dalla Scuola di Ingegneria, per il conseguimento della certificazione prevista, almeno di livello C1, di cui possiamo dire che ormai la maggior parte del corpo docente del Corso di Studio è dotata.



*Figura 1.  
Composizione del  
Corso di Studio  
Telecommunications  
Engineering,  
A.A. 2018/19.*

Il Corso di Studio internazionale comprende ora poco meno di 60 studenti iscritti, dei quali 40 al primo anno di cui circa metà di nazionalità straniera.

Il Corso di Studio riscuote un gradimento elevato da parte degli studenti. Essi sono oggetto di altrettanto interesse da parte delle aziende del settore che stanno incontrando un momento di particolare vivacità nell'attuale prospettiva di realizzazione dei sistemi cellulari di quinta generazione 5G.

Negli ultimi anni si è lavorato moltissimo per dare visibilità alle possibilità di impiego in aziende delle telecomunicazioni ma anche nella logistica e nei servizi, offrendo agli studenti cicli di seminari sugli aspetti di spicco delle Telecomunicazioni sia nel percorso triennale che nel percorso magistrale.

Nella figura sono riportati i diagrammi della composizione del Corso di Studio Telecommunications Engineering sia relativamente alla percentuale di studenti italiani e stranieri che alla composizione del gruppo degli stranieri in base alle provenienze, entrambi relativi all'A.A. 2017/18.

### **3.5. I CORSI DI INGEGNERIA INFORMATICA PRESSO LA SEDE DI CESENA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

*Mirko Viroli, Antonio Natali*

I Corsi di Laurea in Ingegneria Informatica presso la sede di Cesena dell'Università di Bologna costituiscono il punto finale di un percorso iniziato nel 1989, con effettivo inizio nel 1992.

Il 1989 segna l'inizio dell'offerta di corsi universitari a Cesena come sede distaccata dell'Università di Bologna, con l'istituzione di un Corso di Laurea in *Scienze dell'Informazione*, favorita dalla Cassa di Risparmio di Cesena che, tramite una società appositamente costituita (SER.IN.AR. S.p.a.) mette a disposizione strutture logistiche ed attrezzature didattiche.

Poi nel 1992 (a seguito della legge 341/1990), la Facoltà di Ingegneria e il Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica (DEIS) guidato dal professor Calzolari, promuovono, anche grazie al sostegno di SER.IN.AR, l'attivazione a Cesena di un Diploma Universitario in Ingegneria Informatica, unitamente ad altri due diplomi "affini": il Diploma in Ingegneria delle Telecomunicazioni e il Diploma in Ingegneria Elettronica.

Negli anni successivi, l'Università di Bologna attiva numerose altre iniziative didattiche presso le sedi decentrate così da indurre l'Ateneo a costituire, nel 2001, il Polo Scientifico-Didattico di Cesena, nel quadro del Progetto Multicampus, che comprende le città di Cesena, Forlì, Ravenna e Rimini. In seguito al nuovo Statuto, nel 2012, i Poli delle diverse sedi verranno poi ridenominati Campus, continuando la loro missione di coordinamento, dal punto di vista organizzativo, delle attività di supporto alla didattica e alla ricerca svolte nella specifica sede.

#### **I Diplomi Universitari in Ingegneria presso la Sede di Cesena**

Il Diploma in Ingegneria Informatica si propone, a seguito del D.M. n. 509 del 1999, come una alternativa al Corso di Laurea in Scienze dell'Informazione, offrendo un curriculum più professionalizzante che accademico, tenendo conto anche delle indicazioni del Processo di Bologna (1988).

Fin dalla sua nascita, il Diploma si inserisce, insieme ai due Diplomi "affini" in Elettronica e Telecomunicazioni, nel progetto CAMPUS-CRUI (Corsi Avanzati Mirati alla Preparazione Universitaria per Sbocchi lavorativi), co-finanziato dal Fondo Sociale Europeo, promosso dalla Conferenza dei Rettori delle Università Italiane (CRUI) e coordinato per tutto l'Ateneo di Bologna dal professor Antonio Natali, che seguirà poi in modo continuativo l'evoluzione didattico-scientifica dell'informatica presso il Polo cesenate; questo, in stretta cooperazione con il professor Dario Maio, che aveva a suo

tempo promosso, insieme al professor Sergio Focardi, la Laurea in Scienze dell'Informazione coprendo anche il ruolo di Presidente del Polo di Cesena dal 2001 al 2007.

Lo scopo di CAMPUS-CRUI è definire e promuovere un sistema nazionale di valutazione dell'efficienza e della efficacia delle attività formative. Ispirandosi a principi di Total Quality Management (TOQ), il progetto anticipa pratiche attualmente promosse dal sistema di valutazione/accreditamento del sistema universitario nazionale e costituisce un solido punto di riferimento e confronto per la definizione di nuovi modelli di organizzazione didattica. Corsi modulari di 60 ore, classi limitate a poco più di 100 studenti, laboratori ben attrezzati, didattica assistita, tirocini presso aziende, tempi di laurea effettivamente dimensionati su tre anni accademici e indici di occupazione assai elevati già a tre mesi dal conseguimento del titolo, sono alcune caratteristiche peculiari della organizzazione didattica del Diploma, formalmente apprezzate dalle Commissioni di valutazione istituite anno dopo anno dal progetto, che si conclude nel 2000.

### **Dai Diplomi ai nuovi Corsi di Laurea**

In questo quadro di riferimento, a seguito della legge 30/2000 (legge Berlinguer o 3+2), avviene nel 2002 la trasformazione del Diploma in Ingegneria Informatica in un corso di Laurea di Primo livello in Ingegneria Informatica (codice 0206), seguito poi nel 2004 dalla attivazione di un corso di Laurea Specialistica in Ingegneria dei sistemi e delle tecnologie dell'informazione (codice 0206).

Il rispetto dei vincoli introdotti dal D.M. 270/2004 (riforma Moratti) sul numero degli esami (20 per le Triennali e 12 per le Specialistiche) fu soddisfatto senza troppe difficoltà grazie all'impianto ereditato dai Diplomi. Inizialmente, il piano degli studi della laurea triennale prevedeva ancora un numero rilevante di crediti riservati a insegnamenti di matematica, fisica, elettronica e di telecomunicazioni, al fine di offrire una base comune al successivo Corso di Laurea specialistico che costituiva sbocco comune con gli analoghi Corsi di Laurea di primo livello attivati in elettronica e telecomunicazioni.

Nel 2006, in risposta alle esigenze di una più elevata specializzazione nel settore informatico, viene rilassato, al secondo livello, il forte legame con elettronica e telecomunicazione e viene attivato un nuovo Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Informatica (codice 0650).

Grazie anche allo sviluppo e al consolidamento, negli anni precedenti, di una importante ed apprezzata attività di ricerca scientifica in informatica presso la sede di Cesena, il nuovo Corso di Laurea Specialistica offre maggiori crediti di specifica valenza informatica, con particolare riferimento ai linguaggi di programmazione, alla programmazione concorrente e distribuita, ai sistemi informativi, ai sistemi web, alla intelligenza artificiale e alla ingegneria del software.

Nel 2009 (a seguito del decreto 270/2004) il Corso di Laurea Specialistica trasforma la sua denominazione in *Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica* (codice

Tabella 1. Piano didattico del Corso di Laurea triennale in Ingegneria Informatica dal 2002 al 2005.

Facoltà di Ingegneria - sede di Cesena

a.a. 2002-2003

Piano didattico CdL in Ingegneria Informatica Nuovo Ordinamento

anno	I ciclo	cfu	tip	II ciclo	cfu	tip	III ciclo	cfu	tip	cfu	cfu	
I	Analisi Matematica L-A	6	A	Analisi Matematica L-B	6	A	Elettrotecnica L-A	6	C			
	Geometria e Algebra L-A	6	A	Fisica Generale L-A	6	A	Fisica Generale L-B	6	A			
	Reti logiche L-A	6	A	Fondamenti di Informatica L-A	6	A	Fondamenti di Informatica L-B	6	B			
	Laboratorio di Tecnologie Informatiche L-A								3	B		
	Lingua straniera: Inglese <sup>(2)</sup>								3	E		
		18			21					21	60	

anno	I ciclo	cfu	tip	II ciclo	cfu	tip	III ciclo	cfu	tip	cfu	cfu
II	Controlli Automatici L-A	6	B	Comunicazioni Elettriche L-A	6	B	Elettronica L-B	6	B		
	Economia e Organizz. Aziendale L-A	6	C	Sistemi Informativi L-A	6	B	Controlli Automatici L-B	6	B		
	Matematica applicata L-A	6	C	Elettronica L-A	6	B	Sistemi Operativi L-A	6	B		
	Calcolatori elettronici L-A	6	B								
		24			18					18	60

Scelta guidata n. 1 ( Applicativo)

anno	I ciclo	cfu	tip	II ciclo	cfu	tip	III ciclo	cfu	tip	cfu	cfu	
III	Ingegneria del Software L-A	6	B	Reti di Calcolatori L-A	6	B				F		
	Gestione della Qualità L-A	6	C	Ricerca Operativa L-A	6	C						
	Reti di Telecomunicazioni L-A	6	B	Sistemi Distribuiti L-A	6	B						
	Lingua straniera: Inglese B <sup>(2)</sup>											
	a scelta <sup>(3)</sup>										D	9
		18			21		Prova finale			E	6	
										0	15	54

Scelta guidata n.2 (Tecnologico)

anno	I ciclo	cfu	tip	II ciclo	cfu	tip	III ciclo	cfu	tip	cfu	cfu	
III	Ingegneria del Software L-A	6	B	Propagazione	6	C	Comunicazioni Elettriche L-B	6	B			
	Reti di Telecomunicazioni L-A	6	B	Elettronica dei sistemi digitali	6	C						
				Reti di Calcolatori L-A	6	B						
	Lingua straniera: Inglese L-B <sup>(2)</sup>											
	a scelta <sup>(3)</sup>										D	9
		12			21		Prova finale			E	6	
										6	15	54

A scelta

Tra i corsi di tipologia F devono essere scelti insegnamenti per almeno 6 crediti

I corsi di tipologia D sono consigliati dal CCdS come insegnamenti a scelta (per complessivi 9 crediti)

anno	I ciclo	cfu	tip	II ciclo	cfu	tip	III ciclo	cfu	tip	cfu	cfu
III	Analisi Matematica L-C	6	D	Laboratorio di simulazione e ottimizzazione L	3	F	Laboratorio di gestione informatizzata dei processi L	3	F		
	Calcolo Numerico L-A	3	D				Cultura d'impresa L	6	F		
	Geometria e Algebra L-B	3	D				Tirocinio	6	F		

8200). La Laurea Triennale non subisce ancora sostanziali trasformazioni, se non una diversa codifica di Ateneo (codice 0948).

La legge 180/2008 (riforma Gelmini) – unitamente al decreto MIUR 17/2010 – introduce forti modifiche normative e finanziarie al sistema universitario nazionale. In particolare si stabilisce il superamento delle tradizionali Facoltà, attribuendo ai Dipartimenti Universitari anche la responsabilità della didattica a fianco di quella tradizionale sulla ricerca. La possibilità di istituire strutture (al massimo 12) di raccordo tra i Dipartimenti, si traduce per l'Università di Bologna nella istituzione di Scuole, tra cui la Scuola di Scienze e la Scuola di Ingegneria e Architettura.

Tabella 2. Piano didattico del Corso di Laurea specialistica in Ingegneria Informatica, anni 2006-2009.

II Facoltà di Ingegneria - sede di Cesena									
Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Informatica									
Manifesto degli Studi per l'a.a. 2006-2007									
anno	I ciclo	cfu	tip	II ciclo	cfu	tip	III ciclo	cfu	tip
Primo	Analisi numerica LS-A (mutua)	3	A	Matematica discreta LS	3	A	Sistemi di elaborazione dell'informazione LS	6	B
	Linguaggi e modelli computazionali LS	6	B	Metodi e modelli per il supporto alle decisioni LS	6	A	Intelligenza Artificiale LS	6	B
	Sistemi concorrenti e di rete LS	6	B	Reti di telecomunicazioni LS	6	C	Sistemi Informativi LS	6	B
	Economia della società dell'informazione LS	3	C	Sistemi e tecnologie per l'automazione LS	6	B			
		18			21			18	57
Secondo	Tecnologia e sistemi per la sicurezza LS	6	B	Ingegneria dei sistemi software LS	6	B			
	Sistemi multi-agente LS	6	B	Progetto di sistemi informatici LS	6	F			
	A scelta tra quelli indicati in Tabella A							21	
	Scelta libera							6	D
							Prova finale	12	E
		12			12			39	63
<b>Tabella A: tra le attività formative a scelta guidata deve essere scelto un numero di insegnamenti pari a 21 crediti:</b>									
I ciclo	cfu	tip	II ciclo	cfu	tip	III ciclo	cfu	tip	
Sistemi di telecomunicazioni LS	6	C	Progetto di sistemi wireless LS	6	C	Nuove tecnologie e diritto LS	3	C	
Tecnologie per sistemi a radio frequenza LS	6	C	Sistemi informativi distribuiti LS	6	B	Algoritmi di ottimizzazione LS	3	C	
Dispositivi Elettronici LS	6	C	Progetto di reti di telecomunicazioni LS	6	C	Tecniche elettromagnetiche per la localizzazione ed il controllo ambientale LS	6	C	
Sensori e attuatori LS	6	C	Nanoelettronica LS	6	C	Fondamenti di propagazione LS (mutua)	6	C	
Sistemi elettronici LS	6	C	Analisi numerica LS-B (mutua)	3	C				
			Teoria dell'informazione e codici LS	6	C				
oltre agli insegnamenti elencati in tabella A, nella scelta guidata sono compresi anche i seguenti due insegnamenti, afferenti al Corso di Laurea in Scienze dell'Informazione:									
	Visione artificiale	6	B						
	Sistemi multimediali	6	C						
tra i corsi a scelta libera devono essere scelti insegnamenti per almeno 6 crediti									
le attività formative della tipologia D sono scelte autonomamente dallo studente. La collocazione dei cicli dipende dagli insegnamenti scelti									
TABELLA MUTUAZIONI:									
	Analisi numerica LS-A	3	A	Analisi numerica BS-A del CdS in Ingegneria Biomedica					
	Analisi numerica LS-B	3	C	Analisi numerica BS-B del CdS in Ingegneria Biomedica					
	Fondamenti di Propagazione LS	6	C	Propagazione L-A del CdL in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni					

## L'integrazione Ingegneria-Scienze

Nel Gennaio 2012, l'Università di Bologna istituisce il Dipartimento di Informatica - Scienza e Ingegneria (DISI) con il fine di promuovere e sviluppare le attività di ricerca nell'ambito delle scienze, dell'ingegneria e delle tecnologie informatiche, superando una tradizionale dicotomia tra due settori scientifico-disciplinari (ING-INF/05 e INF/01) storicamente differenziati ma ormai profondamente affini.

La sede di Cesena diviene il luogo ideale in cui immediatamente concretizzare sul piano didattico le riconosciute sinergie fondendo, nel contesto scientifico del nuovo Dipartimento, le attività didattiche nel settore informatico presenti presso la sede. Nascono così nel 2012, sotto la diretta responsabilità del DISI, due corsi inter-classe (LM-32/Ingegneria Informatica e LM-18/Informatica): il Corso di Laurea in

Tabella 3. Piano didattico del Corso di Laurea magistrale in Ing. Informatica nell'A.A. 2009/10.

**A.A. 2009-10****LAUREA MAGISTRALE in****INGEGNERIA INFORMATICA  
CLASSE LM-32****NOME IN INGLESE****COMPUTER ENGINEERING**

Tabella 1 – Attività formative obbligatorie								Voti	Esami
Attività formativa	S.S.D.	Tipo	CFU	Tot ore di didattica frontale	Ore di Didattica in Aula	Ore di Didattica in Laboratorio	Anno di corso		
Programmazione concorrente e distribuita LM	ING-INF/05	B	9	90	90		1	V	
Linguaggi e modelli computazionali LM	ING-INF/05	B	9	90	90		1	V	
Fondamenti di computer graphics LM	MAT/08	C	6	60	40	20	1	V	
Reti di telecomunicazione LM	ING-INF/03	C	6	60	60	0	1	V	
Sistemi di elaborazione dell'informazione LM	ING-INF/05	B	9	90	60	30	1	V	
Intelligenza Artificiale LM	ING-INF/05	B					1	V	
Sistemi Informativi LM	ING-INF/05	B	9				1	V	
Sistemi multi-agente LM	ING-INF/05	B	9	90	60	30	2	V	
Metodi e Modelli per il supporto alle decisioni LM	MAT/09	C	6	60	40	20	2	V	
Sistemi e Tecnologie per l'Automazione LM	ING-INF/04	B	6	60	60	0	2	V	
Ingegneria dei sistemi software LM	ING-INF/05	B	9	90	60	30	2	V	
Laboratorio di sistemi e applicazioni LM	F	6	60	0	0	60			I
									5
A scelta dello studente			12						
Prova finale	-	E	15				3		
<b>Totali</b>			<b>120</b>	<b>930</b>	<b>620</b>	<b>310</b>			<b>12</b>

Tabella 2 – Attività formative a scelta								Voti	Esami
Attività formativa	S.S.D.	Tipo	CFU	Tot ore di didattica frontale	Ore di Didattica in Aula	Ore di Didattica in Laboratorio	Anno di corso		
Elaborazione delle immagini LM	ING-INF/05		6	60	40	20	2	V	1
Tecnologia e sistemi per la sicurezza LM (C.I.)			6	60			2	V	1
Matematica per la sicurezza informatica LM	MAT/03		3	30					
Tecnologie e sistemi per la sicurezza LM	ING-INF/05		3	30					
Tecnologie e sistemi per il Data Mining LM	ING-INF/05		6	60	40	20	2	V	1
Algoritmi di ottimizzazione LM	MAT/09		6	60	60		2	V	1
Nuove tecnologie e Diritto LM	IUS/20		6	60			2	V	1
Competitività nella società della conoscenza LM	ING-IND/35		6	60	60	0	2	V	1
Laboratorio di reti di telecomunicazioni LM	ING-INF/03		6	60	0	60	2	V	1
Progetto di reti di telecomunicazioni LM	ING-INF/03		6	60			2	V	1
Ingegneria delle Reti di Telecomunicazioni LM (C.I.)			12				2	V	
Laboratorio di reti di telecomunicazioni LM	ING-INF/03		6	60					
Progetto di reti di telecomunicazioni LM	ING-INF/03		6	60					

Ingegneria e Scienze informatiche (codice 8615) e il Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria e Scienze informatiche (codice 8614).

Superando non semplici vincoli accademico-burocratici, i coordinatori dei due Corsi di Studio in Informatica presso la sede di Cesena (il professor Andrea Omicini per Ingegneria e il professor Luciano Margara per Scienze) definiscono gli ordinamenti ed i regolamenti tenendo conto delle risorse didattiche disponibili e della visione che scaturiva dalla ricerca teorica ed applicata svolta presso la sede. Viene inoltre promossa una indagine conoscitiva ampia e sistematica sulle esigenze delle imprese del comparto ICT nella provincia, in cooperazione con il Campus di Cesena, la

Camera di Commercio, C.N.A. e Unindustria di Forlì-Cesena, al fine di individuare i profili professionali nel settore informatico richiesti dal territorio. Questa cooperazione tra Università e territorio iniziata fin dai tempi del progetto CAMPUS-CRUI costituisce un tratto distintivo della sede e continua anche oggi in modo sempre più intenso ed articolato.

Il nuovo Corso di Laurea triennale interclasse, attualmente coordinato dal professor Vittorio Ghini, inserisce materie di base quali l'analisi e la fisica e corsi di elettronica e telecomunicazioni in un nuovo quadro di tipo "sistemistico" che trova nell'informazione e in particolare nel software, il collante naturale, prefigurando le moderne esigenze dell'industria 4.0. La Laurea triennale in Ingegneria e Scienze Informatiche afferisce inizialmente alla Scuola di Scienze, ma nel 2018 entra anch'essa – essenzialmente per ragioni gestionali – nella sede di Cesena della Scuola di Ingegneria.

La Laurea Magistrale interclasse, attualmente coordinata dal professor Mirko Viroli, prosegue il percorso tracciato dalle precedenti Lauree Magistrali in Informatica, fornendo uno sbocco naturale per la Laurea triennale, in quanto propone un quadro molto più ricco di approfondimenti specialistici in settori oggi considerati strategici per l'intero comparto produttivo e dei servizi, con particolare riferimento a Machine Learning, Sistemi Distribuiti, Business Intelligence, Software Engineering e Internet-of-Things.

Per entrambi i corsi di Laurea, il piano didattico iniziale è oggetto di attenta valutazione in relazione alla efficienza formativa (sulla efficacia non ci sono stati mai problemi per tutti i Corsi di Studio dell'Ingegneria), alle esigenze del mondo produttivo e alle continue innovazioni tecnologiche. Inizia così un nuovo "cammino evolutivo" volto al miglioramento della offerta didattica (senza snaturarne la finalità e la struttura fondante) come risposta alle esigenze e alle problematiche che si vanno evidenziando nei riesami annuali promossi dall'Ateneo nel quadro delle direttive MIUR sulla valutazione dei corsi di Studio, ormai divenuta pratica standard per un accreditamento formale degli Atenei italiani.

Il risultato attuale di questo cammino è riportata nelle tabelle che seguono.

I corsi di Laurea in Ingegneria e Scienze informatiche di Cesena, dal 2018 tenuti presso la nuova sede del Campus di Cesena, presentano attualmente entrambi un alto grado di soddisfazione (ad esempio il 100% per la Laurea Magistrale) da parte degli studenti frequentanti, il cui numero è tra i più elevati nell'area di Ingegneria ed è tuttora in crescita. Il livello di occupazione dopo un anno dalla laurea (indagine AlmaLaurea del 2018) è dell'86% circa, senza che vi siano laureati che non lavorano o che cercano lavoro.

Questi dati consentono di guardare a questo punto del cammino iniziato più di 25 anni fa con la fiducia che esso possa costituire un eccellente base di partenza per affrontare le nuove sfide che continuamente si affacciano in un contesto caratterizzato da una evoluzione così pervasiva, rapida e forte come mai prima nella Ingegneria.



Tabella 4. Piano didattico del Corso di Laurea triennale in Ingegneria e Scienze Informatiche.

<b>Piano didattico di Ingegneria e Scienze Informatiche Laurea A.A.2018/2019 - Codice corso 8615</b>				
<b>Primo Anno di Corso Attività formative obbligatorie</b>	<b>ciclo</b>	<b>tip</b>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>
Analisi matematica	1	A	MAT/05	12
Programmazione	1	A	INF/01	12
Algebra e geometria	2	A	MAT/02	6
Algoritmi e strutture dati	2	A	INF/01	12
Architetture degli elaboratori	2	B	ING.INF/05	12
Idoneità lingua inglese B-1	1	E		6
<b>Secondo Anno di Corso Attività formative obbligatorie</b>	<b>ciclo</b>	<b>tip</b>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>
Fisica	2	A	FIS/01	6
Metodi numerici	2	C	MAT/08	6
Programmazione ad oggetti	1	B	ING.INF/05	12
Sistemi operativi	1	A	INF/01	12
Basi di dati	2	B	ING.INF/05	12
Matematica discreta e probabilità	1	C	MAT/02	6
Programmazione di reti	2	A	ING.INF/05	6
<b>Terzo Anno di Corso Attività formative obbligatorie</b>	<b>ciclo</b>	<b>tip</b>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>
Ingegneria del software	1	B	ING.INF/05	6
Reti di telecomunicazioni	1	B	ING.INF/03	6
Ricerca operativa	2	A	MAT/09	6
Tecnologie web	1	A	INF/01	6
<b>Esami a scelta guidata (Tip.C)</b>				12
Computer graphics	1		MAT/08	6
Basi di dati avanzate	2		ING.INF/05	6
Elettronica per l'informatica	2		FIS/07	6
High-performance computing	1		INF/01	6
Linguaggi visuali per il ctrl dei sistemi	1		INF/01	6
Informatica e diritto	1		IUS/20	6
Programmazione di appl. Data intensive	2		ING.INF/05	6
Programmazione di sist. mobile	2		INF/01	6
Sistemi Embedded e Internet-of-Things	1		ING.INF/05	6
Visione artificiale	2		ING.INF/05	6
Systems integration	2		INF/01	6
<b>A scelta dello studente (Tip.D):</b>				12
TIROCINIO	1	F		6
A scelta tra gruppo A o B:	2	E		
Gruppo A: Prova finale	2	E		6
Gruppo B: Prova finale +	2	E		3
Preparaz.prova finale estero				3
Tirocinio all'estero in prep.				3
Tirocinio in prep.prova finale				3

Tabella 5. Piano didattico del Corso di Laurea magistrale in Ingegneria e Scienze Informatiche.

<b>Piano didattico di Ingegneria e Scienze Informatiche Laurea Magistrale A.A.2018/2019 - Codice corso 8614</b>				
<b>Primo Anno di Corso Attività formative obbligatorie</b>	<b>ciclo</b>	<b>tip</b>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>
Applicazione e servizi web	2	B	ING.INF/05	6
Linguaggi, compilatori e modelli computazionali	1	C	INF/01	12
Machine learning	1	B	ING.INF/05	6
Sistemi distribuiti	1	B	ING.INF/05	6
Sistemi informativi	2	B	ING.INF/05	6
Sviluppo dei sistemi software (C.I.)				12
<i>Programmazione concorrente e distribuita</i>	2	B	ING.INF/05	6
<i>Paradigmi di programmazione e sviluppo</i>	2	B	ING.INF/05	6
Sicurezza delle reti	2	B	ING.INF/05	6
Idoneità di lingua inglese B-2	1	F		6
<b>Secondo Anno di Corso</b>	<b>ciclo</b>	<b>tip</b>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>
<b>A scelta guidata 24 cfu (Tip.C)</b>				24
Data minig	1	B	ING.INF/05	6
Big Data	2	B	ING.INF/05	6
Business intelligence	1	B	ING.INF/05	6
Project management	2	B	ING.INF/05	6
Web semantico	2	B	INF/01	6
Sistemi di supporto alle decisioni	1	B	MAT/09	6
Laboratorio di sistemi software	1	B	ING.INF/05	6
Pervasive computing	1	B	ING.INF/05	6
Sistemi autonomi	2	B	ING.INF/05	6
Sistemi intelligenti robotici	2	B	ING.INF/05	6
Smart City e tecnologie mobili	1	B	ING.INF/05	6
Tecniche avanzate per l'analisi delle immagini e	2	B	ING.INF/05	6
Visione artificiale e riconoscimento	1	B	ING.INF/05	6
<b>A scelta dello studente</b>				12
Instradamento e trasporto in internet	1	D	ING.INF/03	6
Metodi e algoritmi di ottimizzazione per il problem	2	D	MAT/09	6
Smart Vehicular Systems	2	D	INF/01	6
<b>PROVA FINALE</b>				24
oppure Prova finale +				6
Preparazione prova finale all'estero				18
Tirocinio all'estero in preparazione della prova finale				18
Tirocinio in preparazione della prova finale				18

### **3.6. IL CORSO DI INGEGNERIA ELETTRONICA A CESENA NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA E NELLA SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

*Alberto Bellini*

Il Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica per l'Energia e l'Informazione, attivato presso il Campus di Cesena della Scuola di Ingegneria e Architettura dell'Università di Bologna nell'A.A. 2013/14 si inserisce nella storia dell'ingegneria bolognese. Già dal 1961, infatti, la Facoltà di Ingegneria aveva attivato un Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica, suddiviso poi in vari Corsi di Laurea e di Diploma, a seguito della riforma del 1989 nelle due sedi di Bologna e Cesena. In particolare, nel 1992/93 sono stati attivati a Cesena i Diplomi Universitari in Ingegneria Elettronica (Presidente professor P.U. Calzolari) e in Ingegneria delle Telecomunicazioni (Presidente professor M. Ferri): percorsi triennali, professionalizzanti, pensati come percorso intermedio tra la laurea quinquennale e il percorso di scuola secondaria di secondo grado. A seguito della riforma istituita con il D.M. 509/99, furono attivati sia a Bologna che a Cesena, Corsi di Laurea triennali (primo livello) e specialistica (secondo livello). In particolare, a partire dall'A.A. 2002/03 sono stati attivati a Cesena i Corsi di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica e in Ingegneria delle Telecomunicazioni, e un Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria dei Sistemi e delle Tecnologie dell'Informazione. Tali percorsi formativi sono stati più volte rivisti negli anni accademici successivi, fino all'attuale forma che, come già ricordato è stata attivata a partire dall'A.A. 2013/14. Le revisioni sono avvenute in accordo al Piano Strategico di Ateneo, e alle Linee Guida Ministeriali declinate dal Senato Accademico, che indicavano la necessità della semplificazione dell'offerta formativa di primo livello. La semplificazione è stata realizzata eliminando le ridondanze e realizzando percorsi complementari. Le tecnologie dell'elettronica, telecomunicazioni e informatica, sono tecnologie abilitanti per un ampio spettro di applicazioni industriali e contengono al loro interno diverse discipline e attività formative, legate all'Ingegneria Elettronica, all'Ingegneria delle Telecomunicazioni e alla sicurezza e protezione dell'informazione. Il Corso di Laurea si è quindi caratterizzato per un contenuto formativo "orizzontale" e orientato alla sostenibilità economica ed ambientale. Le attività formative includono quindi gli aspetti fondamentali delle discipline ICT: di elettronica, informatica e telecomunicazioni, e non solo di uno di essi; e competenze specifiche per formare ingegneri operanti nei settori dell'efficienza energetica e del monitoraggio ambientale. Tali competenze sono molto apprezzate dal mercato del lavoro, poiché il laureato ha un profilo estremamente versatile ed efficace per i sistemi elettronici, le reti di telecomunicazioni, la gestione dell'energia, sensori e reti wireless di telecomunicazioni per la localizzazione e per il controllo ambientale, tecnologie e sistemi elettronici per la conversione di fonti energetiche rinnovabili.

Infine, nel 2017 è stato attivato un curriculum internazionale della Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni per l'energia. Tale curriculum, denominato ICT for climate, è stato accreditato da EIT (European Institute on Innovation & Technology), ed è l'unico corso in Italia per le tecnologie ingegneristiche per il clima. Gli studenti che lo frequentano, possono conseguire un doppio titolo: una certificazione di EIT Climate-KIC, oltre alla Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni per l'Energia. L'accesso a questa Laurea Magistrale è riservato ai laureati triennali nelle classi di Ingegneria dell'informazione (L-8, ex D.M. 270/2014). Il Corso di Laurea fornisce un approfondimento dei problemi e fenomeni legati al cambiamento climatico, come fonti energetiche rinnovabili, radiazione solare, effetto serra, riscaldamento globale, nonché delle politiche e servizi che possano contrastarli attraverso l'uso delle tecnologie ICT più avanzate.

Il Corso di Laurea è co-finanziato da EIT, e consente agli studenti di fare esperienze di studio e lavoro all'estero, con borse di studio semestrali. Inoltre, gli studenti frequentano il Journey, una summer school di 5 settimane presso 3 diverse città europee, dove, oltre ad approfondire i temi legati alla sostenibilità, ai cambiamenti climatici e all'imprenditorialità, possono sviluppare, in collaborazione con studenti provenienti da tutt'Europa, idee innovative per contrastare i cambiamenti climatici. Il Journey è interamente finanziato da EIT, attraverso Climate-KIC, gli studenti ricevono completa copertura delle spese di viaggio, vitto e alloggio.

In questo breve contributo verranno illustrati in dettaglio i piani di studi delle principali offerte formative, appena descritte nell'evoluzione storica della didattica in Ingegneria Elettronica presso la sede di Cesena.

## La didattica dell'Ingegneria Elettronica presso la sede di Cesena

### ***Fino al 1992***

Prima dell'anno 1992, l'Ingegneria Elettronica non era presente presso la sede di Cesena. Tuttavia, l'Ingegneria Elettronica era ampiamente diffusa presso la sede di Bologna, dove nel 1961 fu istituito il Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica.

A seguito della riforma del 1960 (D.P.E. n. 53 del 31/1/2960), il Corso di Laurea in Ingegneria – Sezione Industriale – Sottosezione Elettrotecnica diventava Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica e veniva attivato il Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica, peraltro già presente *in nuce* nell'ordinamento didattico della Facoltà nel Corso di Laurea in Ingegneria Industriale, sottosezione Elettrotecnica, indirizzo "correnti deboli", che comprendeva gli insegnamenti complementari di Elettronica, Comunicazioni Elettriche e Radiotecnica (i docenti erano i professori Giuseppe Evangelisti, Ercole De Castro, Enzo Belardinelli, Scipione Treves). Gli insegnamenti appena citati diventavano fondamentali nel nuovo Corso di Laurea e nell'organizzazione della Facoltà furono introdotti due nuovi Istituti: quello di Elettronica (1965) sotto la direzione del professor Ercole De Castro, derivato dall'Istituto di Elettrotecnica (ritornato al suo nome originale), e quello di Automatica (1969) sot-

to la direzione del professor Enzo Belardinelli, come trasformazione del Centro di Calcolo e dei Servomeccanismi della Facoltà di Ingegneria, fondato nel 1956 dal professor Giuseppe Evangelisti.

A seguito del d.P.R. 382/80 (Riordinamento della docenza universitaria, relativa fascia di formazione nonché sperimentazione organizzativa e didattica), che istituiva, fra l'altro, i Dipartimenti e i corsi di Dottorato di Ricerca, i due Istituti di Elettronica e di Automatica diedero origine nel 1983 al Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica (DEIS), i cui settori di ricerca spaziavano dall'Automatica, alla Bioingegneria, ai Campi elettromagnetici, all'Elettronica, all'Informatica, alle Misure elettroniche, alla Ricerca operativa e alle Telecomunicazioni. In queste aree venivano attivati alcuni dottorati di ricerca, sia con sede unica presso il DEIS, sia in adesione a consorzi interuniversitari.

Nell'anno accademico 1992/93 vennero attivati a Cesena i Diplomi Universitari in Ingegneria Elettronica e in Ingegneria delle Telecomunicazioni, percorso triennale, professionalizzanti, pensati come percorso intermedio tra la laurea quinquennale e il percorso di scuola secondaria di secondo grado (ex L. n. 341, 19 novembre 1990). Tale iniziativa fu possibile, grazie al sostanziale concorso degli Enti Locali di Forlì e Cesena, le Fondazioni Bancarie di Forlì e Cesena, le Associazioni imprenditoriali e la Società di sostegno (Ser.In.Ar.). I piani di studio dei Diplomi Universitari in Ingegneria Elettronica e in Ingegneria delle Telecomunicazioni, sono riportati in tabella 1 e 2, rispettivamente.

*Tabella 1. Diploma Universitario in Ingegneria Elettronica.*

<b>CORSO DI DIPLOMA UNIVERSITARIO IN INGEGNERIA ELETTRONICA</b>	
Sede di Cesena	
<b>1° anno</b>	
<i>Esame (Insegnamento)</i>	
Matematica A (Analisi Matematica I - Geometria ed algebra)	
Fisica (Fisica I - Fisica II)	
Fondamenti di informatica (Fondamenti di informatica - Reti logiche)	
Sistemi e circuiti (Elementi di automatica)	
Elettrotecnica (Elettronica applicata I)	
Segnali e circuiti digitali (Comunicazioni elettriche I)	
<b>2° anno</b>	
<i>Esame (Insegnamento)</i>	
Matematica B (Analisi matematica II - Meccanica razionale)	
Chimica (Chimica)	
Calcolatori elettronici (Calcolatori elettronici - Sistemi operativi)	
Comunicazioni elettriche (Comunicazioni elettriche II - Reti di telecomunicazioni)	
Elettronica applicata (Elettronica applicata II - Microelettronica)	
Propagazione (Propagazione)	

**3° anno***Esame (Insegnamento)*

Economia e produzione (Economia ed organiz. aziendale - Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici - Gestione industriale della qualità)

Misure elettroniche (Misure elettroniche - Strumentazione e misure elettroniche I - Strumentazione e misure elettroniche II)

Elettronica integrata (Elettronica dei sist. digitali - Progettazione automatica di circuiti e sistemi elettronici)

Campi elettromagnetici (Campi elettromagnetici)

Elettronica industriale (Elettronica industriale)

Attività di tirocinio (da definire)

*Tabella 2. Diploma Universitario in Ingegneria delle Telecomunicazioni.***CORSO DI DIPLOMA UNIVERSITARIO IN INGEGNERIA DELLE  
TELECOMUNICAZIONI**

Sede di Cesena

**1° anno***Esame (Insegnamento)*

Matematica A (Analisi matematica I - Geometria ed algebra)

Fisica (Fisica I - Fisica II)

Fondamenti di informatica (Fondamenti di informatica - Reti logiche)

Sistemi e circuiti (Elettrotecnica - Elementi di automatica)

Segnali e circuiti digitali (Elettronica applicata I - Comunicazioni Elettriche I)

**2° anno***Esame (Insegnamento)*

Matematica B (Analisi matematica II - Meccanica razionale)

Chimica (Chimica)

Calcolatori elettronici (Calcolatori elettronici - Sistemi operativi)

Comunicazioni elettriche (Comunicazioni elettriche II - Reti di telecomunicazioni)

Elettronica applicata (Elettronica applicata II)

Propagazione (Propagazione - Antenne)

**3° anno***Esame (Insegnamento)*

Economia e produzione (Economia ed organiz. aziendale - Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici - Gestione industriale della qualità)

Misure elettroniche (Misure elettriche)

Telematica (Trasmissione numerica - Telematica - Reti di telecomunicazioni II - Comunicazioni elettriche III)

Campi elettromagnetici (Campi elettromagnetici - Microonde)

Attività di tirocinio (da definire)

***Gli anni dal 2001 al 2012***

Nel 2001 si costituisce il Polo Scientifico-Didattico di Cesena, nell'ambito del Progetto Multicampus dell'Ateneo di Bologna, al fine di permettere la diffusione dell'offerta formativa e l'attivazione di una stabile realtà di ricerca sul territorio. Il Polo di Cesena realizza progetti finalizzati ad accrescere la qualità della didattica, a garantire idonei servizi agli studenti, a sostenere lo sviluppo della ricerca, a incentivare i rapporti tra Università e impresa e a favorire l'inserimento dei laureati nel mondo del lavoro.

A ottobre 2002, nasce la Seconda Facoltà di Ingegneria con sedi a Cesena e Forlì. A Cesena, presso il Polo Scientifico-Didattico, sono attivati i Corsi di Laurea di I livello in Ingegneria Elettronica e in Ingegneria delle Telecomunicazioni, e il Corso di Laurea specialistico (II livello) in Ingegneria dei Sistemi e delle Tecnologie dell'Informazione.

In tabella 3 viene riportato il piano di studi della Laurea di I livello e in tabella 4 il piano di studi della Laurea di II livello.

*Tabella 3. Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica.*

**1° anno**

I ciclo	CFU	II ciclo	CFU	III ciclo	CFU
Analisi Matematica L-A	6	Analisi Matematica L-B	6	Elettrotecnica L-A	6
Geometria e Algebra L-A	6	Fisica Generale L-A	6	Fisica Generale L-B	6
Reti logiche L-A	6	Fondamenti di Informatica L-A	6	Fondamenti di Informatica L-B	6
		Lingua straniera: Inglese	3		
		Lingua straniera: Inglese B	3		

**2° anno**

I ciclo	CFU	II ciclo	CFU	III ciclo	CFU
Controlli Automatici L-A	6	Elettronica L-A	6	Elettronica L-B	6
Matematica applicata L-A	6	Comunicazioni Elettriche L-A	6	Comunicazioni elettriche L-B	6
Calcolatori elettronici L-A	6	Propagazione L-A	6		
Economia e organizzazione aziendale L-A	6			Laboratorio di elettronica L-A	3

**3° anno - percorso applicativo**

I ciclo	CFU	II ciclo	CFU	III ciclo	CFU
Misure elettroniche L-A	6	Elettronica L-C	6	Tirocinio/Cultura d'impresa L-A	6
Campi elettromagnetici L-A	6	Elettronica dei sistemi digitali L-A	6		
Fondamenti di chimica L-A	6	Elettronica L-D/Elettronica Industriale L-A	6		

Geometria L-B & Calcolo numerico L-A/Gestione della qualità L-A	6				
		A scelta (**)			9
				Prova finale	6

**3° anno - percorso sistemistico**

I ciclo	CFU	II ciclo	CFU	III ciclo	CFU
Reti di telecomunicazioni L-A	6	Elettronica L-C	6	Tirocinio/cultura d'impresa	6
Campi elettromagnetici L-A	6	Elettronica dei sistemi digitali L-A	6	Sistemi operativi L-A	6
Analisi matematica L-C	6	Reti di calcolatori L-A	6		
		A scelta (**)			9
				Prova finale	6

Tabella 4. Laurea Specialistica in Ingegneria dei Sistemi e delle Tecnologie dell'Informazione.

Tabella A  ELENCO DELLE ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE						
N.	Insegnamento	SSD	Tip.	Ore di didattica frontale (1)	CFU	Anno di corso
1	Metodi di Ottimizzazione LS	MAT/09	A	60	6	1
2	Sistemi di elaborazione dell'informazione LS	ING-INF/05	B	60	6	1
3	Sistemi elettronici LS	ING-INF/01	C	60	6	1
4	Tecniche elettromagnetiche per la localizzazione e il controllo ambientale LS	ING-INF/02	C	60	6	1
5	Teoria dell'informazione e codici LS	ING-INF/03	C	60	6	1
6	Reti di telecomunicazioni LS	ING-INF/03	C	60	6	1
7	Sistemi e tecnologie per l'automazione LS	ING-INF/04	B	60	6	2
8	Sistemi informativi distribuiti LS	ING-INF/05	B	60	6	1
10	Sistemi di telecomunicazioni LS	ING-INF/03	C	60	6	2
11	Infrastrutture software LS	ING-INF/05	B	60	6	2
12	Ingegneria dei sistemi software LS	ING-INF/05	B	60	6	2
14	Matematica discreta LS (*)	MAT/03	A	30	3	1
15	Geometria e algebra LS (*)	MAT/03	A	30	3	1
16	Fondamenti di Comunicazioni Elettriche LS (*)	ING-INF/03	C	60	6	1
17	Fondamenti di sistemi informativi LS (*)	ING-INF/05	B	60	6	1
18	Fondamenti di reti di calcolatori LS (*)	ING-INF/05	B	60	6	1
19	Fondamenti di sistemi operativi LS (*)	ING-INF/05	B	60	6	1
28	Analisi Matematica LS (*)	MAT/05	A	60	6	1
29	Prova finale		E		12	2

**Totale crediti obbligatori per ciascun studente (\*): 90**



Tre insegnamenti a scelta tra i seguenti:

<b>Tabella B1 – ELENCO DELLE ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE</b>						
<b>Per gli studenti che scelgono il percorso n. 1 – TECNOLOGICO</b>						
N.	Insegnamento	SSD	Tipologia	Ore di didattica frontale (1)	CFU	Anno di corso
<i>Tre insegnamenti a scelta tra i seguenti:</i>						
20	Microsistemi per l'acquisizione dell'informazione LS	ING-INF/03	C	60	6	2
21	Elaborazione dei segnali multimediali LS	ING-INF/03	C	60	6	2
22	Antenne e componenti a radio frequenza LS	ING-INF/02	C	60	6	2
23	Elettronica per le telecomunicazioni LS	ING-INF/01	C	60	6	2

**Totale crediti specifici per gli studenti che seguono il percorso n.1 TECNOLOGICO: 18**

Tre insegnamenti a scelta tra i seguenti

<b>Tabella B2 – ELENCO DELLE ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE</b>						
<b>per gli studenti che scelgono il percorso n. 2 – SISTEMISTICO-APPLICATIVO</b>						
N.	Insegnamento	SSD	Tipologia	Ore di didattica frontale (1)	CFU	Anno di corso
<i>Tre insegnamenti a scelta tra i seguenti:</i>						
24	Metodi e Modelli per il Supporto alle Decisioni LS	MAT/09	A	60	6	2
25	Applicazioni e servizi Web LS	ING-INF/05	B	60	6	2
26	Progetto di reti e sistemi di telecomunicazioni LS	ING-INF/03	C	60	6	2
27	Sistemi e applicazioni multimediali LS	ING-INF/05	B	60	6	2

**Totale crediti specifici per gli studenti che seguono il percorso n.2 SISTEMISTICO APPLICATIVO: 18**

6 crediti per le attività indicate nella Tabella C

<b>TABELLA C – ELENCO DELLE ALTRE ATTIVITÀ FORMATIVE (Tipologia F)</b>						
N.	Attività formativa	SSD	Tipologia	Ore di attività frontale (1)	CFU	Anno di corso
9	Economia della società dell'informazione LS		F	30	3	1
13	Laboratorio di tecnologie dell'informazione e della sicurezza LS (*)		F	30	3	2

**Totale crediti per attività di tipologia F: 6**

<b>Tabella D – ELENCO DELLE ATTIVITÀ A SCELTA</b>						
N.	Insegnamento	SSD	Tipologia	Ore di attività frontale (1)	CFU	Anno di corso

**Crediti a scelta autonoma: 6 (\*\*)**

**TOTALE CREDITI: 120**

La Laurea Specialistica in Ingegneria dei Sistemi e delle Tecnologie dell'Informazione si poneva l'obiettivo specifico di formare figure professionali nel settore ICT (*Information and Communication Technology*), per l'innovazione e lo sviluppo della produzione, della progettazione avanzata, della pianificazione e della programmazione, della gestione di servizi e sistemi complessi, sia nella libera professione sia nelle imprese manifatturiere o di servizi che nelle amministrazioni pubbliche. I laureati specialistici in questa disciplina hanno una formazione orizzontale in tutte le discipline dell'Ingegneria dell'Informazione.

Nell'A.A. 2006/07, i percorsi legati all'elettronica e alle tecnologie dell'informazione si dividono, vengono quindi creati un Corso di Laurea di I livello in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni e un Corso di Laurea specialistica (II livello) in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni.

Si riporta in Tabella 5 il piano di studio della Laurea di II livello.

Nell'anno accademico 2009/10, la Laurea Magistrale (II livello) fu orientata allo sviluppo sostenibile, per la grande importanza e interesse legato ai temi energia e ambiente, e per creare un'offerta complementare e distinta rispetto alla sede di Bologna.

Nell'ottobre 2011 gli organi accademici approvano la costituzione dei nuovi dipartimenti, in applicazione della legge di riforma universitaria 30/12/2010, n. 240 (*Norme in materia di organizzazione delle università, di personale accademico e reclutamento, nonché delega al Governo per incentivare la qualità e l'efficienza del sistema universitario*). Nasce il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione "Guglielmo Marconi" (DEI), che deriva sostanzialmente dalla confluenza del DEIS e del DIE, con l'eccezione della componente informatica del DEIS che approda nel nuovo Dipartimento di Informatica: Scienza e Ingegneria (DISI).

Tabella 5. Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni.

ELENCO DELLE ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE						
N.	Insegnamento	SSD	Tip.	Ore di didattica frontale (I)	CFU	Anno di corso
1	Equazioni differenziali LS	MAT/05	A	30	3	1
2	Geometria e algebra LS	MAT/03	A	30	3	1
3	Analisi numerica BS-A (mutua)	MAT/08	A	30	3	1
4	Fisica LS	FIS/01	A	30	3	1
5	Sistemi elettronici LS	ING-INF/01	B	60	6	1
6	Propagazione e pianificazione nei sistemi d'area LS	ING-INF/02	B	60	6	1
7	Teoria dell'informazione e codici LS	ING-INF/03	C	60	6	1
8	Reti di telecomunicazioni LS	ING-INF/03	C	60	6	1
9	Sistemi e tecnologie per l'automazione LS	ING-INF/04	C	60	6	1
10	Sistemi di elaborazione dell'informazione LS	ING-INF/05	C	60	6	1
11	Elaborazione numerica dei segnali multimediali LS	ING-INF/03	C	60	6	1
12	Dispositivi Elettronici LS	ING-INF/01	B	60	6	2
13	Progetto di Elettronica e Telecomunicazioni LS	ING-INF/01	B	60	6	2
14	Laboratorio di Elettronica e Telecomunicazioni LS		F	60	6	2
15	Prova finale		E		12	2

Totale crediti obbligatori per ciascun studente: 84

Insegnamenti a scelta per 30 CFU tra i seguenti:

<b>ELENCO DELLE ATTIVITÀ FORMATIVE A SCELTA</b>						
N.	Insegnamento	SSD	Tipologia	Ore di didattica frontale (1)	CFU	Anno di corso
<i>Almeno 16 CFU (diventeranno 18) devono essere scelti tra questi insegnamenti</i>						
	Sensori ed attuatori LS	ING-INF/01	B	60	6	2
	Elettronica per l'elaborazione analogica del segnale LS	ING-INF/01	B	60	6	2
	Nanoelettronica LS	ING-INF/01	B	60	6	2
	Tecniche elettromagnetiche per la localizzazione ed il controllo ambientale LS	ING-INF/02	B	60	6	2
	Tecnologie per sistemi a radio frequenza LS	ING-INF/02	B	60	6	2
<i>12 CFU devono essere scelti tra questi insegnamenti</i>						
16	Fondamenti di chimica LS (mutua)	CHIM/07	A	60	6	1
17	Fondamenti di Ricerca Operativa LS (mutua)	MAT/09	A	60	6	2
18	Analisi numerica BS-B	MAT/08	A	30	3	2
19	Sistemi di telecomunicazioni LS	ING-INF/03	C	60	6	2
20	Progetto di reti di telecomunicazioni LS	ING-INF/03	C	60	6	2
21	Tecnologie per sistemi a radio frequenza LS	ING-INF/02	B	60	6	2
22	Sistemi informativi distribuiti LS	ING-INF/05	C	60	6	2
23	Linguaggi e modelli computazionali LS	ING-INF/05	C	60	6	2
24	Ingegneria dei sistemi software LS	ING-INF/05	C	60	6	2
25	Sensori ed attuatori LS	ING-INF/01	B	60	6	2

<b>ELENCO DELLE ATTIVITÀ FORMATIVE A SCELTA</b>						
N.	Insegnamento	SSD	Tipologia	Ore di didattica frontale (1)	CFU	Anno di corso
26	Elettronica per l'elaborazione analogica del segnale LS	ING-INF/01	B	60	6	2
27	Nanoelettronica LS	ING-INF/01	B	60	6	2
28	Progetto di sistemi wireless LS	ING-INF/03	C	60	6	2
29	Metodi e Modelli per il supporto alle decisioni LS	MAT/09	C	60	6	2
30	Fondamenti di Sistemi Informativi LS (mutua)	ING-INF/05	C	60	6	2
31	Tecniche elettromagnetiche per la localizzazione ed il controllo ambientale LS	ING-INF/02	B	60	6	2
32	Elettronica per le telecomunicazioni LS (**)	ING-INF/01	B	60	6	2
33	Algoritmi di Ottimizzazione LS	MAT/09	C	30	3	2
34	Chimica LS (***)	CHIM/07	A	30	3	2
35	Economia della società dell'informazione LS	ING-IND/35	C	30	3	2
36	Nuove tecnologie e Diritto LS	IUS/20	C	30	3	2
37	Matematica discreta LS	MAT/03	A	30	3	2
38	Sistemi concorrenti e di rete LS	ING-INF/05	C	60	6	2
39	Intelligenza artificiale LS	ING-INF/05	C	60	6	2
40	Sistemi informativi LS	ING-INF/05	C	60	6	2
41	Tecnologie e sistemi per la sicurezza LS	ING-INF/05	C	60	6	2
42	Sistemi multi-agente LS	ING-INF/05	C	60	6	2

**ATTIVITÀ A SCELTA LIBERA CONSIGLIATE DAL CCdS:**

**6 crediti fra gli insegnamenti di Tabella 2 non già scelti**

Crediti a scelta autonoma: 6 (\*)

**TOTALE CREDITI: 120**

Nel gennaio 2012 il professor Enrico Sangiorgi è eletto direttore del nuovo dipartimento DEI, che viene attivato nell'ottobre dello stesso anno.

### **Dal 2012 a oggi**

In seguito al nuovo Statuto dell'Università di Bologna, nel 2012 il Polo scientifico-didattico diviene Campus, con il compito di coordinare dal punto di vista organizzativo le attività di supporto alla didattica e alla ricerca svolte dai Dipartimenti e dalle Scuole della sede cesenate.

A partire dall'A.A. 2012/13, è la Scuola di Ingegneria e Architettura dell'Ateneo di Bologna che coordina le attività didattiche dei Corsi di Studio in Ingegneria Elettronica presso la sede di Cesena, attraverso la Vice Presidenza della Scuola di Forlì e Cesena.

A partire dall'A.A. 2013/14, vengono istituiti i Corsi di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica per l'Energia e l'Informazione (Tabella 6), e il Corso di Laurea magistrale in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni per l'Energia (Tabella 7), Corsi di Laurea attivi ancora oggi. A partire dall'A.A. 2017/2018 viene istituito il curriculum ICT for climate della laurea magistrale (Tabella 8).

*Tabella 6. Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica per l'Energia e l'Informazione.*

#### **Primo anno**

Primo ciclo			Secondo ciclo		
Attività formativa	SSD	CFU	Attività formativa	SSD	CFU
Analisi matematica A*	MAT/05	9	Analisi matematica B*	MAT/05	9
Fisica generale (C.I.): Fisica generale A*	FIS/01	6	Fisica generale (C.I.): Fisica generale B*	FIS/01	6
Fondamenti di chimica	CHIM/07	6	Fondamenti di informatica A	ING- INF/05	9
Geometria e algebra	MAT/03	6	Idoneità di lingua inglese B1		6

\* *Gli insegnamenti di Analisi matematica A, Analisi matematica B e Fisica generale (C.I.) sono propedeutici agli esami del terzo anno di corso.*

#### **Secondo anno**

Primo ciclo			Secondo ciclo		
Attività formativa	SSD	CFU	Attività formativa	SSD	CFU
Elaborazione dei segnali	ING-INF/03	9	Calcolatori elettronici	ING-INF/05	9
Elettrotecnica: modulo 1	ING-IND/31	6	Elettrotecnica: modulo 2	ING-IND/31	3
Algoritmi di ottimizzazione	MAT/09	6	Controlli automatici	ING-INF/04	6
			Laboratorio di Ingegneria dell'informazione	ING-INF/03	6
Elettronica				ING-INF/01	12

**Terzo anno**

Per poter sostenere gli esami del terzo anno di corso è necessario aver sostenuto i seguenti esami:

- Analisi matematica A
- Analisi matematica B
- Fisica generale (C.I.)

Primo ciclo			Secondo ciclo		
Attività formativa	SSD	CFU	Attività formativa	SSD	CFU
Campi elettromagnetici-modulo 1	ING-INF/02	6	Campi elettromagnetici-modulo 2	ING-INF/02	3
Comunicazioni digitali e internet	ING-INF/03	12	Elettronica dei sistemi digitali	ING-INF/01	6
Laboratorio di elettronica per le energie rinnovabili	ING-INF/01	3	Progetto di circuiti elettronici	ING-INF/01	6
			Laboratorio di reti di sensori per l'energia e l'ambiente	ING-INF/03	3
			Laboratorio di reti e programmazione dispositivi mobili	ING-INF/03	6
			Prova finale		3
Attività formative a scelta guidata (6 CFU) – Le attività elencate in tabella A					
Attività formative a scelta libera (12 CFU) – Le attività elencate in tabella A e B					

**Tabella A**

Primo ciclo			Secondo ciclo		
Attività formativa	SSD	CFU	Attività formativa	SSD	CFU
Conversione elettromeccanica dell'energia	ING-IND/31	6	Economia e organizzazione aziendale	ING-IND/35	6

**Tabella B**

Primo ciclo			Secondo ciclo		
Attività formativa	SSD	CFU	Attività formativa	SSD	CFU
Tirocinio		6	Laboratorio di microgenerazione di energia	ING-INF/02	6
Misure elettroniche	ING-INF/07	6	Elettronica industriale	ING-INF/01	6
Principi fisici per il monitoraggio energetico e ambientale	FIS/07	6			
Sistemi operativi	ING-INF/05	6			

Tabella 7. Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni per l'Energia.

**Primo anno**

Primo ciclo			Secondo ciclo		
Attività formativa	SSD	CFU	Attività formativa	SSD	CFU
Sistemi elettronici e sensori (C.I.): Sensori e attuatori LM	ING-INF/01	6	Sistemi di conversione statica per energie rinnovabili LM	ING-IND/32	6
Sistemi elettronici e sensori (C.I.): Sistemi elettronici LM	ING-INF/01	6	Sistemi a RF energeticamente autonomi LM	ING-INF/02	6
Telecomunicazioni LM (C.I.): Reti di telecomunicazioni LM	ING-INF/03	6	Telecomunicazioni LM (C.I.): Teoria dell'informazione e crittografia LM	ING-INF/03	6
Elaborazione numerica dei segnali multimediali LM	ING-INF/03	6	Matematica applicata LM	MAT/09	6
Tecnologie elettroniche per l'informazione e l'energia LM				ING-INF/01	12
Idoneità di lingua inglese B - 2		6			

**Secondo anno**

Primo ciclo			Secondo ciclo	
Attività formativa	SSD	CFU	Attività formativa	CFU
Progetto di elettronica e Telecomunicazioni LM	ING-INF/01	9		
Attività formative a scelta guidata (6 CFU) - Si operi la scelta nell'ambito delle attività in tabella A				
Attività formative a scelta guidata (12 CFU) Si operi la scelta nell'ambito delle attività in tabella A e B				
Attività formative a scelta libera (12 CFU) - Le attività elencate in tabella A, B e C				
Attività formative a scelta guidata (15 CFU) - Le attività elencate in tabella D				

**Tabella A**

Primo ciclo			Secondo ciclo		
Attività formativa	SSD	CFU	Attività formativa	SSD	CFU
Elettronica per l'elaborazione analogica del segnale LM	ING-INF/01	6	Nanoelettronica LM	ING-INF/01	6
Tecniche elettromagnetiche per la localizzazione e il controllo ambientale LM	ING-INF/02	6			
Propagazione e pianificazione nei sistemi wireless LM	ING-INF/02	6			

**Tabella B**

Primo ciclo			Secondo ciclo		
Attività formativa	SSD	CFU	Attività formativa	SSD	CFU
Sistemi di elaborazione dell'informazione LM	ING-INF/05	6	Chimica LM	CHIM/07	6
Sistemi di telecomunicazioni LM	ING-INF/03	6	Laboratorio di reti di telecomunicazioni LM	ING-INF/03	6
Sistemi e Tecnologie per l'automazione LM	ING-INF/04	6	Reti wireless per l'internet delle cose LM	ING-INF/03	6

**Tabella C**

Primo ciclo			Secondo ciclo		
Attività formativa	SSD	CFU	Attività formativa	SSD	CFU
Reti wireless LM (C.I.): Sistemi di telecomunicazioni LM	ING-INF/03	6	Reti wireless LM (C.I.): Reti wireless per l'internet delle cose LM	ING-INF/03	6
Analisi numerica LM	MAT/08	6			
Metodi di ottimizzazioni per le reti e l'energia LM	MAT/09	6			

**Tabella D**

Prova finale per un totale di 15 CFU Lo studente deve scegliere uno dei seguenti gruppi.		CFU	Ciclo	Voto/Idoneità
<b>GRUPPO I</b>				
86158	Prova finale LM (15 CFU)	15	2	No Voto
<b>GRUPPO II</b>				
81992	Prova finale LM (6 CFU)	6	2	No Voto
Oltre alla Prova finale da 6 CFU lo studente deve scegliere un'altra attività fra quelle elencate (9 CFU)				
85111	Preparazione prova finale all'estero LM (9 CFU)	9	2	Idoneità
86162	Tirocinio all'estero in preparazione della prova finale LM (9 CFU)	9	2	Idoneità
86161	Tirocinio in preparazione della prova finale LM (9 CFU)	9	2	Idoneità
<b>GRUPPO III</b>				
86160	Prova finale LM (3 CFU)	3	2	No Voto
Oltre alla Prova finale da 3 CFU lo studente deve scegliere un'altra attività fra quelle elencate (12 CFU)				
82327	Preparazione prova finale all'estero LM (12 CFU)	12	2	Idoneità
86153	Tirocinio all'estero in preparazione della prova finale LM (12 CFU)	12	2	Idoneità

Tabella 8. Curriculum ICT for climate.

**Primo anno**

Primo ciclo			Secondo ciclo		
Attività formativa	SSD	CFU	Attività formativa	SSD	CFU
Sistemi elettronici e sensori (C.I.): Sensori e attuatori LM	ING-INF/01	6	Energy planning, climate and public policies LM	ING-IND/32	3
Sistemi elettronici e sensori (C.I.): Sistemi elettronici LM	ING-INF/01	6	Sistemi a RF energeticamente autonomi LM	ING-INF/02	6
Telecomunicazioni LM (C.I.): Reti di telecomunicazioni LM	ING-INF/03	6	Telecomunicazioni LM (C.I.): Teoria dell'informazione e crittografia LM	ING-INF/03	6
			Business Plan LM	SECS-P/08	6
			Journey		6
Tecnologie elettroniche per l'informazione e l'energia LM				ING-INF/01	12
Attività formative a scelta guidata di tipo C (6 CFU) - Si operi la scelta nell'ambito delle attività in tabella A					

**Secondo anno**

Primo ciclo			Secondo ciclo	
Attività formativa	SSD	CFU	Attività formativa	CFU
Progetto di elettronica e Telecomunicazioni LM	ING-INF/01	9	Tirocinio LM KIC	12
			Preparazione prova finale all'estero LM KIC	15
			Tirocinio in preparazione della prova finale LM KIC	3
			Prova finale LM KIC	6
Attività formative a scelta guidata (6 CFU) - Si operi la scelta nell'ambito delle attività in tabella A				
Attività formative a scelta guidata (6 CFU) - Si operi la scelta nell'ambito delle attività in tabella B				

**Tabella A**

Primo ciclo			Secondo ciclo		
Attività formativa	SSD	CFU	Attività formativa	SSD	CFU
Elaborazione numerica dei segnali multimediali LM	ING-INF/03	6	Sistemi di conversione statica per energie rinnovabili LM	ING-IND/32	6
Sistemi di telecomunicazioni LM	ING-INF/03	6	Reti wireless per l'internet delle cose LM	ING-INF/03	6
Sistemi distribuiti	ING-INF/05	6	Sicurezza delle reti	ING-INF/05	6
Sistemi embedded e internet of things	ING-INF/05	6	Programmazione di reti	ING-INF/05	6



**Tabella B**

Primo ciclo			Secondo ciclo		
Attività formativa	SSD	CFU	Attività formativa	SSD	CFU
Elettronica per l'elaborazione analogica del segnale LM	ING-INF/01	6	Elettronica industriale LM	ING-INF/01	6
Propagazione e pianificazione nei sistemi wireless LM	ING-INF/02	6			
Tecniche elettromagnetiche per la localizzazione e il controllo ambientale LM	ING-INF/02	6			

## Conclusioni

La storia del Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica presso la sede di Cesena segue la storia recente del Campus Universitario cesenate. Dal 1992 a oggi, il Corso di Laurea è cresciuto insieme alla sede, ora dotata di un Campus Universitario molto funzionale ed efficiente, inaugurato nel 2018, e si è specializzato per un approccio “orizzontale”, ovvero per la capacità di coniugare i contenuti formativi delle tecnologie elettroniche, delle telecomunicazioni e delle scienze informatiche. Dal 2002 a oggi si sono laureati in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni oltre 650 studenti presso la sede di Cesena. I Corsi di Studio, si sono specializzati nelle applicazioni delle tecnologie ICT a energia e ambiente, temi estremamente importanti dal punto di vista socio-economico, che hanno permesso di costruire un'offerta formativa complementare alla sede di Bologna.

### **3.7. IL CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTROTECNICA NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

*Carlo Alberto Nucci, Ugo Reggiani*

Il Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica fu attivato presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna nell'anno accademico 1960/61. Nei decenni successivi, sia a fronte delle sollecitazioni legislative provocate dalle varie riforme ministeriali, sia per effetto della naturale e rapida evoluzione della disciplina, il corso ha subito diverse trasformazioni, fino ad arrivare all'attuale assetto.

In questo breve contributo verrà inizialmente descritta la genesi del Corso di Studio in Ingegneria Elettrotecnica a partire dagli albori della Laurea in Ingegneria Industriale nella Facoltà di Ingegneria nel 1935. Successivamente si analizzerà l'evoluzione del Corso di Studio, evidenziando le modifiche apportate all'organizzazione e ai contenuti del Corso dal 1960 in poi.

#### **La didattica dell'Elettrotecnica nella Facoltà**

##### ***Dal 1935 al 1960***

Nell'anno accademico 1936-37, in base al Regio Decreto-Legge 20 giugno 1935, n. 1071, noto come "Riforma De Vecchi", fu istituita presso la Facoltà di Ingegneria della Regia Università di Bologna la "Sezione di Ingegneria Industriale, Sottosezione Elettrotecnica", chiamata anche "Laurea in Ingegneria Industriale, Sottosezione Elettrotecnica". Tale laurea può essere considerata precorritrice del Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica, anche se denominata "Sottosezione" e non "Corso di Laurea", essendo in pratica presenti in essa i principali insegnamenti caratterizzanti l'ingegneria elettrotecnica.

Si può notare che il piano degli studi comprendeva un ampio spettro di insegnamenti elettrici. Infatti, non esistendo la Laurea in Ingegneria Elettronica, erano presenti, oltre agli insegnamenti di base "Elettrotecnica I e II" specifici per la sottosezione, non solo gli insegnamenti caratterizzanti le correnti forti ("Impianti industriali elettrici I e II", "Costruzioni di macchine elettriche", "Misure elettriche per correnti forti" e "Tecnologie speciali elettriche"), ma anche alcuni insegnamenti caratterizzanti le correnti deboli ("Comunicazioni elettriche", "Elettronica", "Radiotecnica" e "Misure elettriche per correnti deboli")<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Per l'esattezza, la Laurea in Ingegneria Industriale era stata istituita a Bologna nell'anno accademico 1926/27 in base al nuovo Statuto della R. Scuola di Ingegneria in Bologna approvato con Decreto Reale 14 ottobre 1926. Il piano didattico di tale laurea prevedeva però un solo insegnamento di carattere elettrico "Impianti elettrici e misure elettriche", oltre all'insegnamento di base "Elettrotecnica generale" comune alla laurea in Ingegneria Civile.

Tabella 1. Ultimo piano degli studi del Corso di Laurea in Ingegneria Industriale, Sottosezione Elettrotecnica, nell'anno accademico 1959/60 (dall'Annuario dell'Università).

<b>Sottosezione elettrotecnica</b>		
<b>ANNO I.</b>		
1. Chimica applicata 2. Chimica industriale 3. Elettrotecnica (I) 4. Fisica tecnica 5. Meccanica applicata alle macchine 6. Scienza delle costruzioni 7. Un insegnamento complementare		
<i>La Facoltà consiglia:</i>		
Complementi di matematiche	<i>Esami propedeutici</i>	
	<i>all'iscrizione</i>	<i>all'esame</i>
<b>ANNO II.</b>		
1. Architettura tecnica (*) . . . . .	Scienza costr.	—
2. Costruzione di macchine . . . . .	Mecc. applicata - Scienza costr.	—
3. Elettrotecnica (II) . . . . .	—	—
4. Idraulica . . . . .	—	—
5. Impianti industriali elettrici (I) . . . . .	—	Elettrotecnica
6. Macchine . . . . .	Fis. tec. - Mecc. appl.	Idraulica
7. Tecnologie generali . . . . .	Mecc. applicata Scienza costr.	—
8. Topografia con elementi di geodesia . . . . .	—	—
9. Un insegnamento complementare . . . . .	—	—
<i>La Facoltà consiglia:</i>		
Misure elettriche I p. . . . .	—	—
	<i>Esami propedeutici</i>	
	<i>all'iscrizione</i>	<i>all'esame</i>
<b>ANNO III.</b>		
1. Costruzioni di macchine elettriche . . . . .	El. - Scien. costr.	Elettrotecnica
2. Impianti industriali elettrici (II) . . . . .	—	—
3. Materie giuridiche ed economiche . . . . .	—	—
4-7. Quattro insegnamenti complementari		
<i>La Facoltà consiglia:</i>		
Comunicazioni elettriche . . . . .	Elettrotecnica	—
<i>ed uno dei seguenti gruppi a scelta:</i>		
gruppo A { Impianti spec. idraulici . . . . .	Idr. - Scien. costr.	—
{ Misure elettr. II (corr. forte) . . . . .	—	Elettrotecnica
{ Tecnol. speciali elettriche . . . . .	—	—
gruppo B { Elettronica . . . . .	—	Complem. di matem.
{ Misure elettr. (corr. deboli) . . . . .	—	Elettrotecnica
{ Radiotecnica . . . . .	Elettrotecnica	—

### Dal 1960 al 2000

Nell'anno accademico 1960/61 la Facoltà di Ingegneria di Bologna diede applicazione al D.P.R. 31 gennaio 1960, n. 53. Il biennio propedeutico passò dalla Facoltà di Scienze a quella di Ingegneria; furono abolite le sottosezioni Meccanica ed Elettrotecnica della Sezione Industriale e al loro posto furono attivati i Corsi di Laurea in Ingegneria Meccanica e in Ingegneria Elettrotecnica. Le sezioni di Ingegneria Chimica e di Ingegneria Mineraria diventarono Corsi di Laurea. Nacque il nuovo Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica e fu avviato con i primi due anni il Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare. È questo, pertanto, l'atto di nascita ufficiale del "Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica" di durata quinquennale.

Il D.P.R. 20 maggio 1989 riordinava l'elenco delle lauree che potevano essere rilasciate dalle Facoltà di Ingegneria. In particolare, era soppressa la laurea in Ingegneria Elettrotecnica ed era inserita la laurea in Ingegneria Elettrica. La Facoltà attuò tale D.P.R. attivando nell'anno accademico 1991/92 contestualmente i primi tre anni del nuovo "Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica". Di conseguenza, l'anno accademico 1990/91 fu l'ultimo anno con il piano didattico del Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica, e l'anno accademico 1993/94 fu il primo anno con il piano didattico del Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica di durata quinquennale. Qui di seguito (Tabella 2) è riportato il piano degli studi 1990/91 per Ingegneria Elettrotecnica.

Tabella 2. Piano degli studi 1990/91 per il Corso di Laurea in Ingegneria Elettrotecnica.

Anno di Corso	CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTROTECNICA-COD. 2003(*)				
	Corsi a svolgimento estensivo		Corsi a svolgimento intensivo		
	N. cod.	N. cod.	I Ciclo	N. cod.	II Ciclo
I		1352 1364	Analisi matematica I Disegno	1361 1369 1377	Chimica Fisica I Geometria
II		1356 1372	Analisi matematica II Fisica II	4501 5693 1381	Calcolo numerico e programmazione Chimica fisica dei materiali elettrici Meccanica razionale
III		277 6797 8075	Elettrotecnica I Fisica tecnica Scienza delle costruzioni	279 8074 8073	Elettrotecnica II Macchine Meccanica applicata alle macchine
IV		5843 270 666	Impianti elettrici Elettrotecnica applicata Macchine elettriche	196 732 2037 5695	Controlli automatici Misure elettriche Elettronica industriale (ind. Automazione ind. Ic) oppure Esercizio delle reti elettriche di energia (ind. Energia)
V		1046 5694	Tecnologie elettriche Economia dell'ingegneria		
Indirizzi di Specializzazione	1. Indirizzo Energia				
		205	Costruzioni elettromeccaniche	4153	Tecnica delle alte tensioni
	3 esami a scelta suddivisi secondo gli orientamenti suggeriti				
	2. Indirizzo Automazione Industriale				
		2237	Applicazioni industriali dell'elettrotecnica	2037 9269	Elettronica industriale Tecnologie dei sistemi di controllo
	2 esami a scelta suddivisi secondo gli orientamenti suggeriti				

Si evidenzia il carattere trasversale e multidisciplinare della formazione fornita, che dalla sua istituzione è risultato essere una delle caratteristiche distintive del Corso di Laurea in particolare. Tale connotato ben si riflette nei due indirizzi “Energia” e “Automazione industriale”, ciascuno con numerosi orientamenti.

## La riforma del “3+2”

### *La Riforma ex D.M. 509/1999*

La riforma del D.M. 509/1999 determinò l’articolazione di tutti i Corsi di Laurea della Facoltà di Ingegneria (ad eccezione del Corso di Laurea specialistica europea in Ingegneria Edile-Architettura) su due livelli: il primo livello “laurea” di durata triennale e il secondo livello “laurea specialistica” di durata biennale. Il Corso di Laurea aveva l’obiettivo di assicurare allo studente un’adeguata padronanza di metodi e contenuti scientifici generali, e l’acquisizione di specifiche conoscenze professionali; la laurea specialistica doveva fornire una formazione di livello avanzato per l’esercizio di attività di elevata qualificazione in ambiti specifici. Questa nuova organizzazione didattica era caratterizzata dall’introduzione dei crediti formativi universitari (CFU) per ciascuna attività formativa e dalla classe di appartenenza di Corsi di Studio dello stesso livello.

Questi obiettivi richiesero una profonda revisione dell’organizzazione didattica dell’intero percorso formativo quinquennale, poiché non potevano essere raggiunti con una semplice trasposizione dei primi tre anni della vecchia Laurea nella Laurea triennale e degli ultimi due nella specialistica. Infatti, nella vecchia laurea i primi due-tre anni erano dedicati alle materie di base e propedeutiche, mentre la maggior parte delle materie tecniche e professionalizzanti erano svolte negli ultimi anni.

L’attivazione della laurea triennale in Ingegneria Elettrica, iniziata nell’anno accademico 1999/2000, fu completata nel 2001/02. La Laurea Specialistica fu attuata compiutamente nell’anno accademico 2003/04. Le lezioni erano svolte in tre cicli didattici, anziché in due come nella laurea quinquennale.

Nell’offerta formativa dell’Università di Bologna, riguardo alla classe dell’Ingegneria Industriale, il Corso di Studio in Ingegneria Elettrica si differenziava dagli altri corsi della stessa classe per l’ampio spazio attribuito, in termini di attività formative e di crediti, a uno specifico ambito caratterizzante “Ingegneria Elettrica”, compreso fra quelli individuati come tali dal decreto sulle classi. La spiccata rilevanza di tali discipline nei curricula degli studenti mirava a creare figure professionali largamente richieste dal mondo del lavoro: Gli ingegneri elettrici sono definiti un “sogno” per le aziende [da “Il Sole 24 Ore” del 4 maggio 2005]. Tali figure professionali, connotate da una solida preparazione ingegneristica ad ampio spettro e dotate di competenze specifiche per quanto concerne problematiche, modelli e metodi propri del settore elettrico, erano in grado di inserirsi prontamente e di rispondere proficuamente alle esigenze applicative che si ponevano in ogni contesto in cui i sistemi, gli apparecchi e i componenti elettrici rivestono un ruolo di rilievo.

Le Tabelle 3 e 4 riportano la struttura dei piani didattici delle due nuove lauree nell’anno accademico 2007/08.

Tabella 3. Piano didattico della laurea triennale nell'A.A. 2007/08.

Anno	CFU	I ciclo	CFU	II ciclo	CFU	III ciclo	CFU	
I	57	Analisi matematica L-A	6	Analisi matematica L-B	6	Meccanica razionale L	6	
		Fondamenti di informatica L-A	6	Complementi di informatica L-A	3	Elementi di controlli automatici L	6	
		Geometria e algebra L	6	Fisica generale L-A	6	Fisica generale L-B	6	
				Economia applicata all'ingegneria L	3			
		Lingua straniera: inglese						3
II	60	Circuiti elettrici L	6	Fondamenti di elettrotecnica L	6	Circuiti elettronici di potenza L	6	
		Fisica tecnica L	9	Affidabilità e statistica per i sistemi elettrici L	6	Fondamenti di chimica L	6	
		Meccanica delle macchine e dei materiali L (corso integrato)	9	Elettronica L	6	Macchine L	6	
III	63	Impianti elettrici L	9	Azionamenti elettrici L	6	Elementi di sistemi elettrici per l'energia L	3	
		Componenti e tecnologie elettriche L	6	Misure elettriche e laboratorio L (corso integrato)			12	
		Macchine elettriche L	6	Moduli a scelta autonoma			9	
		Tirocinio L						6
		Prova Finale L						6
TOT CFU	180							

### Moduli a scelta autonoma

Anno	I ciclo	CFU	II ciclo	CFU	III ciclo	CFU
III			Attuatori elettrici L	3	Costruzioni elettromeccaniche L	3
			Compatibilità elettromagnetica e laboratorio L	6	Misure per la sicurezza L	3
			Produzione dell'energia elettrica L	6	Qualità dell'energia elettrica L	6
					Scienza e tecnologia dei materiali elettrici L	6

Lo studente deve seguire moduli a scelta autonoma per un complessivo di 9 crediti sostenendo le relative prove di verifica. I moduli sopra indicati sono consigliati dal Corso di Laurea. I corsi a scelta possono però essere selezionati anche al di fuori di quelli indicati dal Consiglio di Corso di Studi nell'ambito di tutte le attività attivate o riconosciute dall'Ateneo.

Tabella 4. Piano didattico della laurea specialistica nell'A.A. 2007/08.

Anno	CFU	I ciclo	CFU	II ciclo	CFU	III ciclo	CFU	
I	54	Complementi di analisi matematica LS	6	Modellistica ed ingegneria dei materiali elettrici LS	6	Macchine elettriche LS	6	
		Strumentazione elettronica di misura LS	6	Calcolo di campi elettrici e magnetici LS	6	Elettromagnetismo applicato LS	6	
		Economia pubblica dell'energia LS	6	Controlli automatici LS	6	Conversione statica dell'energia LS	6	
II	18	Sistemi elettrici per l'energia LS	9	Metodologie di progettazione di impianti elettrici LS	3	Dinamica degli azionamenti elettrici LS	6	
	<b>3 corsi a scelta tra i 6 proposti nei due percorsi:</b>						<b>18</b>	
	<b>1. Applicazioni Industriali Elettriche</b>							
		6	Metodologia di progettazione delle macchine elettriche LS	6	Dinamica delle macchine LS	6	Elettronica LS	6
		6	Sensori e trasduttori LS	6	Tecnologie elettriche innovative LS	6	Modellistica dei sistemi elettromeccanici LS	6
	<b>2. Produzione e Trasmissione dell'Energia Elettrica</b>							
		6	Ingegneria dei plasmi LS	6	Ingegneria dei sistemi energetici LS	6	Centrali elettriche LS	6
		6	Tecnica delle alte tensioni LS	6	Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici LS	6	Manutenzione e diagnostica dei sistemi elettrici LS	6
	<b>Crediti a scelta libera(*)</b>							<b>12</b>
	18	Tirocinio LS						6
	Prova Finale LS						12	
<b>LS CFU</b>	<b>120</b>	<b>Crediti totali I e II anno - Laurea Specialistica</b>						
<b>L CFU</b>	<b>180</b>	<b>Crediti acquisiti nei primi tre anni - Laurea</b>						
<b>TOT CFU</b>	<b>300</b>	<b>Crediti complessivi: Laurea + Laurea Specialistica</b>						

(\*) Il Consiglio di Corso di Studi suggerisce agli studenti di operare la scelta di questi 12 crediti nell'ambito del percorso selezionato, indicando 2 corsi tra i 3 rimanenti. In alternativa, si suggerisce di scegliere 2 corsi tra quelli complessivamente indicati nei due percorsi.

Si possono sintetizzare alcune importanti novità:

- Lo spazio per le materie propedeutiche fisico-matematiche nel triennio fu ridotto e i relativi insegnamenti furono in pratica concentrati nel primo anno. La riduzione delle attività formative di matematica fu in parte compensata da un corso obbligatorio al primo anno della specialistica (Complementi di analisi matematica LS).
- Nel secondo anno della laurea triennale erano svolti, oltre alle attività formative di base dell'ingegneria elettrica, insegnamenti ingegneristici non appartenenti all'ambito caratterizzante "Ingegneria Elettrica" e di cultura economica, alcuni dei quali (ad esempio, Controlli automatici, Elettronica, Meccanica ed Economia applicata all'ingegneria) erano approfonditi nella specialistica.

- Il terzo anno era dedicato ad attività formative caratterizzanti “Ingegneria Elettrica” con forte valenza professionale (macchine e azionamenti elettrici, impianti e sistemi elettrici, misure elettriche e tecnologie elettriche), poi ampiamente riprese e approfondite nella specialistica, insieme ad alcuni contenuti di elettromagnetismo applicato e di materiali specifici per l’ingegneria elettrica.

Fu introdotto nella laurea triennale l’insegnamento “Circuiti elettronici di potenza L” non presente nella vecchia laurea. Inoltre, esercitazioni di laboratorio erano previste negli insegnamenti “Misure elettriche e laboratorio L” e “Compatibilità elettromagnetica e laboratorio L”. Un’attività formativa di “Tirocinio” era presente sia nella triennale sia nella specialistica.

- Nella laurea Specialistica erano proposti due percorsi “Applicazioni Industriali Elettriche” e “Produzione e Trasmissione dell’Energia Elettrica” [confronto con quelli della laurea quinquennale].

### **La Riforma D.M. 270/2004**

Con il D.M. 270/04, noto come riforma Moratti, i livelli di istruzione restano sempre due ma cambiano denominazione: la laurea triennale è chiamata semplicemente laurea o laurea di primo livello, la laurea specialistica diventa laurea magistrale.

Una delle modifiche più importanti, rispetto al D.M. 509/99, è di natura culturale. Infatti, è prevista l’attribuzione nella laurea di primo livello di una più ampia rilevanza alle materie propedeutiche fisico-matematiche e alle metodologie generali attraverso l’attribuzione di un maggiore numero di CFU. Inoltre, sono introdotti vincoli sul numero massimo di esami da sostenere (20 esami per la laurea di primo livello, 12 esami per quella magistrale) e sul numero minimo di crediti per attività formativa.

Il Decreto contiene due norme che possono avere ricadute sui trasferimenti e sulle scelte degli studenti durante il percorso formativo. Una norma, che stabilisce che Corsi di Laurea di primo livello della stessa Classe devono avere almeno 60 CFU in comune nei primi due anni, favorisce i frequenti passaggi a Ingegneria Elettrica da altre lauree affini. L’altra norma rende indipendenti i CFU previsti per conseguire la laurea magistrale dai CFU richiesti per ottenere la laurea. Secondo questa norma i numerosi studenti, in possesso di una laurea di primo livello diversa da Ingegneria Elettrica, che intendono iscriversi alla laurea magistrale in Ingegneria Elettrica in alcuni casi possono essere consigliati di seguire un piano didattico “differenziato” rispetto a quello standard, mantenendo però lo stesso numero complessivo di crediti e di esami (120 e 12 rispettivamente), diversamente da quanto era richiesto con il D.M. 509/99.

L’attivazione della laurea di primo livello in Ingegneria Elettrica, iniziata nell’anno accademico 2008-09, fu completata nel 2010/11. La laurea Magistrale varata un anno dopo fu attuata compiutamente nello stesso anno 2010/11.

Nelle Tabelle 5 e 6 sono riportati i piani didattici della laurea e della laurea magistrale in Ingegneria Elettrica nell’anno accademico 2011/12.



Tabella 5. Piano didattico della laurea nell'A.A. 2011/12.

**Corso di Laurea in INGEGNERIA ELETTRICA****Prospetto attuativo del Piano Didattico A.A. 2011-2012**

I ANNO										
N. esami	CFU	I ciclo			CFU	II ciclo			CFU	
7	54	Analisi matematica T-1	MAT/05	9 A	24	Analisi matematica T-2	MAT/05	9 A	27	
		Fisica generale T-1	FIS/01	9 A		Fisica generale T-2	FIS/01	6 A		
		Geometria e algebra T	MAT/03	6 A		Fondamenti di informatica T	ING-INF/05	6 A		
						Meccanica razionale T	MAT/07	6 A		
		Lingua straniera: Inglese							3 E	
II ANNO										
8	63	Circuiti elettrici T	ING-IND/31	9 B	30	Controlli automatici T	ING-INF/04	9 B	33	
		Fondamenti di elettrotecnica T	ING-IND/31	6 B		Economia e organizzazione aziendale T	ING-IND/35	6 B		
		Fondamenti di chimica T	CHIM/07	6 A		Elettronica T	ING-INF/01	9 C		
		Fisica tecnica T	ING-IND/10	9 B		Meccanica delle macchine e dei materiali T (corso integrato): - <i>Meccanica applicata alle macchine T</i> ING-IND/13 6 C - <i>Meccanica dei materiali T</i> ICAR/08 3 C	9 C			
III ANNO										
5	63	Impianti elettrici T	ING-IND/33	9 B	30	Misure elettriche e laboratorio T (corso integrato) - <i>Misure elettriche T</i> ING-INF/07 9 B - <i>Laboratorio di misure elettriche T</i> 3 F	9 B	3 F	30	
		Macchine elettriche T	ING-IND/32	9 B		Attività formative a scelta guidata (tipologia F) (vedi: (*))	6 F			
		Affidabilità e tecnologie per i sistemi elettrici T (corso integrato): - <i>Affidabilità e statistica per i sistemi elettrici T</i> ING-IND/33 6 B - <i>Tecnologie e diagnostica dei sistemi elettrici T</i> ING-IND/33 6 B	12 B	Attività formative a scelta autonoma (tipologia D) (vedi: (**))		12 D				
		Prova finale							3 E	
20	180									

(\*) **Attività formative a scelta guidata (tipologia F)**

Scegli 6 crediti tra le attività formative indicate nella seguente tabella:

Attività formative	CFU
Laboratorio di ingegneria dell'energia elettrica T	6
Tirocinio T	6

**(\*\*) Attività formative a scelta autonoma (tipologia D)**

Scegli almeno 12 crediti tra tutte le attività formative dell'Ateneo. Il Corso di Studio considera coerenti con il percorso formativo quelle indicate nella seguente tabella:

Attività formative					
I ciclo		CFU	II ciclo		CFU
Complementi di analisi matematica T	MAT/05	6	Compatibilità elettromagnetica e laboratorio T	ING-IND/31	6
Progettazione e gestione di sistemi elettromeccanici T	ING-IND/32	6	Fondamenti di informatica T-2	ING-INF/05	12
			Produzione dell'energia elettrica T	ING-IND/33	6
			Qualità dell'energia elettrica T	ING-IND/33	6
			Scienza e tecnologia dei materiali elettrici T	ING-IND/22	6

Tabella 6. Piano didattico della laurea magistrale nell'A.A. 2011/12.

### Corso di Laurea Magistrale in INGEGNERIA ELETTRICA

#### Prospetto attuativo Piano Didattico A.A. 2012/13

I ANNO								
N. esami	CFU	I ciclo		CFU	II ciclo		CFU	
<b>6</b>	<b>54</b>	Strumentazione elettronica di misura M	ING-INF/07	6 B	<b>24</b>	Elettromagnetismo applicato M (corso integrato) - CAD di campi elettrici e magnetici M ING-IND/31 6 B		12 B
			- Propagazione ed interferenze elettromagnetiche M ING-IND/31 6 B					
		Ingegneria dei sistemi energetici M	ING-IND/08	6 C		Energetica M (corso integrato) - Circuiti elettronici di potenza e conversione fotovoltaica dell'energia M ING-IND/31 6 B		12 B
			- Conversione statica dell'energia elettrica M ING-IND/32 6 B					
		Attività formativa affine e integrativa (tipologia C) (vedi: (*))		6 C	Gestione tecnologica degli asset elettrici M	ING-IND/33	6 B	
		Lingua straniera: Inglese B2 (**)		6 F				

II ANNO							
6	66	Azionamenti elettrici per applicazioni industriali ed eoliche M	ING-IND/32	9 B	Attività formative a scelta guidata (***)	18 B	
		Sistemi elettrici per l'energia M	ING-IND/33	9 B			
		Attività formative a scelta autonoma (****)				12 D	
		Prova finale M				18 E	
12	120						

**(\*) Attività formativa affine e integrativa (tipologia C)**

Scegli 6 crediti tra le attività formative indicate nella seguente tabella:

Attività	CFU
Economia dell'impresa M	ING-IND/35 6
Fisica moderna M	FIS/01 6

(\*\*) Questa attività formativa è sostituita dall'attività Tirocinio M (6 CFU) per gli studenti che nella carriera precedente hanno superato la prova di Lingua straniera: Inglese B2.

**(\*\*\*) Attività formative a scelta guidata**

Scegli 6 crediti tra le attività formative indicate nella seguente tabella:

I ciclo		CFU	II ciclo		CFU
			Centrali elettriche e generazione distribuita M	ING-IND/33	6 B
			Sistemi per la propulsione elettrica M	ING-IND/32	6 B

Se lo studente sceglie "Centrali elettriche e generazione distribuita M", scelga 12 crediti tra le attività formative indicate nella seguente tabella:

I ciclo		CFU	II ciclo		CFU
Tecnica delle alte tensioni M	ING-IND/33	6 B	Ingegneria dei plasm M	ING-IND/31	6 B
Tecnologie elettriche innovative M	ING-IND/33	6 B	Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici M	ING-INF/07	6 B

Se lo studente sceglie “Sistemi per la propulsione elettrica M”, scelga 12 crediti tra le attività formative indicate nella seguente tabella:

I ciclo		CFU	II ciclo		CFU
Modellistica dei sistemi elettromeccanici M	ING-IND/32	6 B	Manutenzione predittiva per le infrastrutture elettriche M	ING-IND/33	6 B
Sensori e trasduttori per l'industria e l'ambiente M	ING-INF/07	6 B	Metodologie di progettazione delle macchine elettriche M	ING-IND/32	6 B

**(\*\*\*\*) Attività formative a scelta autonoma (tipologia D)**

Scegli almeno 12 crediti tra tutte le attività formative dell'Ateneo. Il Corso di Studio considera coerenti con il percorso formativo quelle indicate nella seguente tabella:

I ciclo		CFU	II ciclo		CFU
Modellistica dei sistemi elettromeccanici M	ING-IND/32	6	Centrali elettriche e generazione distribuita M	ING-IND/33	6
Sensori e trasduttori per l'industria e l'ambiente M	ING-INF/07	6	Ingegneria dei plasmi M	ING-IND/31	6
Tecnica delle alte tensioni M	ING-IND/33	6	Manutenzione predittiva per le infrastrutture elettriche M	ING-IND/33	6
Tecnologie elettriche innovative M	ING-IND/33	6	Metodologie di progettazione delle macchine elettriche M	ING-IND/32	6
			Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici M	ING-INF/07	6
			Scienza della costruzioni T	ICAR/08	12
			Sistemi per la propulsione elettrica M	ING-IND/32	6

Si possono notare le seguenti novità:

- Per rispettare i vincoli sul numero massimo di esami da sostenere sono introdotti corsi integrati.
- Sono sensibilmente aumentati i CFU attribuiti alle materie fisico-matematiche al primo anno della laurea e le lezioni sono di nuovo svolte in due cicli didattici. Gli insegnamenti ingegneristici non appartenenti all'ambito caratterizzante “Ingegneria Elettrica” (ad esempio, Controlli automatici ed Elettronica) sono svolti solo nella laurea di primo livello con un numero maggiore di CFU. Sono pure aumentati nella laurea i CFU di alcune attività formative di “Ingegneria Elettrica”. Di conseguenza, sono trasferiti alla magistrale i contenuti degli insegnamenti “Azionamenti elettrici”, “Circuiti elettronici di potenza” e “Macchine”.
- Nella laurea magistrale l'attività formativa “Gestione tecnologica degli *asset* elettrici M” sostituisce “Modellistica ed ingegneria dei materiali elettrici LS”. Sono introdotti i nuovi insegnamenti “Centrali elettriche e generazione distribuita M” e “Sistemi per la propulsione elettrica M”. Per approfondire la cultura scientifica è prevista l'attività formativa integrativa a scelta “Fisica moderna M”.

### **Lauree in Ingegneria dell'Energia Elettrica**

Nel 2011 il Consiglio di Facoltà di Ingegneria approvò la proposta, presentata dal Consiglio di Corso di Studio in Ingegneria Elettrica, di mutare la denominazione della Laurea e della Laurea Magistrale da “Ingegneria Elettrica” a “Ingegneria dell'Energia Elettrica”.

Con tale cambio di denominazione si voleva dare una maggiore “visibilità” alle elevate competenze dell'ingegnere elettrico nel campo dell'energia: in particolare riguardo alla produzione, gestione, conversione e utilizzo dell'energia elettrica da fonti convenzionali e rinnovabili, alla sua distribuzione mediante reti “attive” e “intelligenti” nel contesto del mercato liberalizzato dell'energia elettrica, alla progettazione e produzione di sistemi di conversione elettromeccanica dell'energia, di impianti ed apparati elettrici ad elevata efficienza e al risparmio energetico conseguibile attraverso l'utilizzo su larga scala in ambito civile ed industriale di apparecchiature elettriche innovative, sia per concezione sia per materiali impiegati.

Le due lauree con la nuova denominazione furono attivate nell'anno accademico 2012-13. Di seguito (Tabelle 7 e 8) sono presentati i piani didattici.

Tabella 7. Piano didattico della laurea nell'A.A. 2012/13.

#### **Corso di Laurea in INGEGNERIA DELL'ENERGIA ELETTRICA**

##### **Prospetto attuativo del Piano Didattico A.A. 2012-2013**

<b>I ANNO</b>									
Esami	CFU	<b>I ciclo</b>			CFU	<b>II ciclo</b>			CFU
7	60	Analisi matematica T-1	MAT/05	9 A	24	Analisi matematica T-2	MAT/05	9 A	30
		Fisica generale T-1	FIS/01	9 A		Fisica generale T-2	FIS/01	6 A	
		Geometria e algebra T	MAT/03	6 A		Fondamenti di informatica T	ING-INF/05	9 A	
						Meccanica razionale T	MAT/07	6 A	
		Lingua straniera: Inglese B1							
<b>II ANNO (non attivato)</b>									
8	63	Circuiti elettrici T	ING-IND/31	9 B	30	Controlli automatici T	ING-INF/04	9 B	33
		Fondamenti di chimica T	CHIM/07	6 A		Economia e organizzazione aziendale T	ING-IND/35	6 B	
		Fondamenti di elettrotecnica T	ING-IND/31	6 B		Elettronica T	ING-INF/01	9 C	
		Meccanica delle macchine e dei materiali T (corso integrato): - <i>Meccanica applicata alle macchine T</i> ING-IND/13 6 C - <i>Meccanica dei materiali T</i> ICAR/08 3 C		9 C		Fisica tecnica T	ING-IND/10	9 B	

III ANNO ( <i>non attivato</i> )										
5	57	Affidabilità e tecnologie per i sistemi elettrici T (corso integrato): - <i>Affidabilità e statistica per i sistemi elettrici T</i> ING-IND/33 6 B		12 B	30	Misure elettriche e laboratorio T (corso integrato) - <i>Misure elettriche T</i> ING - INF/07 9 B		24		
		- <i>Tecnologie e diagnostica dei sistemi elettrici T</i> ING-IND/33 6 B				- <i>Laboratorio di misure elettriche T</i> 3 F				
		Impianti elettrici T	ING-IND/33			9 B	Attività formative a scelta autonoma (tipologia D) (vedi: (*))		12 D	
		Macchine elettriche T	ING-IND/32			9 B				
Prova finale							3 E			
20	180									

**(\*) Attività formative a scelta autonoma (tipologia D)**

Scegli almeno 12 crediti tra tutte le attività formative dell'Ateneo. Il Corso di Studio considera coerenti con il percorso formativo quelle indicate nella seguente tabella:

Attività formative					
I ciclo		CFU	II ciclo		CFU
Progettazione e gestione di sistemi elettromeccanici T	ING-IND/32	6	Compatibilità elettromagnetica e laboratorio T	ING-IND/31	6
			Complementi di analisi matematica T	MAT/05	6
			Fondamenti di informatica T-2	ING-INF/05	12
			Laboratorio di ingegneria dell'ingegneria elettrica T		6
			Produzione dell'energia elettrica T	ING-IND/33	6
			Qualità dell'energia elettrica T	ING-IND/33	6
			Scienza e tecnologia dei materiali elettrici T	ING-IND/22	6

Tabella 8. Piano didattico della laurea magistrale nell'A.A. 2012/13.

**Corso di Laurea Magistrale in INGEGNERIA DELL'ENERGIA ELETTRICA****Prospetto attuativo Piano Didattico A.A. 2012/13**

I ANNO							
N. esami	CFU	I ciclo		CFU	II ciclo		CFU
6	54	Strumentazione elettronica di misura M	ING-INF/07	6 B	24	Elettromagnetismo applicato M (corso integrato) - CAD di campi elettrici e magnetici M ING-IND/31 6 B	12 B
						- Propagazione ed interferenze elettromagnetiche M ING-IND/31 6 B	
		Ingegneria dei sistemi energetici M	ING-IND/08	6 C	Enertronica M (corso integrato) - Circuiti elettronici di potenza e conversione fotovoltaica dell'energia M ING-IND/31 6 B	12 B	
					- Conversione statica dell'energia elettrica M ING-IND/32 6 B		
Attività formativa affine e integrativa (tipologia C) (vedi: (*))		6 C	Gestione tecnologica degli asset elettrici M	ING-IND/33	6 B		
Lingua straniera: Inglese B2 (**)		6 F					
<b>II ANNO (non attivato nell'A.A. 2012/2013)</b>							
6	66	Azionamenti elettrici per applicazioni industriali ed eoliche M	ING-IND/32	9 B		Attività formative a scelta guidata (***)	18 B
		Sistemi elettrici per l'energia M	ING-IND/33	9 B			
		Attività formative a scelta autonoma (****)					12 D
		Prova finale M					18 E
12	120						

**(\*) Attività formativa affine e integrativa (tipologia C)**

Scegli 6 crediti tra le attività formative indicate nella seguente tabella:

Attività		CFU
Economia dell'impresa M	ING-IND/35	6
Fisica moderna M	FIS/01	6

(\*\*) Questa attività formativa è sostituita dall'attività Tirocinio M (6 CFU) per gli studenti che nella carriera precedente hanno superato la prova di Lingua straniera: Inglese B2.

**(\*\*\*) Attività formative a scelta guidata**

Scegli 6 crediti tra le attività formative indicate nella seguente tabella:

I ciclo		CFU	II ciclo		CFU
			Centrali elettriche e generazione distribuita M	ING-IND/33	6 B
			Sistemi per la propulsione elettrica M	ING-IND/32	6 B

Se lo studente sceglie “Centrali elettriche e generazione distribuita M”, scelga 12 crediti tra le attività formative indicate nella seguente tabella:

I ciclo		CFU	II ciclo		CFU
Tecnica delle alte tensioni M	ING-IND/33	6 B	Ingegneria dei plasmi M	ING-IND/31	6 B
Tecnologie elettriche innovative M	ING-IND/33	6 B	Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici M	ING-INF/07	6 B

Se lo studente sceglie “Sistemi per la propulsione elettrica M”, scelga 12 crediti tra le attività formative indicate nella seguente tabella:

I ciclo		CFU	II ciclo		CFU
Modellistica dei sistemi elettromeccanici M	ING-IND/32	6 B	Manutenzione predittiva per le infrastrutture elettriche M	ING-IND/33	6 B
Sensori e trasduttori per l'industria e l'ambiente M	ING-INF/07	6 B	Metodologie di progettazione delle macchine elettriche M	ING-IND/32	6 B

**(\*\*\*\*) Attività formative a scelta autonoma (tipologia D)**

Scegli almeno 12 crediti tra tutte le attività formative dell'Ateneo. Il Corso di Studio considera coerenti con il percorso formativo quelle indicate nella seguente tabella:

I ciclo		CFU	II ciclo		CFU
Modellistica dei sistemi elettromeccanici M	ING-IND/32	6	Centrali elettriche e generazione distribuita M	ING-IND/33	6
Sensori e trasduttori per l'industria e l'ambiente M	ING-INF/07	6	Ingegneria dei plasmi M	ING-IND/31	6
Tecnica delle alte tensioni M	ING-IND/33	6	Manutenzione predittiva per le infrastrutture elettriche M	ING-IND/33	6
Tecnologie elettriche innovative M	ING-IND/33	6	Metodologie di progettazione delle macchine elettriche M	ING-IND/32	6
			Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici M	ING-INF/07	6
			Scienza della costruzioni T	ICAR/08	12
			Sistemi per la propulsione elettrica M	ING-IND/32	6



**Laurea magistrale in inglese**

Nel corso dell'anno accademico 2014/15 il Corso di Studio ha approvato l'istituzione di un curriculum in lingua Inglese per la laurea magistrale. La ragione di tale iniziativa va ricercata sia nella sempre più spinta esigenza di internazionalizzazione riguardo l'offerta formativa proposta dall'Ateneo, sia nella specifica richiesta in tal senso da parte delle parti sociali, come più volte constatato in occasione delle periodiche consultazioni delle parti sociali, sia infine nella progressiva crescita internazionale dei gruppi di ricerca del settore elettrico di questo ateneo. Dopo un primo assestamento, ora il curriculum in lingua Inglese si sviluppa secondo il prospetto attuativo riportato in Tabella 9, in cui si evidenzia l'attenzione del CdS a offrire crediti formativi di materie di aree scientifiche vicine dell'area ICT, oggi più che mai complementari e necessarie data la crescente diffusione di generazione distribuita da fonte rinnovabile e della mobilità elettrica, che stanno progressivamente modificando il paradigma della rete elettrica, oggi appunto denominata *smart grid*.

Tabella 9. Piano didattico del curriculum in inglese della laurea magistrale nell'A.A. 2018/19.

**Prospetto attuativo del Piano Didattico/ Programme Schedule**  
**Curriculum "Electrical Engineering"**

1st YEAR								
Number of activities	CFU	I cycle		CFU	II cycle		CFU	
7	54	87236- Electric Power Systems M	ING-IND/33	6 B	78452- Applied Measurements for Power Systems M	ING-INF/07	6 B	
		87328- Modelling and Computation of Electric and Magnetic Fields M	ING-IND/31	6 B	73924- Power Electronic Circuits M	ING-IND/31	6 B	
		78543- Laboratory of Technical English		6 F	Integrated Course: 78757- Technological management of electrical infrastructures M			6 B
					- 78454- Electrical Assets Management M	ING-IND/33	6 B	
		- 78455- Predictive maintenance for electrical infrastructures M	ING-IND/33	6 B				
			78456- Economics and Management of Energy Utilities M	ING-IND/35	6 C			
		Relevant and complementary formative activities type C [see: (*)]					6 C	

2nd YEAR								
5	66	Integrated course: Electric Drives Electric drives for Industrial Applications M ING-IND/32 6 B Electric Drives for Renewables M ING-IND/32 6 B					12 B	
		87227- High Voltage Engineering and HVDC technology M	ING-IND/33	6 B	87228- Advanced Electromagnetics and circuit modeling	ING-IND/31	6 B 3+3	
		Elective formative learning activities (**)					6 B	
		Elective formative learning activities (***)					12 D	
		Final Project M Or Final Project Dissertation + Internship for Final Project					24E 9 E + 9 E	
12	120							

**(\*) Relevant and complementary learning activities - type C**

Choose 6 credits among the learning activities listed in the following table:

Attività	SSD	CFU
87214 - Advanced Prescriptive Analytics	MAT/09	6
78758 - Control Systems Technologies M	ING-INF/04	6
87204 - Programmable Photonics M	ING-INF/02	6
29161 - Mathematical Methods M	MAT/05	6
69441 - Optimization models and algorithms M	MAT/09	6
84418 - Advanced Solid State Sensors M	ING-INF/01	6
78763 - System Theory and Advanced Control M (Integrated Course)	ING-INF/04	12
35190 - Wireless Sensor Networks M	ING/INF 03	6

**(\*\*) Elective formative learning activities type B / Attività formative a scelta guidata tipologia B**

Choose 12 credits among the learning activities listed below:

I ciclo		CFU	II ciclo		CFU
86461- Electromechanical Energy Storage and Conversion	ING-IND/32	6	86475 - Electric propulsion system M	ING-IND/32	6
78464 - Plasma Engineering	ING-IND/31	6	87231- Instrumentation for Electrical Engineering M	ING-INF/07	6
87230 - Smart Grids Fundamentals	ING-IND/33	6	87232 - Power generation operation and planning in electricity markets M	ING-IND/33	6

**(\*\*\*\*) Elective learning activities - type D / Attività formative a scelta autonoma:**

Choose 12 credits among all those available in English at the University of Bologna. For the “Electrical Engineering Curriculum” those listed in the following table are assumed coherent with the study plan

I ciclo		CFU	II ciclo		CFU
86461- Electromechanical Energy Storage and Conversion	ING-IND/32	6	87231- Instrumentation for Electrical Engineering M	ING-INF/07	6
78464 - Plasma Engineering	ING-IND/31	6	86475 - Electric propulsion system M	ING-IND/32	6
87230 - Smart Grids Fundamentals	ING-IND/33	6	87232 - Power generation operation and planning in electricity markets M	ING-IND/33	6
73414 - Algorithms for decision making M	MAT/09	6	87214 - Advanced Prescriptive Analytics M	MAT/09	6
29161- Mathematical Methods M	MAT/05	6	78763 - System theory and Advanced control M (integrated course) m	ING-INF/04	12
35167 - Communication Systems: Theory and Measurement M	ING-INF/03	6	35166 - Diagnosis and Control M	ING-INF/04	6
35190 - Wireless Sensor Networks M	ING-INF 03	6	87204 - Programmable Photonics M	ING-INF/02	6
78758 - Control Systems Technologies M	ING-INF 04	6	84418 - Advanced Solid State Sensors M	ING-INF/01	6
28560 - Laboratory of Electric Drives M	ING-IND/32	3	73887 - Creativity and Innovation M		3

## Conclusioni

La storia dell’Ingegneria Elettrotecnica nell’Università di Bologna, nella sua vita quasi sessantennale ha subito varie e profonde trasformazioni, continuamente adattandosi all’evoluzione rapida delle discipline elettriche e alle necessità del mondo del lavoro. Oggi, quello di Ingegneria dell’Energia elettrica è uno dei corsi più in sintonia con il processo di “elettrificazione” e di eco-sostenibilità che sta trasformando la società industriale.

## Bibliografia

1. *Annuari dell’Università di Bologna.*
2. *Guide dello Studente della Facoltà di Ingegneria dell’Università di Bologna, CLUEB.*

### **3.8. IL CORSO DI INGEGNERIA MECCATRONICA NELLA SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

*Lorenzo Marconi*

Il Corso di Laurea in Ingegneria Meccatronica è stato attivato presso la Scuola di Ingegneria e Architettura dell'Università di Bologna nell'anno accademico 2018/19 avendo come obiettivo l'attivazione di un percorso di laurea triennale a carattere professionalizzante specificatamente pensato per soddisfare le esigenze delle aziende del territorio in termini di tecnici altamente qualificati e specializzati in ambiti mecatronici.

L'iniziativa si è inquadrata nel contesto di un accordo quadro tra l'Università degli Studi di Bologna, Confindustria Emilia e alcuni Istituti Tecnici Superiori della provincia al fine di promuovere la collaborazione tra il tessuto industriale e gli ambiti di formazione tecnica superiore e universitaria della provincia di Bologna.

L'obiettivo del Corso di Studio, in particolare, è stato fin da subito quello di formare un profilo professionale ingegneristico immediatamente inquadrabile nelle realtà industriali della regione, con una spiccata operatività in compiti di supervisione, mantenimento e miglioramento di impianti di media/alta complessità che si caratterizzano per aspetti trasversali all'ingegneria dell'automazione, elettrica, elettronica, informatica e meccanica.

L'impianto formativo è stato creato conforme a quello della Laurea di classe L8 – Scienza dell'informazione e alle prescrizioni contenute nell'art. 8 del D.M. 987 del 2016 relative alle laurea sperimentali ad orientamento professionale, pensato in modo da rispondere in pieno alle esigenze delle aziende che rappresentano il naturale sbocco lavorativo dei laureati triennali. Il numero programmato del Corso di Studio è stato fissato pari a 50 studenti subito raggiunti fin dal primo anno di attivazione.

L'iniziativa è stata fortemente motivata dal piano nazionale "Industria 4.0" con l'obiettivo di portare a una produzione quasi integralmente basata su un utilizzo di macchine intelligenti, interconnesse e collegate ad internet, seguendo iniziative analoghe avviate negli Stati Uniti, in Germania e in Francia.

Gli obiettivi formativi sono fortemente orientati a un approccio "learning by doing" e "learning by thinking" in cui aspetti nozionistici sono trasmessi non solo attraverso lezioni frontali ma anche attraverso attività pratiche di laboratorio e attività progettuali opportunamente congeniate per stimolare lo studente al ragionamento e alla sperimentazione supportata dalla riflessione.

La struttura grossolana del piano formativo è illustrata in Figura 1. Il piano si distingue rispetto ad altri corsi di Laurea della Scuola di Ingegneria per un coinvolgimento significativo delle aziende, che aderiscono all'iniziativa attraverso l'accordo quadro firmato con Confindustria Emilia, in vari momenti della formazione e per un'enfasi particolare all'attività di tirocinio preparatorio alla tesi finale. 33 CFU, cor-

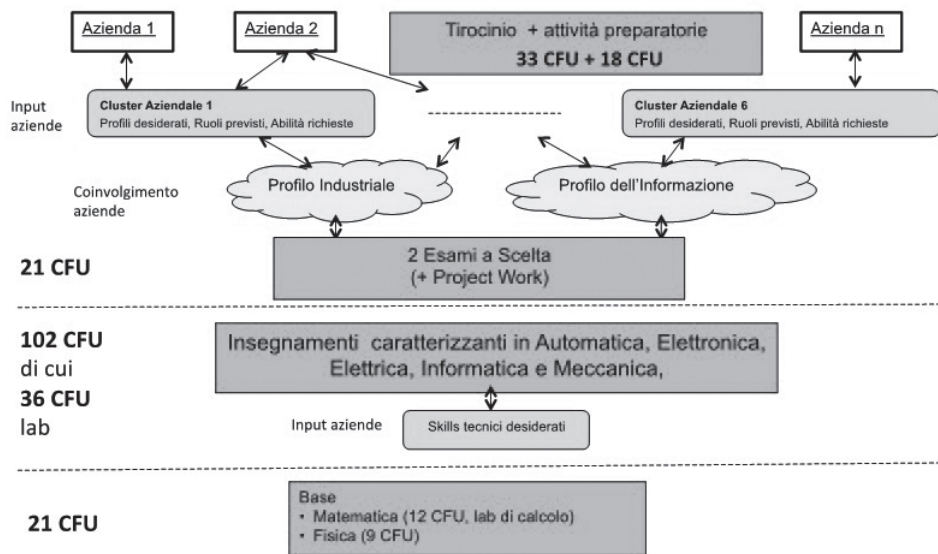


Figura 1. Struttura di alto livello Laurea in Ingegneria Meccatronica.

rispondenti a circa 850 ore di impegno, sono infatti riservati all'attività di tirocinio. Inoltre il piano si caratterizza per una rilevanza particolare attribuita all'attività laboratoriale in relazione ai CFU caratterizzanti serviti in aula. In particolare come circa il 50% delle attività prevedano una didattica non "frontale" e fortemente orientata al "saper fare" e ad attività legate alle realtà aziendali coinvolte. La grande enfasi attribuita ad aspetti professionalizzanti va a discapito delle materie di base, quali l'analisi matematica e la fisica, a cui sono dedicati solo 21 CFU.

L'eterogeneità delle aziende presenti, con aspettative diverse in termini di competenze tecniche richieste, ha reso necessario la creazione di due profili professionali: uno di impronta più industriale e l'altro più dell'informazione. Il primo profilo presenta una caratterizzazione più meccanica ed è concretamente legato alle realtà industriali di macchine automatiche presenti nel pool di aziende a sostegno dell'iniziativa. Il secondo profilo ha viceversa una maggiore enfasi verso aspetti ICT e di programmazione a sostegno delle realtà industriali a componente meccatronica più focalizzata su prodotti non necessariamente in relazione a macchine automatiche.

### 3.9. IL CORSO DI INGEGNERIA DELL'AUTOMAZIONE NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Lorenzo Marconi*

Il Corso di Laurea in Ingegneria dell'Automazione fu attivato presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna nell'anno accademico 2001/02, colmando una lacuna presente fino ad allora ritenuta significativa in una realtà territoriale ad elevatissima connotazione di industria dell'automazione.

In questo breve contributo si descriverà come – prima dell'A.A. 2001/02 – l'automazione sia stata impartita sotto forma di percorso all'interno di Lauree dell'Area dell'Ingegneria dell'Informazione, per poi considerare la sua evoluzione verso l'istituzione di un Corso di Studio specifico.

#### L'insegnamento dell'Automazione prima del 2001/02

Negli anni precedenti l'istituzione del Corso di Studio, l'Ingegneria dell'automazione era presente come percorso all'interno dei Corsi di Studi in Ingegneria Elettronica, Ingegneria Informatica e Ingegneria Meccanica. La Tabella 1 e la Tabella 2 riportano il piano formativo degli orientamenti denominati "Automatica e sistemi di Automazione Industriale" (Corso di Studio in Ingegneria Informatica) e "Controlli Automatici" (Corso di Studio in Ingegneria Elettronica).

L'orientamento consisteva in un gruppo di esami di approfondimento della disciplina dei controlli automatici e di alcuni aspetti tecnologici strettamente correlati, principalmente confinati all'ultimo anno del percorso formativo.

*Tabella 1. Orientamento Automatica e sistemi di automazione industriale – CdS Ingegneria informatica antecedente A.A. 2001/02.*

<b>Indirizzo Piano di Studi in Ingegneria Informatica</b>				
Automatica e sistemi di automazione industriale				
IV			4126	Controllo dei processi
			8073	Meccanica applicata alle macchine
V	3695	Controlli automatici II		Insegnamento a scelta (*)
	12969	Ingegneria e tecnologie dei sistemi di controllo		Insegnamento a scelta
(*) Almeno uno tra i seguenti:				
	3027	Elettronica Industriale	10411	Automazione Industriale
			11146	Robotica Industriale

Altri insegnamenti a scelta				
	10413	Sensori e trasduttori	10384	Calcolatori Elettronici II
	11145	Reti di calcolatori	7158	Intelligenza artificiale
		Identificazione dei modelli ed analisi dei dati	10386	Modellistica dei sistemi elettromeccanici
			10416	Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici
			13477	Ottimizzazione combinatoria

*Tabella 2. Orientamento Controlli Automatici – CdS Ingegneria Elettronica antecedente A.A. 2001/02.*

Indirizzo Piano di Studi in Ingegneria Elettronica				
Orientamento Controlli Automatici				
V	2037	Elettronica Industriale	4126	Controllo dei processi
	12969	Ingegneria e tecnologie dei sistemi di controllo	11146	Robotica Industriale
				Insegnamento a scelta

## La nascita del Corso di Laurea in Ingegneria dell'Automazione

Il Corso di Laurea in Ingegneria dell'Automazione vide la sua prima attivazione nell'Anno Accademico 2001/02, a seguito della riforma dell'architettura degli studi universitari attuata dal D.M. 509/1999, che introdusse il sistema dei crediti formativi (come strumento sia per misurare la quantità di apprendimento richiesto allo studente, sia per assicurare la mobilità degli iscritti tra i diversi percorsi formativi all'interno del sistema universitario italiano ed europeo) e l'articolazione dei Corsi di Studio su due livelli (Laurea: 3 anni; Laurea Specialistica: 2 anni).

Il documento di progettazione fu redatto da docenti afferenti ai tre Dipartimenti DEIS (Dip. di Ingegneria Elettronica, Informatica e Sistemistica), DIEM (Dip. di Ingegneria delle Costruzioni Meccaniche, Nucleari, Aeronautiche e di Metallurgia), DIE (Dip. di Ingegneria Elettrica) della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, Dipartimenti ai quali afferivano docenti dei gruppi caratterizzanti il Corso di Laurea (ING-INF/04, ING-IND/13, ING-IND/32) ed altri gruppi affini.

Ne furono proponenti i professori: Claudio Bonivento, Gloria Capitani, Domenico Casadei, Eugenio Faldella, Fabio Filicori, Claudio Melchiorri, Umberto Meneghetti, Vincenzo Parenti Castelli, Ugo Reggiani, Giovanni Serra, Alberto Tonielli, Gabriele Vassura.

Il nuovo Corso di Laurea fu subito caratterizzato da un'accentuata multi-disciplinarietà, avente l'obiettivo di formare delle figure professionali complete nell'ambito dell'automazione industriale, con una visione meno settoriale di quanto fino

ad allora strutturato dagli indirizzi dei Corsi di Laurea in Ingegneria Informatica, Elettronica e Meccanica.

Il Corso di Studi, inizialmente pensato per essere multi-classe nell'ambito della Classe L-8 (Ingegneria dell'Informazione) e della Classe L-9 (Ingegneria Industriale), venne poi attivato nell'unica Classe L-8, anche se mantenne nella sostanza una forte caratteristica multi-disciplinare. In particolare, il Corso si caratterizzò con due indirizzi distinti denominati "Indirizzo Sistemi di Elaborazione e Controllo" (SEC) e "Indirizzo Industriale" (IND), pensati proprio in virtù della progettazione multi-classe:

- L'indirizzo SEC mirava a formare una figura professionale di un tecnico specificatamente esperto nella progettazione, gestione e realizzazione di sistemi di acquisizione, elaborazione e controllo in tempo reale che, come noto, costituiscono una parte imprescindibile e di primaria importanza nei moderni sistemi di automazione basati su calcolatore. Tale indirizzo era decisamente polarizzato su aspetti di Ingegneria dell'Informazione.

- L'indirizzo IND mirava invece alla formazione di tecnici in possesso di conoscenze interdisciplinari nei settori della Meccanica, dell'Elettrotecnica e dell'Automatica e che consentisse loro di concepire, progettare, realizzare e mettere in servizio sistemi di automazione complessi riducendo all'essenziale l'intervento diretto dell'operatore umano. Tale indirizzo era invece caratterizzato da insegnamento più legati ad aspetti di Ingegneria Industriale.

A questi due indirizzi corrisposero due profili che, pur avendo una solida base interdisciplinare comune, si articolavano in due figure professionali distinte, commisurate alle esigenze di parti rilevanti del mondo produttivo e dei servizi. La distinzione tra due indirizzi è andata persa in occasione della riorganizzazione degli insegnamenti da tre a due cicli che ha coinvolto tutti i corsi di studi della ex Facoltà di Ingegneria.

La Tabella 3 e la Tabella 4 riportano il piano didattico dei due indirizzi, così come inizialmente proposto.

Contestualmente all'attivazione della Laurea, e come suo naturale proseguimento, il gruppo proponente definì l'istituzione della Laurea Specialistica in Ingegneria dell'Automazione, che prese il via nell'A.A. 2005/06. La Tabella 5 mostra il manifesto del primo anno di attivazione.

## La spinta all'internazionalizzazione

Il Corso di Studio in Ingegneria dell'Automazione ha avuto una notevole spinta all'internazionalizzazione a partire dal 2008, anno in cui fu stato siglato l'Accordo con la Tongji University di Shanghai per l'istituzione di un doppio titolo di laurea triennale all'interno del Progetto denominato AlmaTong.

Il programma, tutt'ora attivo, fu supportato da un'iniziativa congiunta tra l'allora Ministero della Ricerca e dell'Istruzione italiano e il Ministero dell'Educazione della Repubblica Cinese.



Tabella 3. Il piano didattico del Corso di Studio in Ingegneria dell'Automazione – Indirizzo SEC.

**Corso di Laurea in Ingegneria dell'Automazione**  
**Curriculum "Sistemi di Elaborazione e Controllo"**

**PIANO DIDATTICO**

	I ciclo			II ciclo			III ciclo		
I anno	Analisi matematica L-A	6	A	Analisi matematica L-B	6	A	Elettrotecnica L-A	6	C
	Geometria e Algebra L-A	6	A	Fisica generale L-A	6	A	Fisica generale L-B	6	A
	Fondamenti di Informatica L-A	6	A	Fondamenti di Informatica L-B	6	A	Meccanica Razionale L-A	6	C
II anno	Fondamenti di Meccanica L-A	6	B						
	Fondamenti di Automatica L-A	6	B	Controlli Automatici L-A	6	B	Controlli Automatici L-B	6	B
	Calcolatori elettronici L-A	6	C	Sistemi Operativi L-A	6	B	Elettronica applicata L-A	5	B
III anno	Modellistica e simulazioni L-A	6	B	Fondamenti di Elettronica L-A	6	B	Reti di telecomunicazioni L-A	6	C
	Azionamenti elettrici L-A	6	B	Economia e Org. aziendale L-A	6	C	vedi nota 1	9 (6)	F
	Ingegneria e tecnologie dei sistemi di controllo L-A	5	B	Robotica industriale L-A	6	B	Complementi di informatica L-A	5	B
	Elettronica industriale L-A	6	B	a scelta	5	D	Sistemi di produzione Automatizzati L-A	5	C
	a scelta	5	D						

**Note:**

1. Tipologia F: Tirocinio (9 crediti, III ciclo) oppure Meccatronica L-A o Ingegneria del controllo L-A o Laboratorio di Creazione di Impresa L-A (6 crediti, III ciclo) + Laboratorio di Analisi numerica L-A o Laboratorio di Automazione L-A (3 crediti, I ciclo).
2. Tipologia E: non sono indicate le attività di Lingua inglese L-A (3 crediti, I anno) e Prova finale (6 crediti, III anno).
3. Tipologia D: 10 crediti a scelta libera dello studente. Si suggerisce la scelta dei moduli sotto elencati (5 crediti ciascuno).

	Modulo a scelta	Automazione industriale L-A	5	D
	Modulo a scelta	Controlli automatici L-C	5	D

Tabella 4. Il piano didattico del Corso di Studio in Ingegneria dell'Automazione – Indirizzo IND.

**Corso di Laurea in Ingegneria dell'Automazione**  
**Curriculum "Industriale"**

**PIANO DIDATTICO**

	I ciclo			II ciclo			III ciclo		
I anno	Analisi matematica L-A	6	A	Analisi matematica L-B	6	A	Elettrotecnica L-A	6	C
	Geometria e Algebra L-A	6	A	Fisica generale L-A	6	A	Fisica generale L-B	6	A
	Fondamenti di Informatica L-A	6	A	Fondamenti di Informatica L-B	6	A	Meccanica Razionale L-A	6	C
II anno	Fondamenti di Meccanica L-A	6	B						
	Fondamenti di Automatica L-A	6	B	Controlli Automatici L-A	6	B	Controlli Automatici L-B	6	B
	Calcolatori elettronici L-A	6	C	Modellistica dei sistemi meccanici L-A	6	B	Modellistica dei sistemi elettromeccanici L-A	5	B
III anno	Meccanica Tecnica L-A	6	B	Fondamenti di Elettronica L-A	6	B	Modellistica dei sistemi termici ed oleodinamici L-A	6	C
	Azionamenti elettrici L-A	6	B	Economia e Org. aziendale L-A	6	C	vedi nota 1	9 (6)	F
	Ingegneria e tecnologie dei sistemi di controllo L-A	5	B	Robotica industriale L-A	6	B	Complementi di informatica L-A	5	B
	Macchine automatiche L-A	6	B	a scelta	5	D	Sistemi di produzione Automatizzati L-A	5	C
	a scelta	5	D						

**Note:**

1. Tipologia F: Tirocinio (9 crediti, III ciclo) oppure Meccatronica L-A o Ingegneria del controllo L-A o Laboratorio di Creazione di Impresa L-A (6 crediti, III ciclo) + Laboratorio di Analisi numerica L-A o Laboratorio di Automazione L-A (3 crediti, I ciclo).
2. Tipologia E: non sono indicate le attività di Lingua inglese L-A (3 crediti, I anno) e Prova finale (6 crediti, III anno).
3. Tipologia D: 10 crediti a scelta libera dello studente. Si suggerisce la scelta dei moduli sotto elencati (5 crediti ciascuno).

	Modulo a scelta	Disegno Tecnico Industriale L-A	5	D
	Modulo a scelta	Meccanismi per Macchine Automatiche L-A	5	D

Tabella 5. Manifesto primo anno Laurea Specialistica in Ingegneria dell'Automazione (0531) – A.A. 2005/06.

Insegnamento	SSD	CFU	Tipo	Ciclo
Compatibilità elettromagnetica LS	ING-IND/31	6	C	2
Controlli automatici LS	ING-INF/04	6	B	2
Dinamica delle macchine e dei robot LS	ING-IND/13	6	B	1
Matematica Applicata LS	MAT/07	6	A	2
Ricerca Operativa LS	MAT/09	6	A	1
Sistemi di controllo distribuito LS	ING-INF/04	6	B	3
Sistemi operativi LA	ING-INF/05	6	C	3
Tecnologie dei processi di produzione LS	ING-IND/16	6	C	3
Teoria dei sistemi LS	ING-INF/04	6	B	1

Nella sua impostazione si prevede annualmente l'emissione di un Bando concorsuale rivolto agli iscritti al I anno del CdL in Ingegneria dell'Automazione.

I vincitori sono tenuti a frequentare il secondo anno presso la Tongji University di Shanghai (unendosi ad una coorte di studenti cinese selezionato secondo criteri analoghi), ove seguono insegnamenti in lingua inglese concordati con l'università partner in modo da avere continuità con il percorso formativo seguito in Italia. Durante il terzo anno l'intera coorte (studenti italiani e cinesi) conclude il proprio percorso presso l'Università di Bologna, dove frequenta insegnamenti tenuti in lingua inglese appositamente attivati per il programma e consegue il titolo di studio italiano.

A fronte di un ulteriore breve periodo passato in Cina per lo svolgimento di un tirocinio pratico, agli studenti italiani viene riconosciuto il doppio titolo di Bachelor degree della Tongji University.

AlmaTong ha fin da subito riscosso un grande successo e circa venti studenti ogni anno partecipano al programma, parzialmente coperto da una borsa di studio.

L'attivazione di AlmaTong portò ad un'ulteriore spinta verso internazionalizzazione anche nel percorso svolto interamente a Bologna a livello di Laurea Magistrale. In particolare, nell'A.A. 2012/13 il percorso fu profondamente rinnovato, con la creazione di due curricula ("Sistemi per l'Automazione", erogato in lingua italiana, e "Automation Engineering", impartito in lingua inglese). La Tabella 6 e la Tabella 7 riportano gli esami obbligatori che caratterizzavano i due percorsi.

Una successiva trasformazione del percorso magistrale è quindi avvenuta nell'A.A. 2014/15 con lo spegnimento dei due curricula sopra detti e l'istituzione di un'unica laurea magistrale internazionale nella classe LM-25, interamente erogata in lingua inglese denominata "Automation Engineering". Tale riorganizzazione fu motivata dalla necessità di ottimizzare l'offerta formativa alla luce delle poche risorse di docenza disponibili e anche dalla spinta all'internazionalizzazione proveniente dalla Governance dell'Università di Bologna. L'organizzazione della nuova laurea

Tabella 6. Esami obbligatori del Curriculum "Sistemi per l'Automazione", Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Automazione A.A. 2013/14.

	Attività formativa	S.S.D.	CFU	Anno di corso
1	Controlli automatici e Teoria dei sistemi M	ING-INF/04	12	I
2	Meccanica delle macchine M	ING-IND/13	6	I
3	Robotica industriale M	ING-INF/04	6	I
4	Gestione dell'innovazione e dei progetti M	ING-IND/35	6	I
5	Matematica applicata M	MAT/07	6	I
6	Informatica Industriale M	ING-INF/05	9	I
7	Sistemi di controllo distribuito M	ING-INF/04	6	I
8	Meccanica dei robot M	ING-IND/13	6	II
8	Laboratorio di automazione M	ING-INF/04	9	II

Tabella 7. Esami obbligatori del Curriculum "Automation Engineering", Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Automazione A.A. 2013/14.

	Attività formativa	S.S.D.	CFU	Anno di corso
1	Automatic Control and System Theory M	ING-INF/04	12	I
2	Mechanics of Machines M	ING-IND/13	6	I
3	System Identification and Data Analysis M	ING-INF/04	6	I
4	Optimization Models and Algorithms M	MAT/09	6	I
5	Mathematical Methods M	MAT/07	6	I
6	Real Time Operating Systems M	ING-INF/05	9	I
7	Electric Drives for Automation M	ING-IND/32	6	I
8	Diagnosis and Control M	ING-INF/04	9	II
9	Power Electronic Circuits M	ING-IND/32	6	I/II

non ha previsto la suddivisione in curricula, ma piuttosto la possibilità da parte dello studente di personalizzare la propria preparazione attraverso scelte guidate di insegnamenti specifici. In particolare sono stati individuati tre percorsi denominati "Automatic Machines", "Soft Control" e "Hw for Automation", che orientano lo studente verso tre diverse professionalità individuate all'interno della disciplina dell'automazione.

La Tabella 8 mostra il piano didattico della Laurea Magistrale internazionale nell'anno della sua istituzione, con evidenziazione dei tre percorsi detti.

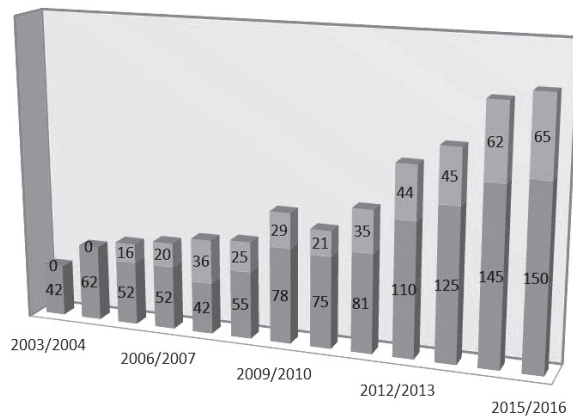
Il piano didattico prevede anche l'insegnamento "Topic Highlight", assegnato ad un docente straniero di chiara fama invitato dal Corso di Studi a tenere delle lezioni (per un totale di 3CFU) su un argomento deciso "dinamicamente" anno per anno sulla base di trend di ricerca internazionale.

Tabella 8. La struttura didattica della laurea magistrale internazionale in “Automation Engineering” nell’A.A. 2014/15 di attivazione. Evidenziati i corsi a scelta che caratterizzano i tre percorsi suggeriti.

Track 1 - Automatic Machines						
1 year	I Semester			II Semester		
	Course	Type	Credits	Course	Type	Credits
	Matemathematical Methods for Automation Engineering M	C	6	Industrial Robotics M	B	6
	System Theory and Advanced Control M - System Theory M (CI)	B	6	System Theory and Advanced Control M - Advanced Control Systems M (CI)	B	6
	Real Time Systems for Automation M - I Mod	C	6	Real Time Systems for Automation M - II Mod	C	6
	Mechanics of Machines for Automation M - Mech of Machs for Aut M 1 (CI)	B	6	Mechanics of Machines for Automation M - Mech of Machs for Aut M 2 (CI)	B	6
	Image Processing and Computer Vision M	C	6	Discrete Time Systems Identification and Control M	B	6
	TOT		30	TOT		30
2 year	Diagnosis and Control M	B	6	Principi e Metodi della Progettazione Macchine Automatiche M	C	6
	Distributed Control Systems M	B	6			
	Automation Sw and Design Patterns M	C	6	Lab of Business Plan	F	3
	Mechatronics Systems Modeling and Control M	B	9	Topics Highlight	F	3
	TOT		27	TOT		12
	Tesis					21
	TOT					120
Track 2 - Soft Control						
1 year	I Semester			II Semester		
	Course	Type	Credits	Course	Type	Credits
	Matemathematical Methods for Automation Engineering M	C	6	Industrial Robotics M	B	6
	System Theory and Advanced Control M - System Theory M (CI)	B	6	System Theory and Advanced Control M - Advanced Control Systems M (CI)	B	6
	Real Time Systems for Automation M - I Mod	C	6	Real Time Systems for Automation M - II Mod	C	6
	Mechanics of Machines for Automation M - Mech of Machs for Aut M 1 (CI)	B	6	Mechanics of Machines for Automation M - Mech of Machs for Aut M 2 (CI)	B	6
	Image Processing and Computer Vision M	C	6	Discrete Time Systems: Identification and Control M	B	6
	TOT		30	TOT		30
2 year	Diagnosis and Control M	B	6	Mechatronics Systems Modeling and Control M - Part II	B	3
	Distributed Control Systems M	B	6	Hw/Sw Design of Embedded Systems M	B	6
	Optimization Models and Algorithms M	C	6	Lab of Business Plan	F	3
	Mechatronics Systems Modeling and Control M - Part I	B	6	Topics Highlight	F	3
	TOT		24	TOT		15
	Tesis					21
	TOT					120
Track 3 - Hw for Automation						
1 year	I Semester			II Semester		
	Course	Type	Credits	Course	Type	Credits
	Matemathematical Methods for Automation Engineering M	C	6	Industrial Robotics M	B	6
	System Theory and Advanced Control M - System Theory M (CI)	B	6	System Theory and Advanced Control M - Advanced Control Systems M (CI)	B	6
	Real Time Systems for Automation M - I Mod	C	6	Real Time Systems for Automation M - II Mod	C	6
	Mechanics of Machines for Automation M - Mech of Machs for Aut M 1 (CI)	B	6	Mechanics of Machines for Automation M - Mech of Machs for Aut M 2 (CI)	B	6
	Image Processing and Computer Vision M	B	6	Discrete Time Systems: Identification and Control M	B	6
	TOT		30	TOT		30
2 year	Power Electronic Circuits	B	6	Electric Drives for Automation	C	6
	Sensori e trasduttori M	C	6	Hw/Sw Design of Embedded Systems M	C	6
	Mechatronics Systems Modeling and Control M - Part I	B	6	Mechatronics Systems Modeling and Control M - Part II	B	3
				Lab of Business Plan	F	3
				Topics Highlight	F	3
	TOT		18	TOT		21
	Tesis					21
	TOT					120

## I numeri di Ingegneria dell’Automazione dalla sua attivazione

Fin dalla sua prima attivazione, nell’A.A. 2001/02, il Corso di Studi ha avuto una popolarità crescente, attestata da un numero di iscritti in costante crescita. La Figura 1 mostra l’andamento degli iscritti dal 2003/04: da essa si evince un trend che ha portato a saturare il numero programmato per la laurea triennale (fissato a 150 studenti/anno) nell’A.A. 2015/16. Il crescente numero di richieste da parte degli studenti e l’aumento delle richieste da parte del tessuto industriale della regione di profili ingegneristici affini a quelli di Ingegneria dell’Automazione, ha portato alla scelta, non priva di difficoltà, di aumentare il numero programmato al valore di 200 studenti/anno nell’A.A. 2018/19.



*Figura 1. Andamento iscritti alla Laurea Triennale e Magistrale in Ingegneria dell'Automazione.*

Anche a livello di Laurea Magistrale i numeri mostrano una popolarità significativa da parte del CdS. Nell'A.A. 2017/18 la LM in “Automation Engineering” ha raggiunto la cifra record di 98 immatricolati, valore che ha imposto un incremento anche del numero di docenti a sostegno del Corso di studio, come stabilito dai dettami ministeriali.

I Rapporti annuali di Riesame – che rappresentano un efficace strumento di monitoraggio ed analisi dei punti di forza e di attenzione del Corso di Studio – mostrano, inoltre, come l’attrattività dei laureati in Ingegneria dell’Automazione sia assestata su valori molto alti, con una situazione occupazionale dei laureati magistrali decisamente positiva. Dai dati statistici<sup>1</sup> del Riesame eseguito nel 2017, per esempio, emerge come circa l’85% del totale degli intervistati dichiarò di avere trovato lavoro, a fronte solamente di un 3% che afferma di non lavorare e di cercare lavoro. Molto positivo anche il dato relativo all’efficacia della laurea nel lavoro svolto con l’83,3% degli intervistati, che dichiarano come la laurea conseguita sia risultata molto efficace.

<sup>1</sup> Fonte: indagine Almalaurea sulla condizione occupazionale dei laureati.

### **3.10. IL CORSO DI *ADVANCED AUTOMOTIVE ELECTRONIC ENGINEERING* NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

*Riccardo Rovatti*

Il Corso di Laurea magistrale internazionale in *Advanced Automotive Electronic Engineering* rappresenta una delle iniziative didattiche più recenti dell'Ateneo di Bologna. La prima edizione è stata attivata nell'anno accademico 2017/18, come Corso di Laurea magistrale internazionale e inter-ateneo, avente come sede amministrativa l'Università di Bologna, e come sedi consorziate l'Università di Modena e Reggio Emilia, l'Università di Parma e l'Università di Ferrara.

*Advanced Automotive Electronic Engineering* è promossa dalla stessa associazione MUNER (Motorvehicle University of Emilia-Romagna) che sponsorizza il corrispondente percorso di stampo meccanico denominato *Advanced Automotive Engineering* di cui anche si dà notizia in questo volume. Rimandiamo quindi a quel capitolo la descrizione dei passi che hanno portato all'individuazione della necessità di formazione in campo *automotive* in generale nonché alla concezione e formazione di MUNER.

#### **Il Corso di Laurea magistrale in *Advanced Automotive Electronic Engineering***

Attraverso le attività di consultazione svolte all'interno di MUNER fu effettuato un confronto sulla denominazione del corso, gli sbocchi occupazionali, i fabbisogni formativi e gli obiettivi formativi previsti, oltre a un'analisi del quadro generale delle attività formative nel loro complesso e in particolare a quelle che maggiormente avrebbero dovuto caratterizzare i Corsi sponsorizzati dall'associazione.

Da subito fu evidente che nell'ambito dei veicoli già allora progettati e costruiti, ma, in prospettiva, sempre di più nei veicoli del futuro, le componenti dedicate all'acquisizione, trasmissione e gestione dell'informazione sarebbero state un fattore determinante.

In parallelo a ciò, non fu però difficile evidenziare che le corrispondenti competenze ingegneristiche erano difficilmente reperibili anche nelle aziende più all'avanguardia la cui impostazione era tradizionalmente meccanica.

Da queste due considerazioni nacque quello che internamente venne creativamente denominato Corso di Studio in "Compumotive" per evidenziarne l'ambito metodologico (la "computazione" intesa come elaborazione di informazioni) e l'ambito applicativo (l'"automotive" appunto).

Il piano di studi concordato con le aziende associate in MUNER si è poi concretizzato in una Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica (classe LM-29) riconoscendo che proprio l'elettronica nella sua accezione moderna è sia il metodo fisico

più usato per l'elaborazione dell'informazione sia l'insieme di discipline che più facilmente si interfacciano con tutte le specializzazioni che si occupano degli aspetti specifici di acquisizione, trasmissione, memorizzazione, elaborazione, traduzione in strategie di controllo, astrazione di informazione da dati e segnali, ecc.

Il CdS in *Advanced Automotive Electronic Engineering* entrò quindi a far parte dell'offerta MUNER sin dall'inizio, affiancandosi in modo del tutto complementare ai 5 indirizzi a caratterizzazione meccanica. La sede amministrativa del corso è l'Università di Bologna. Contribuiscono però alla didattica anche gli altri tre Atenei consorziati in MUNER offrendo così un ventaglio di competenze e attrezzature unico tra i corsi di laurea dell'Emilia-Romagna e, probabilmente, anche a livello nazionale.

I contenuti erogati sono quelli necessari a formare ingegneri in grado di affrontare la versione automobilistica della tendenza globale a fornire ad oggetti di ogni tipo la capacità di procurarsi autonomamente ed elaborare informazioni, in modo da migliorarne funzionalità, prestazioni e sicurezza. Le parole chiave che identificano questa tendenza sono Internet-of-Things, Big-Data e ovviamente Artificial Intelligence.

*Advanced Automotive Electronic Engineering* si propone quindi di formare tecnici di alto livello che siano in grado di comprendere e sviluppare le tecnologie dell'informazione nella loro declinazione veicolistica mantenendo nel contempo uno stretto contatto con le componenti meccaniche. Si tratta di una competenza già importante che diventerà indispensabile in tutte le aziende del settore automotive nel futuro perché le stime più accreditate indicano che nel 2030 (quindi quando arriveranno sul mondo del lavoro le generazioni di ingegneri che cominciano in questi anni la loro formazione) più di metà del costo di costruzione di un'automobile sarà dovuto a componenti che gestiscono informazione.

Per questa ragione, gli studenti di *Advanced Automotive Electronic Engineering* seguono un percorso di studi articolato in due anni il primo dei quali, che si tiene a Bologna, dedicato a fornire loro gli strumenti concettuali necessari per comprendere e progettare la classica catena di elaborazione dell'informazione: dal sensore che la acquisisce e la rende compatibile con il mondo digitale, agli apparati che la trasportano, memorizzano ed elaborano, agli schemi che la utilizzano per controllare il veicolo, per garantirne la sicurezza e migliorarne le prestazioni. Si comincia quindi a delineare il profilo sistemistico del veicolo come entità "cosciente" dell'ambiente che lo circonda (tramite telecamere, RADAR, LIDAR, sensori ad ultrasuoni, ecc.) in continuo contatto con gli altri veicoli e con le infrastrutture (telecomunicazioni tra mobili e tra mobili e infrastrutture come le future *smart-roads* e *smart-cities*), in grado di estrarre conoscenza significativa dai segnali dei sensori e di fonderla con la conoscenza accumulata in sistemi di tipo *cloud* per pianificare percorsi e ottimizzare prestazioni ma anche per anticipare possibili malfunzionamenti tramite la cosiddetta manutenzione predittiva. Durante il primo anno sono organizzate visite e laboratori presso le aziende consorziate in MUNER in modo da far avvicinare gli studenti alle realtà produttive di punta rappresentate in Emilia-Romagna.

Come per tutti i percorsi MUNER, il secondo anno di *Advanced Automotive Electronic Engineering*, che si tiene a Modena, termina con una intensa esperienza di

tirocinio in una delle aziende consorziate ma si prende ancora il tempo necessario per approfondire temi come la scrittura di software che soddisfi i rigidissimi standard industriali *automotive*, l'introduzione all'intelligenza artificiale e ai metodi del *machine learning* che rendono la vettura intelligente nell'assistere o anche sostituire il guidatore, i problemi di sicurezza informatica che è necessario risolvere per poter licenziare come sicuro un sistema nel quale la componente di elaborazione di informazioni e connettività con l'esterno è estremamente importante.

Il Corso di Laurea è a numero chiuso, prevede di riservare 8 posti a studenti provenienti dall'esterno della Comunità Europea e offre 22 posti ai cittadini Europei. La selezione avviene per meriti e non tutti i posti debbono venir assegnati anche in presenza di un numero di domande sufficienti a saturarli.

## Conclusioni

Nonostante il Corso di Laurea magistrale in *Advanced Automotive Electronic Engineering* sia solo alla seconda edizione, l'iniziativa ha suscitato particolare interesse nel panorama universitario e industriale, e si sta affermando come un elemento di richiamo per studenti italiani ed internazionali. Il numero e la qualità delle domande di ammissione (così come quello degli ammessi sia di provenienza non Europea che di provenienza Europea) è cresciuto notevolmente dalla prima alla seconda edizione, facendo di *Advanced Automotive Electronic Engineering* il percorso MUNER numericamente più attrattivo.



### 3.11. IL CORSO DI *ADVANCED AUTOMOTIVE ENGINEERING* NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Nicolò Cavina*

Il Corso di Laurea magistrale internazionale in *Advanced Automotive Engineering* rappresenta una delle iniziative didattiche più recenti dell'Ateneo di Bologna. La prima edizione è stata attivata nell'anno accademico 2017/18, come Corso di Laurea magistrale internazionale e inter-ateneo, avente come sede amministrativa l'Università di Modena, e come sedi consorziate l'Università di Bologna, l'Università di Parma e l'Università di Ferrara.

In questo breve contributo verrà inizialmente descritta la genesi del Corso di Studio in *Advanced Automotive Engineering* a partire dalla costituzione dell'associazione MUNER (Motorvehicle University of Emilia-Romagna). Successivamente si analizzerà la progettazione e la struttura del Corso di Studio e l'andamento delle prime edizioni.

#### **La didattica in ambito *automotive* presso l'Ateneo di Bologna**

##### ***Fino al 2017***

Prima del 2014 le discipline ingegneristiche legate all'*automotive* costituivano un importante elemento dei Corsi di Laurea magistrale in Ingegneria Meccanica, Energetica e Gestionale, ma non erano formalmente presenti nell'offerta didattica dell'Ateneo di Bologna come Corsi di Laurea e/o Indirizzi. Tuttavia, già dagli anni Ottanta presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, diversi gruppi di docenti erano attivi nella ricerca in collaborazioni con i più importanti gruppi industriali in ambito *automotive*, forti anche di un territorio particolarmente competitivo in questo settore. Le attività che in quel periodo si svolgevano nella Facoltà di Ingegneria furono principalmente stimulate da contatti personali tra i docenti e i referenti tecnico-scientifici di tali realtà (Ferrari, Ducati, Lamborghini, Magneti Marelli...). Diversi gruppi di ricerca erano attivi in collaborazioni e contratti di ricerca, e nell'ambito del Corso di Studio di Ingegneria meccanica si insegnavano alcune discipline strettamente legate al settore *automotive*, ad esempio relative ai motori a combustione interna, o alla meccanica del veicolo.

Nel 2013, anche a seguito dell'acquisizione di Ducati da parte del gruppo Audi avvenuta nel 2012, si realizzarono una serie di incontri tra l'Università di Bologna e Ducati stessa, volti a individuare possibili soluzioni per potenziare l'offerta didattica in ambito *automotive*, con particolare riferimento ai veicoli a due ruote. Nel 2014 fu dapprima firmato un accordo quadro tra Ducati e Università di Bologna, e a seguire un accordo attuativo con il quale si istituiva, all'interno della Laurea magistrale in

Ingegneria Meccanica, un indirizzo in “Ingegneria del Motoveicolo”, che si affiancava agli indirizzi già esistenti (“Meccanica Funzionale e Automazione”, “Macchine a Fluido”, “Impianti Industriali” e “Progettazione Meccanica e Modellazione”), vedi Tabella 1. Una delle novità di tale offerta formativa fu il diretto coinvolgimento di dipendenti della Ducati nella didattica, ed in particolare l’assegnazione al responsabile del reparto ricerca e sviluppo di un modulo didattico da 3 CFU nell’ambito dell’insegnamento “Ingegnierizzazione del motoveicolo M”.

Tabella 1. Piano didattico del Corso di Laurea magistrale in Ingegneria Meccanica nell’A.A. 2014/15 con indirizzo in Ingegneria del Motoveicolo.

<b>Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica – A.A. 2014/15</b>		
Attività formative comuni a tutti gli indirizzi		
Anno di corso	I Ciclo	II Ciclo
I	Controlli automatici M	Costruzione di macchine M
	Disegno di macchine M	Meccanica delle macchine M
	Idoneità linguistica B-2	Tecnologie speciali M
	Impianti industriali M	18 CFU a scelta
II	Prova finale	
<b>Piano di studi con indirizzo “Ingegneria del Motoveicolo”</b>		
Anno di corso	I Ciclo	II Ciclo
II	Macchine M	Meccanica delle vibrazioni M
	Motori a combustione interna e propulsori ibridi M	12 CFU a scelta tra laboratori e tirocinio
	Progettazione e dinamica del motoveicolo C.I.:	
	- Costruzione di macchine II M - Ingegnierizzazione del motoveicolo M	

Il successo del nuovo indirizzo, la sempre più stringente richiesta da parte dei gruppi industriali del territorio di formare ingegneri con specifiche competenze in ambito *automotive*, anche a causa della velocissima evoluzione tecnologica che interessava tale settore (mobilità sostenibile, veicoli connessi ed autonomi, elettrificazione...), hanno portato, negli anni successivi, ad allargare il confronto tra l’Università di Bologna e le principali imprese regionali del settore, coinvolgendo gli altri Atenei della regione, e la Regione Emilia-Romagna. Si è così costituita, il 14 aprile 2017, MUNER (Motorvehicle University of Emilia-Romagna, [www.motorvehicleuniversity.com](http://www.motorvehicleuniversity.com)), un’associazione finanziata con fondi regionali, con l’obiettivo di progettare e supportare nuove lauree magistrali internazionali in ambito *automotive*. A MUNER hanno aderito fin dalla costituzione le più importanti imprese del territorio di tale settore (Automobili Lamborghini, Dallara, Ducati, Ferrari, HaasF1Team, HPE COXA, Magneti Marelli, Maserati, Pagani, Scuderia Toro Rosso) e 4 Atenei della Regione Emilia-Romagna (Università di Bologna, Università di Modena e Reggio Emilia, Università di Ferrara e Università di Parma).

L'esito di tale percorso si concretizzò molto rapidamente portando all'attivazione, già nell'A.A. 2017/18, di due Corsi di Laurea magistrali internazionali e inter-ateneo a numero programmato: *Advanced Automotive Engineering* (AAE, classe LM33 - Ingegneria Meccanica) e *Advanced Automotive Electronic Engineering* (AAEE, classe LM29 - Ingegneria Elettronica). La prima iniziativa ha come sede amministrativa l'Università di Modena e Reggio Emilia, mentre la seconda ha come sede amministrativa l'Università di Bologna, ed entrambe prevedono insegnamenti esclusivamente in lingua inglese, e percorsi didattici in cui gli studenti si spostano da un Ateneo all'altro. La presente trattazione riguarda in particolare il primo di questi due corsi (*Advanced Automotive Engineering*), che nel prossimo paragrafo verrà presentato e analizzato nel dettaglio.

### **Il Corso di Laurea magistrale in Advanced Automotive Engineering**

Attraverso le attività di consultazione svolte all'interno di MUNER fu effettuato un confronto sulla denominazione del corso, gli sbocchi occupazionali, i fabbisogni formativi e gli obiettivi formativi previsti, oltre a un'analisi del quadro generale delle attività formative nel loro complesso e in particolare a quelle che maggiormente avrebbero dovuto caratterizzare il corso.

Il profilo professionale emerso fu quello di un professionista che, a partire da una conoscenza di base di tipo industriale e, almeno inizialmente, meccanica/meccatronica, fosse in grado, sulla base di una completa visione di insieme del sistema veicolo, di progettare, sviluppare e produrre i principali sotto-sistemi che compongono autoveicoli e motoveicoli stradali, con particolare riferimento al mercato di fascia premium e dei veicoli da competizione, e sviluppare e gestire i relativi processi tecnologici e produttivi.

Le principali funzioni in contesto di lavoro sono l'impostazione del veicolo, la progettazione e lo sviluppo dei principali sottosistemi e componenti relativi a: motopropulsione termica, ibrida ed elettrica, comprensiva delle soluzioni di immagazzinamento e conversione dell'energia, e relative problematiche di modellazione e controllo; architettura "fredda" di autoveicoli e motoveicoli stradali, sia in ambito industriale che di competizione; sistemi di produzione caratterizzati da aspetti tipici del nuovo panorama di industria 4.0 (robotica industriale, progettazione e gestione della *supply chain*, *big data* ecc.).

La multidisciplinarietà del profilo professionale è il suo principale punto di forza, sebbene, data la crescente complessità dei veicoli stradali di nuova generazione e la conseguente, progressiva specializzazione delle funzioni e delle mansioni che gli ingegneri del veicolo devono assumere all'interno delle imprese, siano stati definiti, in collaborazione con i partner industriali, cinque specifici profili professionali, descritti nel seguito:

1. *Advanced Automotive Engineer* esperto nell'architettura del veicolo stradale: si occupa di impostare e sviluppare il sistema veicolo, a partire dalla comprensione degli aspetti fondamentali, e di progettare tutti i principali gruppi e sottogruppi "freddi" di veicoli stradali ad alte prestazioni.

2. *Advanced Automotive Engineer* esperto nell'architettura del veicolo da competizione: si occupa di impostare il sistema veicolo, a partire dalla comprensione degli aspetti fondamentali, e di progettare tutti i principali gruppi e sottogruppi "freddi" di veicoli da competizione. Si differenzia dal precedente per una maggiore specializzazione in merito agli aspetti aerodinamici, all'impiego di materiali leggeri (Carbon Fiber Reinforced Materials), e per una spiccata capacità di eseguire attività di carattere sperimentale.

3. *Advanced Automotive Engineer* esperto nei sistemi motopropulsivi: si occupa di progettare e concorrere all'ingegnerizzazione dei sistemi di propulsione tradizionali e innovativi, con attenzione alla loro ottimizzazione, al controllo e alla soluzione delle problematiche ambientali e energetiche.

4. *Advanced Automotive Engineer* esperto in motoveicoli: si occupa della progettazione e dello sviluppo di motoveicoli ad alto contenuto tecnologico, sia di serie, sia dedicati alle competizioni. Affronta e gestisce aspetti tipici dell'ingegneria elettronica e della progettazione industriale, peculiari per il motoveicolo.

5. *Advanced Automotive Engineer* esperto in produzione: punta a formare ingegneri in grado di pianificare, sviluppare, controllare e gestire sistemi di produzione in ambito *automotive*. Le principali aree di conoscenza coperte dagli insegnamenti sono: l'ingegneria di processo, la progettazione di impianti e sistemi industriali, la gestione e l'ottimizzazione della produzione, le tecnologie e le soluzioni di automazione, le tecnologie digitali della fabbrica 4.0 e la gestione dei processi di controllo della qualità.

Oltre a tali competenze tecniche e ingegneristiche, si sviluppano spiccate competenze trasversali finalizzate alla precisa comunicazione dei contenuti tecnici, e alla pianificazione della gestione delle attività progettuali (*project working*), anche di carattere multidisciplinare.

Per realizzare gli obiettivi formativi sopra descritti, il Corso di Laurea magistrale in *Advanced Automotive Engineering* si è articolato in modo tale da garantire che lo studente, già in possesso di adeguate conoscenze di base proprie dell'Ingegneria Meccanica, abbia modo, durante la parte iniziale del percorso di studi, di acquisire competenze approfondite nel campo dei Materiali e delle Tecnologie Innovative, della Motoristica, dei Sistemi Propulsivi Elettrici e Ibridi, dell'Aerodinamica, della Meccanica e della Dinamica del Veicolo, della Progettazione Strutturale dei motori e del telaio, e dei Sistemi di Produzione in ambito *automotive*. Successivamente lo studente completa la propria preparazione approfondendo in modo verticale discipline inerenti le Macchine Elettriche, l'Elettronica ed i Controlli, con lo scopo di fornire una preparazione all'avanguardia sulla propulsione elettrica/ibrida e sul controllo dei moderni veicoli ad alte prestazioni. Tali conoscenze sono accompagnate dall'apprendimento e dall'applicazione di strumenti di progettazione assistita dal calcolatore e di prototipazione virtuale in ambito strutturale (FEM), fluidodinamico (CFD) e progettuale (CAD), nonché dall'utilizzo di laboratori di ricerca e sperimentazione ad altissima specializzazione già condivisi con le aziende, e di laboratori industriali messi a disposizione direttamente dalle imprese coinvolte nel progetto didattico (Automobili

Lamborghini, Dallara, Ducati, Ferrari, HaasF1Team, HPE COXA, Magneti Marelli, Maserati, Pagani, Scuderia Toro Rosso). Grazie all'obbligo per gli studenti di svolgere tirocini formativi presso le imprese o presso laboratori di ricerca industriale, il percorso è strutturato in modo da permettere l'applicazione di un approccio didattico basato sul "learning by doing", ulteriormente valorizzato dalla possibilità di svolgere attività curriculare all'interno dei *team* Formula SAE da tempo attivi presso gli atenei convenzionati.

Il percorso formativo che è emerso come risultato della progettazione congiunta propone un periodo comune (il primo semestre del primo anno) per tutti gli studenti, organizzato in modo da fornire, all'interno di una prima area di apprendimento, le competenze di base per la comprensione dei fondamenti relativi alla progettazione di veicoli ad alte prestazioni: impostazione progettuale del *lay-out* del veicolo, processi produttivi per la costruzione e l'assemblaggio dei veicoli e dei singoli componenti, scelta e impiego dei materiali di principale interesse per il settore dei veicoli ad alte prestazioni, principali aspetti legati agli effetti di natura meccanica agenti su sistemi e componenti.

Successivamente il percorso di studio si articola in cinque indirizzi, al fine di specializzare, secondo le indicazioni fornite dalle parti interessate, il percorso di studio degli studenti garantendo, tuttavia, una visione d'insieme sul sistema veicolo. Gli indirizzi sono legati allo sviluppo delle seguenti aree di apprendimento specialistiche, e sono stati definiti per rispondere all'esigenza di formazione dei profili professionali emersi come più strategici dalla consultazione all'interno di MUNER, nell'ambito dell'ingegneria meccanica.

La prima area di apprendimento (i.e., il primo indirizzo o curriculum) si sviluppa sul tema legato al motopropulsore. Tale percorso ha il compito di fornire competenze, metodi e strumenti per lo studio, la progettazione ed il controllo dei sistemi propulsivi, sia endotermici che elettrici ed ibridi, con attenzione alla loro ottimizzazione, al controllo e alla soluzione delle problematiche ambientali e energetiche. Il percorso è successivamente declinato in modo da mettere in luce sia gli aspetti direttamente legati alla progettazione ed ottimizzazione dei motopropulsori, sia al controllo del sistema propulsivo.

Il secondo e terzo indirizzo hanno il compito di fornire competenze, metodi e strumenti per lo studio, la progettazione e la verifica sperimentale del sistema telaio e della architettura di veicoli ad alte prestazioni e di veicoli da competizione. Tale area è declinata in modo da coprire da una parte gli aspetti legati alla progettazione e produzione di sistemi per l'industria dei veicoli ad alte prestazioni (secondo indirizzo), dall'altra per sviluppare temi maggiormente legati all'impiego di materiali e soluzioni speciali per il settore delle competizioni (terzo indirizzo), considerando anche la natura fortemente sperimentale delle attività di sviluppo e l'attenzione agli aspetti aerodinamici e prestazionali in tale ambito.

Il quarto indirizzo è legato al settore del motoveicolo. Ha il compito di fornire competenze, metodi e strumenti per la progettazione, lo sviluppo e la verifica sperimentale sia del motore che della struttura/telaio di motoveicoli ad alto contenuto

tecnologico, sia di serie, sia dedicati alle competizioni. Combina quindi alcune delle attività formative descritte nelle aree precedenti, offrendo una visione applicata alle specificità del motoveicolo.

Il quinto e ultimo indirizzo specialistico riguarda lo specifico tema della produzione di veicoli ad alte prestazioni. In tale ambito vengono fornite competenze, metodi e strumenti per la pianificazione, lo sviluppo, il controllo e la gestione sistemi di produzione in ambito automotive. Le principali aree di conoscenza coperte dagli insegnamenti sono: l'ingegneria di processo, la progettazione di impianti e sistemi industriali, la gestione e l'ottimizzazione della produzione, le tecnologie e le soluzioni di automazione, le tecnologie digitali della fabbrica 4.0 e la gestione dei processi di controllo della qualità.

Tutte le aree di apprendimento specialistiche, declinate negli indirizzi di cui sopra, si concludono attraverso l'articolazione di un'area di apprendimento di sintesi, che prevede di fornire metodologie tecniche e strategie per l'applicazione sinergica delle competenze e degli strumenti appresi durante il percorso di studio, anche attraverso importanti esperienze da svolgersi nelle imprese della filiera veicolistica e nei più avanzati laboratori di ricerca universitari e industriali. In particolare si propongono esperienze pratiche legate alla realizzazione di un significativo lavoro progettuale o sperimentale che caratterizzi il lavoro di tesi finale. Tale area di apprendimento ha anche il compito di offrire allo studente una opportunità di verifica della propria capacità di autogestione e pianificazione all'interno di progetti di natura scientifica o industriale.

La Figura 1 riporta in modo schematico la struttura finale del Corso di Laurea magistrale in *Advanced Automotive Engineering* per gli A.A. 2017/18 e 2018/19, i primi due dalla sua istituzione. Gli studenti, al massimo 120, in sede di iscrizione possono esprimere preferenze per gli indirizzi a cui sono interessati, e sono ammessi al Corso di Laurea a seguito di una accurata valutazione dei loro meriti, e di un colloquio tecnico e motivazionale.

Dall'analisi della Figura 1 emergono in particolare i seguenti elementi:

1. Primo semestre del primo anno comune per tutti gli studenti, svolto presso l'Università di Modena e Reggio Emilia;
2. Dal secondo semestre del primo anno compreso in poi diramazione degli studenti in diversi indirizzi, su diverse sedi. In particolare:
  - a) Indirizzo "Advanced Powertrain" offerto sia presso la sede di Bologna sia presso la sede di Modena e Reggio Emilia (numero programmato massimo 50 posti);
  - b) Indirizzo "Racing Car Design" offerto presso le sedi di Modena (secondo semestre del primo anno) e Parma (secondo anno) (numero programmato massimo 25 posti);
  - c) Indirizzo "High Performance Car Design" offerto presso la sede di Modena (numero programmato massimo 25 posti);
  - d) Indirizzo "Advanced Motorcycle Engineering" offerto presso la sede di Bologna (numero programmato massimo 25 posti);
  - e) Indirizzo "Advanced Sportscar Manufacturing" offerto presso la sede di Bologna (numero programmato massimo 25 posti).

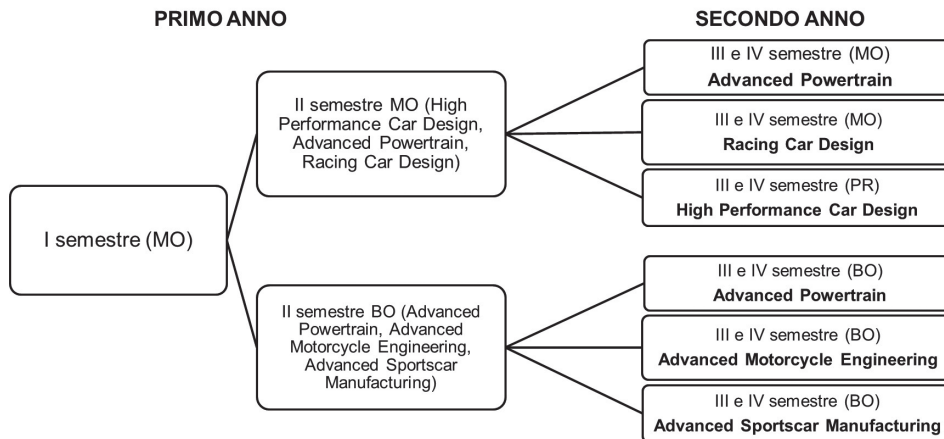


Figura 1. Struttura del Corso di Laurea magistrale internazionale e inter-ateneo in *Advanced Automotive Engineering*, A.A. 2017/18 e 2018/19.

Dall'analisi di Figura 1 si evince inoltre che gli insegnamenti del secondo semestre attivati presso la sede di Bologna sono comuni ai tre indirizzi, che si differenziano invece nei corsi del secondo anno. Per quanto riguarda infine il piano di studi degli indirizzi attivati presso l'Università di Bologna, la Figura 2 ne riporta una sintesi, con l'elenco degli insegnamenti suddivisi per anno di corso e indirizzo (in corsivo quelli erogati presso l'Università di Modena e Reggio Emilia).

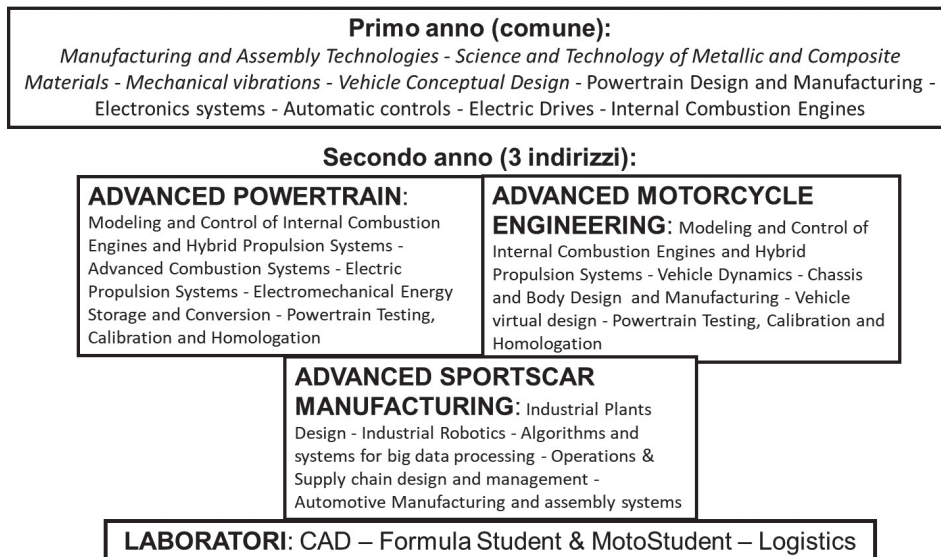


Figura 2. Sintesi del piano didattico del Corso di Laurea magistrale internazionale e inter-ateneo in *Advanced Automotive Engineering* relativo agli indirizzi offerti dall'Università di Bologna, A.A. 2017/18 e 2018/19.

## Conclusioni

Nonostante il Corso di Laurea magistrale in *Advanced Automotive Engineering* sia solo alla seconda edizione, l'iniziativa ha suscitato particolare interesse nel panorama universitario e industriale, e si sta affermando come un elemento di richiamo per studenti italiani ed internazionali. Il progetto si è dimostrato valido anche dal punto di vista della struttura e dei contenuti, ed ha consentito di attivare sinergie e collaborazioni tra gli Atenei e i partner industriali coinvolti in MUNER, che hanno ad esempio portato all'attivazione, nell'A.A. 2018/19, di un Corso di Dottorato in *Automotive for Intelligent Mobility*, anch'esso inter-ateneo (Bologna, Modena e Parma), con sede amministrativa presso l'Università di Bologna.



### 3.12. IL CORSO DI INGEGNERIA AEROSPAZIALE NELLA SEDE DI FORLÌ

*Fabrizio Giulietti, Paolo Tortora, Alessandro Talamelli, Enrico Troiani*

#### Introduzione

L'insegnamento dell'Ingegneria Aeronautica inizia nel 1937/38 con l'introduzione del corso di Costruzioni Aeronautiche nel Corso di Studi in Ingegneria Meccanica ed Ingegneria dei Trasporti presso la sede di Bologna. Nel 1947/48 risulta già attivo l'Istituto di Costruzioni Aeronautiche presso la Facoltà di Ingegneria, che eroga anche il corso di Aerodinamica. Nel 1989 l'Alma Mater, fino ad allora circoscritta all'interno del territorio bolognese, dà il via a un progetto di decentramento in Romagna che è anche il più importante mai sviluppato da un Ateneo italiano, ed in questo contesto fa nascere il Corso di Diploma (triennale) e successivamente la Laurea Quinquennale in Ingegneria Aerospaziale. Nel 1999/2000 l'Università di Bologna vara lo schema (detto di Bologna) basato su due livelli, attivando la Laurea Triennale e la Laurea Specialistica in Ingegneria Aerospaziale.

Contestualmente l'Università di Bologna ha riconosciuto particolari forme di autonomia alle sedi romagnole, costituendo inoltre il Polo Scientifico-Didattico di Forlì. Questo sviluppo fu allora – ed è tuttora – favorito da un contesto di tradizione aeronautica (il cosiddetto Polo Tecnologico Aeronautico di Forlì) che vede la presenza, accanto all'Università di Bologna ed a suoi laboratori all'avanguardia, di ENAV Academy, del primo Istituto Tecnico Aeronautico di Italia (ITAer “Francesco Baracca”), delle Scuole di Volo per piloti civili, senza dimenticare le ex-Officine Caproni di Predappio e le numerose altre realtà industriali e di ricerca legate all'area dell'Ingegneria Aerospaziale. Nell'ultimo decennio, il percorso di decentramento ha portato alla creazione di un nuovo modello di sviluppo universitario: la struttura Multicampus. Anche i Corsi di Studio hanno subito lievi modifiche: la Laurea Specialistica è stata sostituita dalla Laurea Magistrale, ed infine l'attuale assetto è stato raggiunto dall'A.A. 2013/14, con la Laurea di primo livello in Ingegneria Aerospaziale (erogata in Italiano - Codice 9234) e la Laurea Magistrale in *Aerospace Engineering* (erogata completamente in Inglese - Codice 8769).

#### La Scuola diretta a fini speciali

L'inizio della didattica strutturata in ambito aerospaziale, presso l'Università di Bologna, risale all'A.A. 1990/91 con l'avviamento della *Scuola diretta a fini speciali in Tecnologie Aeronautiche*. La Scuola, diretta dal professor Ettore Funaioli, aveva durata biennale (più un periodo di tirocinio di sei mesi), trovava nel contesto forlivese

un habitat particolarmente favorevole costituito dalla presenza dell'Istituto Tecnico Aeronautico (ITAer), dell'aeroporto Ridolfi e di una sede dell'Ente Nazionale Assistenza al Volo (ENAV), rappresentando il germoglio di quello che attualmente viene definito il Polo Tecnologico Aeronautico.

## Il Corso di Diploma Universitario

Il percorso iniziato con la Scuola in Tecnologie Aeronautiche prosegue con l'istituzione del *Corso di Diploma Universitario in Ingegneria Aerospaziale* (Legge 341/1990). Il corso, fortemente sostenuto dagli enti locali (il Comune di Forlì in primis) e dalle Associazioni Imprenditoriali, viene erogato dalla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna con il supporto di Ser.In.Ar, una società di servizi che facilita il decentramento universitario nella Provincia di Forlì-Cesena.

Le lezioni del Corso di Diploma si svolgono inizialmente in alcuni locali e aule dell'ITAer. Alla fine del 1994, dopo un notevole intervento di recupero e restauro della palazzina Ex-ACAG, il Corso di Diploma acquisisce la sua attuale sede di Via Fontanelle 40.

Gli studenti diplomati costituivano nuove figure professionali nel panorama aerospaziale, con competenze intermedie fra i diplomati di un Istituto Tecnico Aeronautico e i laureati in Ingegneria Aerospaziale. Nell'A.A. 1998/99 il *Corso di Diploma Universitario in Ingegneria Aerospaziale*, diretto dal professor Franco Persiani, aveva un accesso limitato a 60 studenti (più 8 posti riservati a studenti extra-comunitari), aveva una durata di tre anni, era articolato in 3 orientamenti (Qualità, Operazioni di Volo, Spazio e Telecomunicazioni) ed aveva l'obiettivo di creare figure tecniche per l'industria delle costruzioni aeronautiche – con particolare riferimento alla produzione e alla manutenzione – ma con competenze anche negli ambiti dell'aerodinamica, della meccanica del volo e dei sistemi di bordo. Il *Corso di Diploma* comprendeva 20 esami articolati in 30 moduli della durata di almeno 50 ore ciascuno (delle quali almeno 30 di lezioni in aula e almeno 20 di esercitazioni in aula e/o laboratorio).

## Il Corso di Laurea "Vecchio Ordinamento" in Ingegneria Aerospaziale

Nell'A.A. 1997/98 la Facoltà di Ingegneria, alla luce del crescente successo del *Corso di Diploma Universitario in Ingegneria Aerospaziale*, (e del Diploma "gemello" in Ingegneria Meccanica), avvia nella sede di Forlì la sperimentazione del *Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale* completando l'offerta didattica. Inoltre, nel 1999 la sede di via Fontanelle è stata completata con una moderna ala di circa 2000 mq, dall'avvincente architettura, destinata ad ospitare aule didattiche, servizi di segreteria e gli studi dei docenti, mentre le attività di laboratorio sono svolte nel grande Hangar situato ai limiti del sedime aeroportuale.

Il Piano degli studi del Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale, nell'A.A. 1999/2000, comprendeva 27 esami prevedeva gli stessi orientamenti del Corso di Diploma: Qualità, Operazioni di Volo e Spazio e Telecomunicazioni.

### **Dalla riforma del D.M. 509/1999 ad oggi**

Nell'A.A. 2001/02, viene attivato presso la sede forlivese il nuovo Ordinamento degli Studi Universitari previsto dalla legge di Riforma avviata dal ministro Berlinguer con il D.M. 509/1999 (comunemente conosciuto come il "3+2"). Con questa riforma i Corsi di Studio si allineano al modello di studi universitari europei, adottando il sistema dei "Crediti Formativi Universitari" (CFU), che rappresentano una sorta di 'unità di misura' dell'impegno richiesto tra lezioni frontali e studio individuale (il credito è costituito da 25 ore di impegno di cui 10 di lezioni frontali e 15 di studio individuale). Con il nuovo sistema i Corsi di Laurea, chiamati lauree di I livello, hanno una durata di tre anni e sono costituiti da 180 CFU e che hanno obiettivi formativi più generali. Successivamente, il laureato triennale può proseguire gli studi con i Corsi di Laurea Specialistica (120 CFU) – oggi chiamati Corsi di Laurea Magistrale – della durata di due anni (120 crediti), che hanno l'obiettivo di fornire una formazione più specifica.

A partire dall'A.A. 2001/02, sotto la presidenza del professor Gianni Bertoni, a Forlì viene attivato il *Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale*, e successivamente il *Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Aerospaziale*. Nel medesimo periodo è importante ricordare l'istituzione, nell'ottobre 2002, della "Seconda Facoltà di Ingegneria". Dopo un decennio e oltre di distacco dalla Facoltà di Ingegneria di Bologna le sedi di Ingegneria di Forlì e Cesena hanno la loro identità anche come Facoltà. Il primo Preside è stato il professor Franco Persiani e presso la sede di Forlì, sono insediati i Corsi di Studio in Ingegneria Aerospaziale e in Ingegneria Meccanica.

Nell'ultimo decennio, i *Corsi di Laurea* in Ingegneria Aerospaziale di I e II livello della sede di Forlì hanno subito diverse modifiche. Sicuramente la più importante è l'istituzione del Corso di Laurea Magistrale Internazionale *Aerospace Engineering*, interamente in lingua inglese e con l'inserimento di docenti provenienti da importanti università europee.

### **Il Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale**

Attualmente il Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale (D.M. 270 / 9234) prevede l'ingresso a numero programmato fissato a 120 studenti. Il Corso si pone l'obiettivo di formare figure professionali che conoscano gli aspetti metodologici e operativi sia della scienza di base, che della scienza dell'ingegneria industriale con particolare riguardo alle tematiche dell'aeronautica e spazio. La figura dell'ingegnere Aerospaziale è prevista dall'ISTAT (2.2.1.1.3) e possiede competenze specifiche rispetto agli altri laureati dell'ingegneria industriale. Il laureato,

in particolare, è in possesso di conoscenze idonee a svolgere attività professionali in diversi ambiti, anche concorrendo ad attività quali la progettazione, la produzione, la gestione ed organizzazione, l'assistenza delle strutture tecnico-commerciali, l'analisi del rischio, la gestione della sicurezza in fase di prevenzione ed emergenza, sia nella libera professione che nelle imprese aeronautiche o spaziali. La sua formazione riguarda figure professionali aventi funzioni di responsabilità nel campo della pianificazione dell'uso degli aeromobili, della condotta del volo, del controllo del traffico aereo, della gestione della flotta aerea anche dal punto di vista strettamente tecnico (manutenzione, aggiornamento del velivolo e dei suoi impianti, ecc.). Il laureato è in grado di acquisire conoscenze per permettere un loro agevole inserimento nelle aziende aeronautiche (o comunque a tecnologia avanzate) con responsabilità nella gestione del sistema di qualità, di sistemi di produzione, nel campo della manutenzione degli aeromobili. L'apprendimento fornisce inoltre conoscenza degli strumenti e delle procedure previste delle maggiori organizzazioni preposte alla aviazione civile con funzioni di sorveglianza tecnica, certificazione, navigazione e sicurezza. Dispone della conoscenza diretta di possibili ambiti professionali mediante la partecipazione alle attività di strutture esterne o interne all'Università, coerenti con gli obiettivi formativi del Corso di Studio, al fine di sviluppare le capacità di lavoro in gruppo, capacità relazionali, stimoli esterni a tematiche di interesse che possono essere utilizzate per l'elaborato finale.

Il piano didattico è articolato in tre ambiti formativi:

- Formazione scientifica di base. In questo ambito sono comprese la matematica e le scienze fisiche e chimiche di base, ma anche l'informatica, l'economia e la meccanica razionale. I relativi insegnamenti sono collocati nei primi due trimestri di didattica frontale, quindi all'interno del primo anno di corso.
- Ingegneria industriale di base. Questo blocco di corsi, collocato al secondo anno, fornisce la base di conoscenze comuni a tutti gli ingegneri industriali. Esso comprende in particolare il disegno tecnico, il comportamento meccanico dei materiali, la fluidodinamica, i controlli automatici e l'elettrotecnica ed elettronica.
- Ingegneria aerospaziale. Questo ultimo blocco di corsi, collocato fra il secondo ed il terzo anno, comprende il tradizionale insieme di conoscenze dell'ingegneria aerospaziale e ne costituisce il fondamento, anche in funzione di studi magistrali nello stesso ambito disciplinare. Esso include l'aerodinamica degli aeromobili, la meccanica del volo, le costruzioni aeronautiche e gli impianti aerospaziali, e la propulsione aerospaziale. Su tali basi si formano la competenza tecnica principale del laureato, la sua capacità di aggiornamenti nella vita lavorativa e la sua predisposizione alla prosecuzione degli studi.

### **Il Corso di Laurea Magistrale Internazionale *Aerospace Engineering***

Il Corso è interamente insegnato in inglese anche da docenti stranieri provenienti da prestigiose istituzioni europee. Il laureato magistrale acquisisce un livello di pre-

parazione e di specializzazione che gli consenta di ricoprire ruoli tecnici e tecnico-organizzativi in contesti lavorativi che richiedono la conoscenza degli aspetti metodologico-operativi delle scienze di base e dell'Ingegneria, con privilegio degli aspetti specifici dell'ambito dell'ingegneria aerospaziale, ma senza tralasciare gli aspetti generali dell'ingegneria industriale. Il laureato è in grado di applicare strumenti analitici, tecniche numeriche di simulazione e metodologie sperimentali di laboratorio. La figura professionale è in grado di produrre modelli fisico/matematici capaci di analizzare caratteristiche e prestazioni di aeromobili e di satelliti e la struttura dell'ambiente fisico in cui essi si muovono. Può inoltre occuparsi di studiare metodi avanzati per la gestione della circolazione aerea e di pianificazione di missioni satellitari mediante sistemi di elaborazione e trasmissione delle informazioni in ambiente aerospaziale.

Il raggiungimento di tali obiettivi è ottenuto attraverso un percorso didattico che prevede, a valle di una solida preparazione di base fisico-matematica completata nella Laurea Magistrale con alcuni corsi specifici, l'acquisizione di competenze di tipo professionale ed operativo in tutte le discipline caratterizzanti dell'Ingegneria Aerospaziale, ed in particolare l'aerodinamica, la meccanica del volo, le strutture e le costruzioni aerospaziali, la propulsione e i sistemi aerospaziali. Nel percorso didattico, attraverso un esame di preparazione alla tesi e alla tesi stessa, si dà un ampio spazio ad attività autonome dello studente rivolte allo svolgimento di attività di laboratorio che gli consentano di maturare una buona capacità di operare a livello di pianificazione, esecuzione e analisi di progetti anche di elevata complessità.

Gli ambiti professionali tipici per i laureati magistrali sono quelli dell'innovazione e dello sviluppo della produzione, della progettazione avanzata, della pianificazione e della programmazione, della gestione di sistemi complessi, sia nella libera professione sia nelle imprese manifatturiere o di servizi e nelle amministrazioni pubbliche. I laureati magistrali potranno trovare occupazione presso industrie aeronautiche e spaziali; enti pubblici e privati per la sperimentazione in campo aerospaziale; aziende di trasporto aereo; enti per la gestione del traffico aereo; aeronautica militare e settori aeronautica di altre armi; industrie per la produzione di macchine e impianti, dove sono rilevanti discipline come l'aerodinamica e le strutture leggere.

## La ricerca

A supporto e completamento delle attività didattiche, i vari gruppi di ricerca in ambito aerospaziale hanno sviluppato delle competenze di eccellenza a livello nazionale ed internazionale.

Per quanto riguarda il settore di Aerodinamica e Fluidodinamica, sono disponibili competenze per simulazioni numeriche avanzate ed analisi sperimentali in galleria del vento volte all'ottimizzazione di velivoli, veicoli stradali ed aerogeneratori; sono inoltre effettuati studio, modellazione e controllo della turbolenza di parete ad alti numeri di Reynolds (CICLoPE), micro e nano-fluidica e progettazione e assistenza alla realizzazione di gallerie del vento.

Nel settore della Propulsione sono disponibili attività sperimentali di misura ed ottimizzazione di motori a combustione interna, insieme allo sviluppo di modelli di simulazione per motori a razzo e ibridi.

Nel campo della Realtà Virtuale e Simulazione vengono utilizzati sistemi avanzati immersivi di visualizzazione, realtà aumentata e virtuale applicata al mondo aeronautico, industriale e ai beni culturali.

Il settore della Meccanica del Volo e Droni si occupa della modellazione, simulazione e controllo del volo atmosferico e spaziale, progettazione di velivoli pilotati da remoto ad ala fissa e rotante; sviluppo e prototipazione di sistemi avionici, oltre alla progettazione e realizzazione di velivoli automatici ad ala fissa e rotante.

Nel campo dei Microsatelliti e Sistemi Spaziali, sono disponibili competenze di progettazione, sviluppo e realizzazione di microsatelliti e relativi sottosistemi quali micropropulsione spaziale; non meno importanti sono le ricerche nel campo della radioscienza e le partecipazioni a missioni spaziali internazionali (NASA, ESA).

Infine, il settore delle Strutture e Materiali Aerospaziali si occupa dello sviluppo di metodologie analitiche di progettazione per fusoliere di velivoli da trasporto commerciale, dello sviluppo e test di materiali compositi avanzati e dell'ottimizzazione strutturale con tecniche di manifattura additiva.

## **La ricerca industriale e il Tecnopolo Aeronautico**

Nel 2010 nasce a Forlì il Centro Interdipartimentale per la Ricerca Industriale CIRI – Aeronautica. Il CIRI Aeronautica, si inserisce nell'ambito del progetto Tecnopoli attuato dalla Regione Emilia-Romagna, e sfrutta le sinergie tra le competenze presenti nei Dipartimenti dell'Università di Bologna per promuovere specifiche attività di ricerca industriale e trasferimento tecnologico per l'industria dell'alta tecnologia. È costituito da due Unità operative: 1) Meccanica e tecnologie applicate all'aeronautica, spazio e mobilità e 2) Fluidodinamica.

Nel 2018 il CIRI cambia la propria configurazione assumendo il nome di CIRI Aerospace e organizzandosi in due nuove Unità Operative: 1) Aeronautics, Aerodynamics and Propulsion e 2) Space Science and Technology.

Nel 2015, nella vicina Predappio, il CIRI e l'Università di Bologna inaugurano il CICLoPE (Centre for International Cooperation in Long Pipe Experiments), una moderna infrastruttura di ricerca realizzata presso le ex Gallerie Caproni. Al suo interno è stato installato il "Long Pipe", una galleria del vento lunga 130 metri e diametro di 90 cm, unica al mondo, specificatamente progettata e realizzata per lo studio della turbolenza ad alti numeri di Reynolds.

Nel febbraio 2016 nasce infine il Laboratorio di Tecnologie Aeronautiche e Spaziali nell'ambito del Tecnopolo Forlì-Cesena, finanziato dalla Regione Emilia-Romagna attraverso Fondi POR-FESR e dagli Enti Locali di Forlì-Cesena. Nel suo interno sono ospitate ulteriori unità di ricerca afferenti al CIRI Aerospace:

- Laboratorio di Radio Scienza ed Esplorazione Planetaria;

- Laboratorio di Microsatelliti e Microsistemi Spaziali;
- Laboratorio di Meccanica del Volo;
- Laboratorio di Prototipazione Rapida;
- Laboratorio di Termofluidodinamica.

## Conclusioni

L'insegnamento dell'Ingegneria Aerospaziale nella sede di Forlì ha una storia relativamente breve ma molto intensa ed importante, sia per gli importanti risultati ottenuti nella ricerca, innovazione e trasferimento tecnologico sia per le ricadute sul territorio romagnolo legate alla sinergia con gli altri attori presenti nel Polo Tecnologico Aeronautico.

L'Ingegneria Aerospaziale assume una prima sua identità con la "Scuola diretta a fini speciali in Tecnologie Aeronautiche", si consolida con il *Corso di Diploma Universitario* nell'A.A. 1992/93. Oggi ha un ruolo di primo piano nell'ambito scientifico-tecnologico dell'Università di Bologna, con circa 120 immatricolati all'anno al corso di Laurea e 50 immatricolati all'anno alla Laurea Magistrale Internazionale.

I dati (includere le opinioni degli studenti e dei laureati) confermano la validità delle scelte compiute in questi anni e raccontano un percorso di studi che ha saputo tenere il passo con l'evoluzione della tecnologia, della società e delle esigenze del territorio che lo ospita.

## Bibliografia

1. *Annuario dell'Università di Bologna.*
2. *Bollettino Ufficiale dell'Università di Bologna.*
3. *Guida dello Studente della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna.*
4. *Guida dello Studente della Seconda Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna.*

### 3.13. IL CORSO DI INGEGNERIA MECCANICA NELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Umberto Meneghetti*

#### **Sommario**

Il Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica fu istituito con questo nome nell'Università di Bologna nel 1960. In questa relazione si vuole dar conto soprattutto della trasformazione verificatasi nel passaggio dall'organizzazione biennio propedeutico più triennio di applicazione (“due più tre”) a quella – avvenuta nel 2001 – della Laurea di primo livello, eventualmente seguita dalla Laurea di secondo livello (“tre più due”).

Dopo una breve descrizione della situazione dell'Ingegneria Meccanica prima del 1960, si riporta l'ordinamento del Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica subito prima della riforma del 2001. Si riassumono poi i problemi relativi all'adozione della riforma stessa e i criteri adottati nella sua applicazione. Si riporta infine l'ordinamento dei due Corsi di Laurea, di primo e di secondo livello, nel primo anno di regime della riforma; alcune considerazioni conclusive chiudono l'esposizione.

#### **La Scuola d'applicazione**

La Scuola d'applicazione per ingegneri venne istituita a Bologna nel 1877, ma il primo anno era già stato attivato nel 1875, in sostituzione di un soppresso Corso pratico, cosicché nell'anno scolastico 1877/78 erano attivi tutti e tre gli anni di corso previsti.

La Scuola nasceva in attuazione del regolamento per le scuole di applicazione per ingegneri, emanato nel 1876, il quale introdusse la prassi del “due più tre”, cioè biennio propedeutico presso la Facoltà di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, seguito dal triennio nella Scuola di applicazione: prassi rimasta felicemente in vigore per centoventicinque anni, fino alla riforma “tre più due” del 2001.

Il suddetto regolamento stabiliva che le Scuole di applicazione avevano il fine di dare l'istruzione scientifica e tecnica necessaria per conseguire il Diploma d'ingegnere civile e quello di architetto: bisogna però tenere presente che allora il termine di Ingegneria civile differenziava questa essenzialmente dalla militare e dalla navale, per cui comprendeva anche, sia pure in sott'ordine, quella che ora chiamiamo Ingegneria industriale.

Nel triennio, le materie d'insegnamento di competenza strettamente meccanica erano solo due: Meccanica applicata alle macchine e Macchine. Questi due corsi si sobbarcavano quindi tutto l'onere di dare agli allievi un minimo di preparazione anche nel settore dell'Ingegneria industriale, che allora era prevalentemente Ingegneria



meccanica. Qualche altro contenuto pertinente all'area industriale era peraltro presente anche nei corsi di Fisica tecnica e di Ferrovie.

Un decreto del 1913 attribuì alle Scuole di applicazione la facoltà di conferire il diploma d'ingegnere – non più specificato come “ingegnere civile” – e quello di architetto. A Bologna, però, l'Ingegneria industriale fu attivata solo nel 1926, quando, con l'introduzione nel curriculum delle discipline Costruzione di macchine, Impianti industriali e Tecnologia meccanica, furono poste le basi per il futuro Corso di Laurea in Ingegneria meccanica.

## **La Facoltà di Ingegneria fino al 2000**

### ***Dal 1935 al 2000***

Nel 1935 la riforma De Vecchi convertì le Scuole in Facoltà e suddivise la sezione civile nelle sottosezioni edile, idraulica e trasporti, e la sezione industriale nelle sottosezioni meccanica, elettrotecnica e chimica; tutte e sei le sezioni furono da subito presenti a Bologna. Questo si può considerare l'atto di nascita de facto del Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica, dato che d'allora in poi ci fu un curriculum di Ingegneria industriale meccanica distinto dagli altri, anche se denominato “Sottosezione” e non “Corso di Laurea”; nell'ordinamento, del resto, erano ormai presenti tutti i principali insegnamenti caratterizzanti l'Ingegneria Meccanica.

Nel 1960 il d.P.R. n. 53/1960, integrato dal d.P.R. n. 1445/1960, trasferì il biennio propedeutico alle Facoltà d'ingegneria e sostituì le precedenti sezioni e sottosezioni con nove Corsi di Laurea, rispettivamente in Ingegneria: Aeronautica, Chimica, Civile (sezioni edile, idraulica, trasporti), Elettronica, Elettrotecnica, Meccanica, Mineraria, Navale e Meccanica, Nucleare. È questo, pertanto, l'effettivo atto di nascita ufficiale del Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica.

Il d.P.R. del 20 maggio 1989 riordinò l'offerta in tre settori – civile, dell'informazione e industriale – con quattordici Corsi di Laurea. A Bologna ne furono attivati sette, compreso quello in Ingegneria Meccanica, che prevedeva sei indirizzi: Costruttivo I, Costruttivo II, Impiantistico, Macchine a fluido, Tecnologico, Trasporti.

L'anno successivo, la L. 341/1990 istituì i Diplomi universitari: nel 1992/93 la Facoltà di Ingegneria attivò il Corso di Diploma in Ingegneria meccanica nella sede staccata di Forlì, dove nel 1997/98 partì un curriculum didattico che dava vita ad un Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica in serie al corrispondente diploma universitario. I diplomi universitari furono poi assorbiti dalla riforma del D.M. 509/99. Dal 2012/13 le attività didattiche dei Corsi di Studio in Ingegneria meccanica di Forlì sono coordinate dalla Scuola di Ingegneria e Architettura dell'Ateneo di Bologna. Qui sono però presi in considerazione solo i corsi svolti nella sede di Bologna.

### ***Il Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica nell'A.A. 2000/01***

Nell'anno accademico 2000/01 l'ordinamento del Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica non prevedeva né indirizzi né materie a scelta nei primi tre anni; al quarto

anno era contemplata una materia a scelta e all'ultimo anno ne erano presenti sei. Le materie a scelta erano distinte in materie di indirizzo o di orientamento – lo studente doveva sceglierne alcune fra un determinato gruppo – e materie a scelta libera; una di queste poteva essere individuata anche fra tutte quelle attivate nell'Ateneo.

Al quarto anno lo studente doveva iscriversi ad uno dei cinque indirizzi prettamente meccanici oppure all'orientamento Trasporti, storicamente presente nel Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica.

Le materie a scelta, come si vede dalla tabella riportata, erano molto numerose; in maggioranza avevano contenuti decisamente meccanici, ma non mancavano alcune aperture anche ad altri settori.

#### ORDINAMENTO DEL CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA NELL'ANNO ACCADEMICO 2000-2001

I ANNO	Analisi matematica I, Disegno tecnico industriale, Chimica, Fisica generale I, Geometria e algebra, Prova di lingua inglese.
II ANNO	Analisi matematica II, Fisica generale II, Meccanica razionale, Fondamenti di informatica.
III ANNO	Elettrotecnica, Fisica tecnica, Scienza delle costruzioni, Meccanica applicata alle macchine, Meccanica dei fluidi, Tecnologia meccanica.
IV ANNO	Controlli automatici, Macchine utensili, Misure meccaniche, termiche e collaudi, Costruzione di macchine, Economia e organizzazione aziendale, Macchine I + 1 materia a scelta.
V ANNO	Impianti meccanici + 6 materie a scelta.
Le materie a scelta si differenziano per i vari indirizzi e orientamenti, che sono: Orientamento Trasporti, Indirizzo Automazione industriale e robotica, Indirizzo Costruzioni, Indirizzo Energia, Indirizzo Materiali, Indirizzo Produzione.	
Delle sette materie a scelta, una è a scelta libera – sono però indicate le materie suggerite dalla Facoltà – le altre sei vanno scelte fra gruppi, differenziati a seconda dell'orientamento o indirizzo scelto. In realtà, la materia "Macchine II" è di fatto obbligatoria per tutti gli indirizzi e per l'orientamento.	
<i>Elenco completo in ordine alfabetico delle materie a scelta:</i> Aerodinamica, Analisi sperimentale delle tensioni, Azionamenti elettrici, Costruzione di macchine automatiche e robot, Costruzione di macchine II, Dinamica e controllo delle macchine, Disegno di macchine, Elettronica applicata, Gestione dell'energia, Impianti industriali, Impianti speciali, Ingegneria delle materie prime, Interazione fra le macchine e l'ambiente, Logistica industriale, Macchine II, Meccanica dei robot, Meccanica delle vibrazioni, Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici, Principi e metodologie della progettazione meccanica, Scienza dei materiali, Scienza dei metalli, Servizi generali di impianto, Sistemi di trazione, Strumentazione e automazione industriale, Studi di fabbricazione, Tecnica ed economia dei trasporti, Tecnologie di chimica applicata, Tecnologie generali dei materiali, Tecnologie generali dei materiali, Teoria e tecnica della circolazione, Turbomacchine.	

#### La riforma del D.M. 509/1999

La riforma universitaria avviata dal ministro Giovanni Berlinguer (governo D'Alema) con il D.M. 509/1999 – che qui si dà per nota – entrò in vigore nell'A.A. 2001/02. Il Consiglio del Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica si scoprì impreparato ad affrontare la novità e molti docenti assunsero all'inizio un atteggiamento decisamente ostile nei confronti della riforma, creando non pochi problemi per la sua applicazione. L'avversione era dettata soprattutto dal timore che potesse andare perduto

il tesoro culturale accumulato in più di un secolo di esperienza nella versione quinquennale del Corso di Laurea. Mancò, di fatto, una convincente opera di spiegazione e giustificazione della riforma, il che indusse molti a giudicarla un superficiale tentativo di apparire moderni, a costo di sacrificare la qualità della didattica e, con essa, la preparazione dei futuri ingegneri.

Non è certamente qui il caso di entrare nel merito della disputa; i successivi sviluppi e risultati della riforma sono comunque ben noti.

La premessa era però necessaria per illustrare alcune serie difficoltà che si presentarono al momento di introdurre la riforma nell'ordinamento didattico. Basti ricordare che alcuni docenti affermarono che, avendo a disposizione meno ore di prima, avrebbero svolto solo una parte del programma abituale: la prima metà, nel caso che il numero di ore risultasse dimezzato. Quasi nessuno cercò di sforzarsi di capire da subito se potesse essere possibile e utile una laurea triennale – di livello ancora universitario ma inferiore a quello della precedente laurea quinquennale – a cui fare eventualmente seguire un biennio di livello superiore. Probabilmente il problema non si sarebbe presentato se la riforma avesse previsto una laurea di primo livello di durata quadriennale, seguita da una eventuale laurea di durata biennale.

Più interessante e significativo fu, nell'immediato, il dibattito sull'organizzazione del Corso di Laurea triennale. Alcuni ritenevano che in tre anni si potessero formare solo degli specialisti, con una formazione concentrata su un determinato settore dell'ingegneria meccanica: ciò avrebbe comportato la suddivisione del triennio in tante sezioni, con solo poche materie di base in comune a tutte. La maggioranza del Consiglio del Corso di Laurea approvò invece lo schema generale – proposto dallo scrivente, allora presidente del corso – che prevedeva un ordinamento unico, con le materie a scelta nel numero minimo imposto dalla legge.

Questa decisione nasceva dal convincimento che tutte le numerose e multiformi specializzazioni professionali dell'ingegneria meccanica richiedono un'ampia e profonda formazione di base nelle discipline fondanti: che, infatti, sono presenti nell'ordinamento con 120 CFU ciascuna. In ordine alfabetico, queste discipline sono: Costruzione di macchine, Disegno, Impianti meccanici, Macchine, Meccanica applicata alle macchine, Tecnologia meccanica. A queste erano ovviamente affiancate le non meno indispensabili materie propedeutiche (Matematica, Fisica, Chimica) e quelle di altri settori, come Economia aziendale, Elettrotecnica, Fisica tecnica, Idraulica, Informatica.

Questa scelta si rivelò vincente, perché – a parere dello scrivente – permise di mantenere la preparazione di base ad un livello quanto meno sufficiente, spostando solo un po' la preparazione dalle materie del vecchio biennio propedeutico a quelle fondamentali del precedente triennio di applicazione.

Come logica conseguenza della scelta relativa al triennio, nel successivo biennio furono introdotte numerose materie specialistiche, peraltro precedute da un gruppo di discipline di base, con lo scopo di riportare anche per queste il livello dei contenuti a quello – paradigmatico – del quinquennio del precedente ordinamento. Questo scopo, peraltro, non fu raggiunto in maniera soddisfacente.

La validità delle scelte fatte allora dal Consiglio del Corso di Laurea sembra confermata dall'ordinamento tuttora in vigore, che – pur con consistenti adeguamenti – conserva nella sostanza il primitivo schema adottato nel 2001/02.

Per illustrare il manifesto del Corso di laurea dopo la riforma, si è ritenuto opportuno riprodurre quello dell'anno accademico 2005/06, che è il primo anno in cui la riforma andò a regime. Si riportano sia il manifesto del Corso di Laurea – che è la laurea di primo livello –, sia quello della laurea di secondo livello, allora denominata laurea specialistica.

MANIFESTO DEL CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA A.A. 2005/2006

	MATERIA	Tip.	CFU	Ciclo
I ANNO	Analisi matematica L-A	A	6	1°
	Fondamenti di informatica L-A	A	6	1°
	Geometria e algebra L-A	A	6	1°
	Analisi matematica L-B	A	6	2°
	Disegno tecnico industriale L	B	6	2°
	Fisica generale L-A	A	6	2°
	Chimica e Materiali L (corso integrato)	C	4+4	3°
	Fisica generale L-B	A	6	3°
	Meccanica razionale L	C	6	3°
	Inglese	E	3	#
II ANNO	Meccanica delle macchine L	B	6	1°
	Elementi di meccanica dei fluidi L	C	5	1°
	Elettrotecnica industriale L	C	8	1°
	Elementi delle macchine L	B	6	2°
	Tecnologia meccanica L	B	6	2°
	Fisica tecnica L	B	6	2°
	Economia e organizzazione aziendale L	B	6	3°
	Controlli automatici L	B	6	3°
III ANNO	Macchine e apparecchiature a gas e a vapore L	B	6	1°
	Meccanica degli azionamenti L	B	6	1°
	Sistemi di lavorazione L	B	6	1°
	Macchine idrauliche e motori a combustione interna L	B	6	2°
	Costruzione di macchine L	B	6	2°
	Logistica industriale L	B	6	2°
	Impianti meccanici L	B	6	3°
INSEGNAMENTI DI TIPOLOGIA F: 9 CFU NEI TRE ANNI DI CORSO				
Laboratorio CAD L; Laboratorio di analisi numerica L; Laboratorio di informatica L; Laboratorio di metallurgia L; Tirocinio L-A (3 CFU); Tirocinio L-B (6 CFU); Tirocinio L-C (9 CFU).				
CONSIGLIATI PER MATERIE A SCELTA (TIPOLOGIA D): 9 CFU				
Azionamenti elettrici L; Disegno di macchine L; Manutenzione dei sistemi di produzione L; Meccanica delle macchine automatiche L; Strumentazione e automazione industriale L; Turbomacchine L.				

## LAUREA SPECIALISTICA

	<b>MATERIA</b>	<b>Tip.</b>	<b>CFU</b>	<b>Ciclo</b>	
<b>I ANNO</b>	Disegno di macchine LS	B	6	1°	
	Macchine LS	B	6	2°	
	Meccanica delle macchine LS	B	6	2°	
	Costruzione di macchine LS	B	6	3°	
	Impianti industriali LS	B	6	3°	
	Tecnologie speciali LS	B	6	3°	
	+ 18 CFU scelti fra le seguenti attività:				
	Complementi di analisi matematica LS	A	6	1°	
	Complementi di geometria LS	A	6	1°	
	Fisica matematica LS	A	6	2°	
	Metodi numerici LS	A	6	2°	
<b>II ANNO</b>	Scelta guidata: MACCHINE E PROGETTAZIONE FUNZIONALE				
	Impianto ambientale dei sistemi energetici LS	B	6	1°	
	Meccanica delle vibrazioni LS	B	6	2°	
	Oleodinamica e pneumatica	B	6	2°	
	+ 12 CFU a scelta tra: Strumentazione e automazione industriale L (6 CFU), Tecnologie generali dei materiali LS (6 CFU), Turbomacchine L (6 CFU) + 6 CFU a scelta da Tabella 1.				
	Scelta guidata: IMPIANTI INDUSTRIALI E SISTEMI DI LAVORAZIONE				
	Logistica industriale LS	B	6	1°	
	Manutenzione dei sistemi di produzione L	B	6	1°	
	Meccanica delle macchine automatiche L	B	6	3°	
	+ 12 CFU a scelta tra: Azionamenti elettrici L (6 CFU), Dinamica delle macchine e dei robot LS (6 CFU), Impianti speciali LS (6 CFU), Servizi generali di impianto LS (6 CFU), Sistemi integrati di lavorazione LS (6 CFU), Strumentazione e automazione industriale L (6 CFU) + 6 CFU a scelta da Tabella 1.				
	Scelta guidata: PROGETTAZIONE MECCANICA E DISEGNO INDUSTRIALE				
	Principi e metodologie della progettazione meccanica LS	B	6	1°	
	Processi e metodi di fabbricazione per lo sviluppo del prodotto LS	B	6	2°	
	Ingegnerizzazione di prodotto LS	B	6	3°	
+ 12 CFU a scelta tra: Analisi sperimentale delle tensioni LS, Costruzione di macchine automatiche e robot LS, Meccanica delle vibrazioni LS, Modelli numerici nella meccanica del continuo LS + 6 CFU a scelta da Tabella 1.					

## Conclusioni

Il Corso di Ingegneria Meccanica dell'Università di Bologna ha una lunga preistoria e una significativa storia ultra cinquantennale, importante anche per la rilevanza dell'industria manifatturiera in Italia e, in particolare, nell'Emilia-Romagna e nelle province limitrofe.

Presente con alcune discipline di base fin dalla nascita della Scuola di applicazione, nato di fatto nel 1935 e istituito ufficialmente nel 1960, ha affrontato con successo la riforma del 2001, e ora – nell’A.A. 2018/19 – ha circa 1.000 iscritti al Corso di Laurea, circa 600 iscritti alla Laurea Specialistica e circa 150 dottorandi nei 3 dottorati di ricerca ad esso afferenti.

L’attuale organizzazione non prevede nessun indirizzo nella laurea di primo livello, e cinque distinti gruppi di attività formative per la laurea specialistica, cioè: 1) Meccanica dell’automazione e robotica, 2) Macchine a fluido, 3) Impianti industriali, 4) Progettazione meccanica e modellazione, 5) Ingegneria del motoveicolo. L’attenzione agli sviluppi della tecnica e alle necessità della società e dell’industria, testimoniato dalle innovazioni via via introdotte nell’organizzazione degli studi e nei contenuti dei corsi dimostrano – ammesso che ce ne sia bisogno – la vitalità e l’attualità dei Corsi di Laurea in Ingegneria Meccanica dell’Università di Bologna.

## **Bibliografia**

*Annuario dell’Università di Bologna.*

*Guida dello Studente della Facoltà di Ingegneria dell’Università di Bologna.*

### 3.14. IL CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE NELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Domiziano Mostacci*

#### I prodromi

La nostra storia inizia nel 1956.

Giova ricordare che a cavallo degli anni Cinquanta e Sessanta l'Italia era avviatissima sulla strada dell'uso pacifico dell'energia nucleare, al punto che nel 1966 – con 3 miliardi di kWh prodotti – era il terzo paese al mondo – e il secondo in Europa dopo il Regno Unito – per produzione elettronucleare (la Francia non aveva ancora attivato in pieno il suo straordinario programma nucleare, voluto dalla consueta, straordinaria lungimiranza del generale De Gaulle, che ne fu Presidente fino al 1969).

La storia inizia, dicevamo, nel 1956: per impulso di alcuni professori di Fisica, e in seguito ad un accordo fra il Direttore dell'istituto di Fisica, professor Giampietro Puppi, ed il Preside di Ingegneria, professor Paolo Dore, viene costituita la Scuola di specializzazione in Ingegneria Nucleare.

Le materie ed i docenti di questo primo anno di vita erano:

- prof. Bruno Ferretti, *Direttore*<sup>1</sup>
- dr. Donatella Barboncini, *Fisica dei neutroni e fisica nucleare dei materiali fissili e fertili*
- prof. Domenico Brini, *Elettronica a laboratorio*
- prof. Gino Morandi<sup>2</sup>, *Termotecnica*
- dr. Luciano Peli, *Radioattività e misure radioattive, protezione dalle radiazioni e laboratorio*
- prof. Giampietro Puppi, *Istituzioni di fisica atomica e nucleare*

La Scuola prosegue la sua attività ancora nei successivi Anni Accademici, con alcuni nomi nuovi:

1957/58

- prof. Bruno Ferretti, *Direttore, Fisica dei neutroni e fisica nucleare dei materiali fissili e fertili*
- dr. Donatella Barboncini, *Fisica dei neutroni e fisica nucleare dei materiali fissili e fertili*
- prof. Domenico Brini, *tecniche elettroniche con laboratorio. Misure di radioattività in laboratorio*
- dr. Arnaldo Chiarini<sup>3</sup>, *Calcolo dei reattori*

---

<sup>1</sup> Lo ritroveremo a breve ricordando i reattori nucleari di ricerca costruiti a Montecuccolino.

<sup>2</sup> Molti lo ricorderanno come caposcuola della disciplina di Macchine ancora attivo alcuni anni fa.

<sup>3</sup> Il professor Chiarini sarà membro del CCdL in Ingegneria Nucleare fino alla chiusura dello stesso.

- prof. Gino Morandi, *Termotecnica*
- dr. Luciano Peli, *Misure di radioattività in laboratori*
- prof. Giampietro Puppi, *Istituzioni di fisica atomica e nucleare*
- dr. Angelo Minguzzi, *Istituzioni di fisica atomica e nucleare*
- dr. Alberto Tomasini, *Istituzioni di fisica atomica e nucleare*
- prof. Otello Rimondi, *Protezione dalle radiazioni, radiochimica con laboratorio*

1958/59

- prof. Bruno Ferretti, *Direttore, Fisica dei neutroni e fisica nucleare dei materiali fissili e fertili*
- dr. Donatella Barboncini, *Fisica dei neutroni e fisica nucleare dei materiali fissili e fertili*
- dr. Arnaldo Chiarini, *Fisica dei neutroni e fisica nucleare dei materiali fissili e fertili*
- prof. Domenico Brini, *Radioattività e misure radioattive, protezione dalle radiazioni e laboratorio*
- prof. Otello Rimondi, *Radioattività e misure radioattive, protezione dalle radiazioni e laboratorio*
- dr. Raffaele Cervellati, *Radioattività e misure radioattive, protezione dalle radiazioni e laboratorio*
- dr. ing. Paolo Amadesi<sup>4</sup>, *Radioattività e misure radioattive, protezione dalle radiazioni e laboratorio*
- prof. Domenico Brini, *Elettronica a laboratorio*
- prof. Gino Morandi, *Termotecnica*

1959/60

- prof. Bruno Ferretti, *Direttore, Istituzioni di fisica atomica e nucleare*
- dr. Arnaldo Chiarini, *Fisica dei neutroni e fisica nucleare dei materiali fissili e fertili*
- prof. Domenico Brini, *Radioattività e misure radioattive, protezione dalle radiazioni e laboratorio*
- dr. ing. Ferrante Pierantoni, *Teoria e calcolo dei reattori*
- prof. Otello Rimondi, *Radioisotopi e protezione dalle radiazioni di laboratorio*
- dr. ing. Paolo Aiello, *Controllo e strumentazione dei reattori con laboratorio*
- prof. Domenico Brini, *Elettronica a laboratorio*
- dr. Alfonso Merlini, *Fisica dei solidi ed effetti fisici delle radiazioni*
- prof. Gino Morandi, *Termotecnica*

1960/61

- prof. Bruno Ferretti, *Direttore, Istituzioni di fisica atomica e nucleare*
- dr. Arnaldo Chiarini, *Fisica dei neutroni e fisica nucleare dei materiali fissili e fertili*

---

<sup>4</sup> Il professor Amatesi rimarrà il docente di Misura delle radiazioni e protezione durante tutta la vita del Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare. Anche lo scrivente lo ha avuto come professore.



- prof. Domenico Brini, *Radioattività e misure radioattive e laboratorio*
- dr. ing. Ferrante Pierantoni, *Teoria e calcolo dei reattori*
- prof. Otello Rimondi, *Radioisotopi e protezione dalle radiazioni di laboratorio*
- dr. ing. Paolo Aiello, *Controllo e strumentazione dei reattori con laboratorio*
- prof. Domenico Brini, *Elettronica a laboratorio*
- dr. Alfonso Merlini, *Fisica dei solidi ed effetti fisici delle radiazioni*
- prof. Gino Morandi, *Termotecnica*

## Nasce il Corso di Laurea

Con il 1960/61 la Scuola lascia però progressivamente il posto al Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare. In questo A.A. sono attivi solo i primi due anni (il mai abbastanza rimpianto "biennio").

Possiamo vedere cosa diventa il Corso di Laurea nel periodo di massima vitalità, gli anni Settanta e Ottanta, fino al punto di svolta dell'incidente di Chernobyl con i suoi effetti disastrosi sulle attività nucleari nel nostro paese. In quegli anni il Corso di Laurea aveva tipicamente 50-60 matricole ogni anno.

Insieme con la nascita della didattica nucleare in Facoltà, si sviluppa parallelamente un'intensa attività di ricerca in questo campo, con la costruzione del sito di Montecuccolino (sul terreno lasciato all'Istituto di Meccanica dal professor Masi e da sua moglie Libertà Carducci, figlia del grande poeta. In effetti il centro sorge nel parco di quella che fu la villa di campagna di Carducci).

All'interno di questo centro, per impulso del professor Giampietro Puppi, un gruppo di giovani ingegneri e fisici progettò e costruì sotto la guida del professor Bruno Ferretti un primo reattore di ricerca denominato RB-1 (per Reattore Bologna). RB-1 rimase in funzione fino al 1982, e diede luogo a numerosi articoli scientifici (dell'ordine dei 100) su vari aspetti della neutronica e della cinetica di svariati tipi di reattori (era infatti in grado di simulare i reticoli più disparati). Fu anche impiegato per esercitazioni agli studenti: chi scrive (laureatosi qui nel 1981) ricorda le esercitazioni su RB-1 con il professor Tullio Trombetti, docente di Controllo del reattore nucleare.

A breve fu seguito da un secondo reattore, RB-2, realizzato da AGIP Nucleare, sempre a Montecuccolino. Entrato in funzione nel 1964, anch'esso fu decommissionato nel 1982.

Infine, in tempi più recenti fu acquisito il terzo ed ultimo reattore di Montecuccolino: RB-3. Si trattava di un reattore francese che i proprietari non intendevano più utilizzare e donarono all'ENEA (allora CNEN) che lo installò, anch'esso, a Montecuccolino, in un nuovo edificio appositamente costruito. RB-3 entrò in funzione nel 1971, e fu definitivamente spento nel 1989. Fu largamente utilizzato per simulare problemi di termoidraulica di reattori di potenza, ed in particolare doveva servire per perfezionare la conoscenza degli elementi di com-

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE	
<i>1° ciclo</i>	<i>2° ciclo</i>
<b>I anno</b>	
ANALISI MATEMATICA I CHIMICA DISEGNO FISICA I GEOMETRIA	
<b>II anno</b>	
Analisi matematica II Fisica II Meccanica razionale Fisica atomica	
TECNOLOGIA DEI MATERIALI NUCLEARI	
<b>III anno</b>	
COMPLEMENTI DI MATEMATICHE ELETTROTECNICA FISICA TECNICA IDRAULICA	FISICA NUCLEARE MECCANICA DELLE MACCHINE SCIENZA DELLE COSTRUZIONI
<b>IV anno</b>	
ELETTRONICA NUCLEARE FISICA DEL REATTORE NUCLEARE <i>Insegnamento di indirizzo</i>	CONTROLLO DEL REATTORE NUCLEARE MACCHINE TEORIA DEI SISTEMI
<b>V anno</b>	
IMPIANTI NUCLEARI TERMOTECNICA DEL REATTORE <i>Insegnamento di indirizzo</i>	MISURA DELLE RADIAZIONI E PROTEZIONE PROGETTO DEL REATTORE NUCLEARE <i>Insegnamento di indirizzo</i>
<b>Insegnamenti di indirizzo</b>	
<b>Indirizzo chimico:</b> CHIMICA NUCLEARE (V)	CHIMICA FISICA DEI MATERIALI NUCLEARI (IV) CHIMICA DEI MATERIALI FISSILI E FERTILI (V)
<b>Indirizzo elettrico:</b> Strumentazione e regolazione degli impianti (V)	MACCHINE E IMPIANTI ELETTRICI (IV) GENERATORI ELETTRICI SPECIALI (V)
<b>Indirizzo neutronico:</b> COMPLEMENTI DI NEUTRONICA (V)	CALCOLO ELETTRONICO (IV) NEUTRONICA APPLICATA (V)
<b>Indirizzo meccanico:</b> COSTRUZIONI NUCLEARI (V)	COSTRUZIONE DI MACCHINE (IV) TECNOLOGIE GENERALI (V)

bustibile del CIRENE, il reattore italiano in corso di progettazione e realizzazione presso Latina (il progetto venne terminato, *more solito*, quando la costruzione ne era pressoché completata, a seguito del referendum). RB-3 è stato definitivamente smantellato nel 2016, le procedure amministrative legate al decommissioning sono, ad oggi marzo 2019, ancora in corso.

## CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE

## PRESIDENTE

Molinari Vincenzo

1° anno		5° anno	
I ciclo	II ciclo	I ciclo	II ciclo
Analisi matematica I	Chimica	Impianti nucleari	Radioprotezione fisica
Disegno tecnico industriale	Fisica generale I	Termotecnica del reattore	Tecnologie e applicazioni nucleari
	Geometria e Algebra	+ 3 annualità di orientamento a scelta	
Prova di conoscenza della lingua inglese			

2° anno		1) Orientamento Impiantistico Costruttivo	
I ciclo	II ciclo	Azionamenti Elettrici (V)	Compatibilità elettromagnetica industriale (V)
Analisi matematica II	Fisica tecnica	Chimica fisica dei materiali solidi (IV)	Energetica e sistemi nucleari (V)
Fisica generale II	Fondamenti di informatica	Principi e metodologie della progettazione meccanica (V)	Localizzazione dei sistemi energetici I (sem.) (IV)
	Meccanica razionale	Sicurezza e analisi di rischio (V)	Localizzazione dei sistemi energetici II (sem.) (IV)
			Progetti e costruzioni nucleari (V)
		Tecnologia dei materiali nucleari (IV)	

3° anno		2) Orientamento Ingegneria Fisica e Modellistica	
I ciclo	II ciclo	Chimica fisica dei materiali solidi (IV)	Controlli automatici II (sem.) (IV)
Elettrotecnica	Controlli automatici I (se.)		Elettronica applicata II (sem.) (IV)
Fisica nucleare	Elettronica applicata I (sem.)		Reattori nucleari avanzati (V)
Scienza delle costruzioni	Meccanica applicata alle macchine	Magnetofluidodinamica applicata (V)	Trasporto di particelle e di radiazione (IV)
	Metodi matematici per i reattori nucleari	Modelli numerici per i reattori nucleari (V)	

4° anno	
I ciclo	II ciclo
Costruzioni di macchine	Economia e organizzazione aziendale
Fondamenti di fisica dei reattori a fissione e fusione	Macchine
+ 2 annualità di orientamento a scelta	

Figura 1. Piano degli studi del Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare.

Con il referendum comincia, com'era da attendersi, il lento declino del Corso di Laurea: ancora la coorte del 1995-96 contava una ventina di matricole, ma l'interesse andava sparendo.

Con l'avvento del 3+2 (il "processo di Bologna", come è usualmente e universalmente noto in Europa) il CCdL decise di non proporre un Corso di Laurea seguito da un Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Nucleare, bensì di spegnere il vecchio Corso di Laurea e far nascere al suo posto un programma in Ingegneria Energetica. La Laurea nel nuovo ordinamento partì con la coorte del 2001/02, contestualmente spegnendo il primo anno di Ingegneria Nucleare. Nei successivi quattro anni furono progressivamente spenti gli anni di Ingegneria Nucleare ed attivati i corrispondenti anni dell'Ingegneria Energetica. Giova forse evidenziare che la coorte dell'ultimo anno (il 2000/01) contava ufficialmente sette iscritti, ma quelli effettivamente visti in classe furono due (che chi scrive ricorda perfettamente).

Si propone il Piano degli studi degli anni conclusivi del Corso di Laurea, come riportato nell'annuario dell'Ateneo. Come si vede l'impronta non è cambiata, né vi era motivo per cambiare, anche se molti nomi furono modificati in ossequio ai Decreti Ministeriali nel frattempo succedutisi.

## Conclusioni

La stagione del nucleare nel nostro paese sembra chiusa, per l'immediato futuro, benché esistano ancora due corsi di Laurea Magistrale attivi (al Politecnico di Torino ed al Politecnico di Milano, con numeri di iscritti del tutto ragionevoli). Presso la Facoltà di Ingegneria di Bologna vengono ancora conservate competenze nel campo, e un certo numero di insegnamenti di area nucleare è impartito nel programma di Ingegneria Energetica. Tuttavia è giusto ricordare che l'Ateneo di Bologna è stato per molti anni il principale centro italiano per la fisica del reattore, e ancora oggi molti docenti della ormai ex-Facoltà, pure in discipline diverse, sono essi stessi allievi del CdL in Ingegneria Nucleare, evidenziando come il CdL attraverso gli anni abbia saputo dare una formazione scientifica solida e interdisciplinare.

## Referenze

- F. Casali, *Dal CP-1 (Chicago Pile-1) al RB-1 (Reattore Bologna 1): un'avventura tutta italiana*, «Giornale di Fisica», vol. LVIII, n. 4 (2017), pp. 247-280.  
*Annuario dell'Università di Bologna* (diverse annate).

### **3.15. IL CORSO DI INGEGNERIA ENERGETICA NELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

*Enzo Zanchini*

Il Corso di Studio in Ingegneria Energetica dell'Università di Bologna è stato istituito nell'Anno Accademico 2001/02. In questo contributo saranno brevemente descritte le motivazioni che hanno portato alla istituzione del Corso di Studio e le principali modifiche apportate al Piano Didattico dalla istituzione ad oggi.

#### **Le motivazioni e l'istituzione**

L'esigenza di questo nuovo Corso di Studio è stata causata dall'abbandono da parte dell'Italia del programma di produzione di energia elettronucleare, dall'aggravarsi del problema energetico-ambientale globale e dalla crescente presa di coscienza di questo problema, dal crescente utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili a livello nazionale e mondiale.

L'incidente di Černobyl' del 1986 portò a indire in Italia, nel 1987, tre referendum nazionali sul settore elettronucleare. Nella consultazione popolare, circa l'80% dei votanti si espresse a favore delle istanze portate avanti dai promotori. I referendum non vietavano in modo esplicito la costruzione di nuove centrali e non imponevano la chiusura di quelle esistenti, ma abrogavano gli indennizzi spettanti agli enti locali dei siti individuati per la costruzione di nuovi impianti nucleari, nonché la norma che concedeva al CIPE la facoltà di scelta dei siti stessi in presenza di un mancato accordo con i comuni. Impedivano inoltre all'ENEL di partecipare alla costruzione di centrali elettronucleari all'estero. Tra il 1988 e il 1990 i Governi Gorla, De Mita e Andreotti posero termine all'esperienza elettronucleare italiana con l'abbandono del progetto nucleare e la chiusura delle centrali di Latina, Trino Vercellese e Caorso. L'abbandono improvviso del programma nucleare causò, oltre a gravi problemi energetici e di smaltimento di materiali radioattivi, una progressiva riduzione degli iscritti ai Corsi di Laurea in Ingegneria Nucleare.

Intanto, nel 1988, veniva istituito dal World Meteorological Organization (WMO) e dall'United Nations Environment Programme (UNEP) l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), che nel 1990, con il primo Rapporto di Valutazione, gettava un primo allarme ufficiale sul cambiamento climatico dovuto alle enormi e crescenti emissioni di gas serra. Seguirono, nel 1995 e nel 2001, il secondo e il terzo Rapporto di Valutazione, che evidenziarono con elementi sempre più stringenti la necessità di un progressivo abbandono dell'impiego dei combustibili fossili, di processi più efficienti per l'uso delle risorse energetiche, di un crescente impiego delle fonti energetiche rinnovabili. Alla fine degli anni Novanta, la consa-

pevolezza della gravità del problema energetico-ambientale globale e la necessità di formare progettisti esperti nel campo dell'uso razionale dell'energia e dell'impiego di fonti energetiche ecocompatibili era già ampiamente diffusa.

Una opportunità per l'istituzione, negli Atenei italiani, di un nuovo Corso di Studio centrato sulle problematiche energetiche fu offerta dal D.M. 3 novembre 1999, n. 509, che istituiva due livelli di laurea: la Laurea (triennale), e la Laurea Specialistica (biennio di specializzazione). L'occasione fu colta dal Politecnico di Milano, dal Politecnico di Torino, da Roma La Sapienza, dall'Università di Palermo, dall'Università di Pisa, dall'Università di Padova, dall'Università di Bologna.

Il Corso di Studio in Ingegneria Energetica è stato istituito nell'Università di Bologna a partire dall'Anno Accademico 2001/02. In quell'anno, fu attivato il primo anno della Laurea Triennale, nell'ambito di un progetto che prevedeva un Corso di Studio quinquennale, su due livelli. L'attivazione della Laurea e della Laurea Specialistica in Ingegneria Energetica è stata completata nell'A.A. 2005/06.

### **Il primo Piano Didattico completo attivato (A.A. 2005/06)**

Il Piano Didattico della Laurea triennale in Ingegneria Energetica è stato concepito con l'obiettivo di fare acquisire agli studenti, in modo critico ed approfondito, competenze progettuali sui sistemi energetici di potenza e cogenerativi, sulle macchine per la conversione di energia, sugli impianti termotecnici, sulle applicazioni dell'ingegneria nucleare, sugli impianti ed i sistemi elettrici, sui processi di trasformazione delle risorse energetiche, sulle tecniche di controllo dell'impatto ambientale di sistemi energetici, sull'uso razionale dell'energia. Tale obiettivo richiede una buona conoscenza delle discipline matematiche, fisiche, chimiche e informatiche, nonché delle tematiche fondamentali dell'ingegneria industriale, con particolare riguardo alla termodinamica, alla fluidodinamica, alla trasmissione del calore e all'elettrotecnica. Il Piano Didattico della Laurea triennale nell'A.A. 2005/06 è illustrato in Tabella 1.

La didattica era organizzata su tre cicli, e non c'erano vincoli sul numero totale di esami. Il primo e il secondo anno prevedevano soltanto insegnamenti obbligatori. Il terzo anno prevedeva invece due scelte guidate. La scelta guidata *Termofluidodinamica e Sistemi Energetici* aveva lo scopo di fornire agli allievi strumenti metodologici di analisi e specifiche competenze progettuali sui sistemi di conversione dell'energia da fonti primarie fossili e rinnovabili, sui relativi problemi di impatto ambientale, sugli impianti termotecnici ed elettrici, sull'uso razionale dell'energia. La scelta guidata *Tecnologie Energetiche Avanzate* aveva lo scopo di preparare gli allievi all'approfondimento di aspetti di base e peculiarità di impianti per la produzione di energia da fonti non convenzionali, compresa la fonte nucleare, fornendo conoscenze sugli inscindibili problemi tecnologici, ambientali, radioprotezionistici e di sicurezza collegati. Per entrambe le scelte guidate, la preparazione era completata da una vasta scelta di attività di laboratorio o tirocinio.

Tabella 1. Piano Didattico della Laurea triennale in Ingegneria Energetica nell'A.A. 2005/06.

	CICLO	CFU
<b>PRIMO ANNO</b>		
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE</b>		
ANALISI MATEMATICA LA	1	6
ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE L	1	6
GEOMETRIA E ALGEBRA L	1	6
ANALISI MATEMATICA LB	2	6
FISICA GENERALE LA	2	6
FONDAMENTI DI INFORMATICA L	2	6
FONDAMENTI DI CHIMICA L	3	6
FISICA GENERALE LB	3	6
MECCANICA RAZIONALE L	3	6
IDONEITÀ DI LINGUA INGLESE	---	3
<b>SECONDO ANNO</b>		
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE</b>		
FONDAMENTI DI MECCANICA DELLE MACCHINE L	1	6
TERMODINAMICA APPLICATA L	1	6
MECCANICA DEI SOLIDI L	1	6
DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE L	2	6
ELETTROTECNICA L	2	6
MOTO DEI FLUIDI E TERMOCINETICA L	2	6
TECNOLOGIE GENERALI DEI MATERIALI L	3	3
MACCHINE L	3	6
FONDAMENTI DELL'INGEGNERIA DI PROCESSO L	3	5
CONVERSIONE ELETTROMECCANICA DELL'ENERGIA L	3	3
<b>TERZO ANNO</b>		
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE</b>		
ELETTROTECNICA L	1	6
SISTEMI ENERGETICI L	1	11
TECNOLOGIE SOSTENIBILI PER L'USO DI RISORSE ENERGETICHE L	2	5
PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA L	2	6
PROVA FINALE	---	6
<b>SCELTA GUIDATA N°1 – TERMOFLUIDODINAMICA E SISTEMI ENERGETICI</b>		
IMPIANTI TECNICI L	1	6
ENERGETICA L	2	6
IMPIANTI MECCANICI L	3	6
<b>SCELTA GUIDATA N°2 – TECNOLOGIE ENERGETICHE AVANZATE</b>		
FONDAMENTI E APPLICAZIONI DELL'ENERGIA NUCLEARE L	1	6
PROTEZIONE DALLE RADIAZIONI L	2	6
SICUREZZA E ANALISI DI RISCHIO L	3	6
<b>ALTRE ATTIVITÀ FORMATIVE – 9 CFU FRA I SEGUENTI</b>		
LABORATORIO COMPUTAZIONALE DI TERMOFLUIDODINAMICA L	3	3
LABORATORIO DI RADIOPROTEZIONE T	1	3
LABORATORIO DI SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE E SUI SISTEMI ENERGETICI T	1	3
LAB. DI TECNOLOGIE DEI MATERIALI E APPUCAZIONI INDUSTRIALI DEI PLASMI T	1	3
TIROCINIO LA	1	3
TIROCINIO LB	1	6
TIROCINIO LC	1	9
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE A SCELTA LIBERA – 9 CFU al 2° o 3° anno</b>		

La Laurea Specialistica in Ingegneria Energetica è stata progettata con lo scopo di fornire agli studenti conoscenze approfondite delle discipline di base matematiche, fisiche, chimiche, e informatiche, nonché delle discipline ingegneristiche fondamentali per l'ingegneria energetica. Queste comprendono la fluidodinamica, la trasmissione del calore, l'elettrotecnica, i sistemi energetici, la combustione e i processi di produzione dei combustibili, i metodi di modellazione fisicomatematica per la simulazione di

componenti e sistemi energetici. Competenze progettuali specifiche acquisibili riguardano poi: impianti termotecnici, sistemi energetici di potenza e cogenerativi e macchine termiche; impatto ambientale dei sistemi energetici; macchine e sistemi elettrici; fisica e impiantistica dei reattori a fissione e a fusione; fisica e applicazioni industriali dei plasmi; ingegneria delle radiazioni e radioprotezione; analisi di sicurezza.

Il Piano Didattico della Laurea Specialistica nell'A.A. 2005/06 è illustrato in Tabella 2. Come per la Laurea triennale, la didattica era organizzata su tre cicli. Il primo anno prevedeva insegnamenti obbligatori e la scelta fra due insegna-

Tabella 2. Piano Didattico della Laurea Specialistica in Ingegneria Energetica nell'A.A. 2005/06.

	CICLO	CFU
<b>PRIMO ANNO</b>		
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE</b>		
IMPATTO AMBIENTALE DEI SISTEMI ENERGETICI LS	1	6
TRASMISSIONE DEL CALORE LS	1	6
METODI MATEMATICI PER L'ENERGETICA LS	2	6
TERMOFLUIDODINAMICA APPLICATA LS	2	6
TECNOLOGIE SOSTENIBILI PER LE RISORSE ENERGETICHE LS	2	6
METODI NUMERICI PER L'ENERGETICA LS	3	6
COSTRUZIONE DI MACCHINE L CENTRALI ELETTRICHE LS	3	6
CENTRALI ELETTRICHE LS	3	6
<b>INSEGNAMENTI A SCELTA GUIDATA – 6 CFU FRA I SEGUENTI</b>		
CHIMICA DEI PROCESSI DI COMBUSTIONE M	1	6
FISICA MODERNA M	1	6
<b>SECONDO ANNO</b>		
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE</b>		
APPLICAZIONI INDUSTRIALI DEI PLASMI LS	1	6
NEUTRONICA E PLASMI LS	1	6
TERMOIDRAULICA DEI FLUSSI BIFASE LS	2	6
IMPIEGO INDUSTRIALE DELL'ENERGIA E COGENERAZIONE LS	2	6
PROVA FINALE LS	---	12
<b>SCELTA GUIDATA N°1 – IMPIANTI</b>		
IMPIANTI NON CONVENZIONALI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA LS	1	6
TERMOTECNICA E IMPIANTI TERMOTECNICI LS	2	6
GESTIONE DEI SISTEMI ENERGETICI LS	3	6
<b>SCELTA GUIDATA N°2 – TECNOLOGIE AVANZATE</b>		
TRASPORTO DI PARTICELLE E RADIAZIONE LS	1	6
TECNOLOGIE ELETTRICHE INNOVATIVE LS	2	6
RADIOPROTEZIONE LS	3	6
<b>ALTRE ATTIVITÀ FORMATIVE – 6 CFU</b>		
LABORATORIO COMPUTAZIONALE DI TERMOFLUIDODINAMICA L	3	3
LABORATORIO COMPUTAZIONALE DI TERMOFLUIDODINAMICA LS	3	3
LAB. DI CALCOLO PARALLELO PER APPLICAZ. ENERGETICHE E MECC. AVANZATE LS-A	3	3
LAB. DI CALCOLO PARALLELO PER APPLICAZ. ENERGETICHE E MECC. AVANZATE LS-B	3	3
LABORATORIO DI RADIOPROTEZIONE L	3	3
LABORATORIO DI RADIOPROTEZIONE LS	3	3
LABORATORIO DI SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE E SUI SISTEMI ENERGETICI ML	3	3
LABORATORIO DI SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE E SUI SISTEMI ENERGETICI LS	3	3
LAB. DI TECNOLOGIE DEI MATERIALI E APPLICAZIONI INDUSTRIALI DEI PLASMI L	3	3
LAB. DI TECNOLOGIE DEI MATERIALI E APPLICAZIONI INDUSTRIALI DEI PLASMI LS	3	3
TIROCINIO	---	6
TIROCINIO	---	3
<b>INSEGNAMENTI A SCELTA LIBERA – 6 CFU</b>		



menti di approfondimento delle discipline di base chimiche e fisiche. Il secondo anno prevedeva quattro insegnamenti obbligatori, e proponeva, in analogia con la Laurea triennale, due scelte guidate: *Impianti e Tecnologie Avanzate*. La scelta guidata *Impianti* aveva lo scopo di fornire una preparazione di alto livello su impianti termotecnici, impianti per la produzione di energia da fonte nucleare o rinnovabile, sistemi energetici. La scelta guidata *Tecnologie Avanzate* era incentrata sull'ingegneria delle radiazioni e su tecnologie innovative per la produzione e l'accumulo di energia elettrica. In analogia con la Laurea triennale, per ciascuna scelta guidata la preparazione era completata da una vasta scelta di attività di laboratorio o tirocinio.

### **Il Piano Didattico modificato in seguito al Decreto 22 ottobre 2004, n. 270**

Il D.M. 22 ottobre 2004, n. 270, costrinse ad una revisione dei Piani Didattici, soprattutto per effetto dei limiti imposti sul numero di esami: 20 esami per la laurea triennale, 12 per la laurea di secondo livello, ridefinita Laurea Magistrale. Il Piano Didattico complessivo, cioè per entrambi i livelli di laurea, congruente con la nuova normativa ministeriale, fu attivato nell'A.A. 2009/10.

Il Piano Didattico della Laurea Triennale nell'A.A. 2009/10 è illustrato in Tabella 3. La principale variazione è stata l'introduzione di 6 corsi integrati da 12 CFU, ciascuno ottenuto accorpando due insegnamenti da 6 CFU. I corsi integrati sono evidenziati in Tabella 3 con uno sfondo comune di colore grigio o azzurro dei due insegnamenti accorpati, senza riportare il nome complessivo del corso integrato. Un'altra variazione significativa è la riduzione delle due scelte guidate da 18 CFU alla sola scelta di 6 CFU fra due insegnamenti, rendendo obbligatori gli insegnamenti di Energetica, Impianti Tecnici, Fondamenti e Applicazioni dell'Energia Nucleare, Radioprotezione. L'obiettivo fu raggiunto con alcune riduzioni di CFU, fra cui la riduzione da 6 CFU a 3 CFU della prova finale.

Il piano Didattico della Laurea Magistrale nell'A.A. 2009/10 è illustrato in Tabella 4. La principale variazione, rispetto a quello dell'A.A. 2005/06, consiste nell'introduzione di quattro corsi integrati (tre per ciascun curriculum) per rispettare il vincolo sul numero di esami. I corsi integrati sono evidenziati in Tabella 4 con uno sfondo comune, di colore grigio o azzurro, delle celle di tabella dei due insegnamenti accorpati. Altre variazioni sono la eliminazione dell'insegnamento obbligatorio Costruzione di Macchine, l'anticipo dell'insegnamento obbligatorio di Impiego Industriale dell'Energia e Cogenerazione al primo anno, il transito di Termoidraulica dei Flussi Bifase da obbligatorio per tutti a obbligatorio per il curriculum Impianti, il transito di Termotecnica e Impianti Termotecnici da obbligatorio per il curriculum Impianti a insegnamento a scelta guidata per lo stesso curriculum, il transito di Tecnologie Elettriche Innovative da obbligatorio per il curriculum Tecnologie Avanzate a insegnamento a scelta guidata per lo stesso curriculum.

Tabella 3. Piano Didattico della Laurea Triennale in Ingegneria Energetica nell'A.A. 2009/10.

	CICLO	CFU
<b>PRIMO ANNO</b>		
ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE		
DISEGNO ASSISTITO DAL CALCOLATORE T	1	6
ANALISI MATEMATICA TA	1	6
GEOMETRIA E ALGEBRA T	1	6
FONDAMENTI DI CHIMICA	1	6
IDONEITÀ DI LINGUA INGLESE	1	3
ANALISI MATEMATICA TB	2	6
FISICA GENERALE TA	2	6
FISICA GENERALE TB	2	6
FONDAMENTI DI INFORMATICA T	2	6
<b>SECONDO ANNO</b>		
ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE		
COMPORTEMENTO MECCANICO DEI MATERIALI T	1	6
MECCANICA RAZIONALE T	1	6
TERMODINAMICA APPLICATA T	1	6
MOTO DEI FLUIDI E TERMOCINETICA T	1	6
ELETTROTECNICA T	2	6
FOND. DI MECCANICA DELLE MACCHINE T	2	6
FOND. DELL'INGEGNERIA DI PROCESSO T	2	5
TECNOL. E IMPIANTI DI COMBUST. STAZ. T	2	3
MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA T	2	6
ALTRE ATTIVITÀ FORMATIVE ANTICIPABILI AL 2° ANNO – 3 CFU		
LABORATORIO COMPUTAZIONALE DI TERMOFLUIDODINAMICA T	2	3
INSEGNAMENTI A SCELTA LIBERA ANTICIPABILI AL 2° ANNO – 6 CFU		
METALLURGIA T	1	6
<b>TERZO ANNO</b>		
INSEGNAMENTI OBBLIGATORI		
ENERGETICA T	1	6
IMPIANTI TECNICI T	1	6
FOND. DI ECONOMIA AZIEND. E DELL'INN. T	1	6
FOND. E APPL. DELL'ENERGIA NUCLEARE T	1	6
RADIOPROTEZIONE T	1	6
CONVERS. ELETTROMECC. DELL'ENERGIA T	1	3
PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA T	1	6
SISTEMI ENERGETICI T	1	6
PROVA FINALE	--	3
INSEGNAMENTI A SCELTA GUIDATA – 6 CFU FRA I SEGUENTI		
IMPIANTI MECCANICI T	1	6
SICUREZZA E ANALISI DI RISCHIO T	1	6
ALTRE ATTIVITÀ FORMATIVE – 9 CFU (meno quelli anticipati) FRA I SEGUENTI		
LABORATORIO DI RADIOPROTEZIONE T	1	3
LABORATORIO DI SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE E SUI SISTEMI ENERGETICI T	1	3
LAB. DI TECNOLOGIE DEI MATERIALI E APPLICAZIONI INDUSTRIALI DEI PLASMI T	1	3
TIROCINIO TA	1	3
TIROCINIO TB	1	6
TIROCINIO TC	1	9
INSEGNAMENTI A SCELTA LIBERA – 12 CFU (meno quelli anticipati)		

## Il Piano Didattico attuale

Il Piano Didattico attuale del Corso di Studio presenta alcune variazioni rispetto a quello dell'A.A. 2009/10. Le variazioni sono state apportate principalmente per soddisfare le richieste degli studenti di piani didattici meno vincolanti e di più spa-

Tabella 4. Piano Didattico della Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica nell'A.A. 2009/10.

	CICLO	CFU
<b>PRIMO ANNO</b>		
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE</b>		
TERMOFLUIDODINAMICA APPLICATA M	1	6
TRASMISSIONE DEL CALORE M	1	6
CENTRALI ELETTRICHE M	2	6
IMPIEGO INDUSTRIALE DELL'ENERGIA E COGENERAZIONE M	2	6
METODI MATEMATICI PER L'ENERGETICA M	2	6
METODI NUMERICI PER L'ENERGETICA M	2	6
TECNOLOGIE SOSTENIBILI PER LE RISORSE ENERGETICHE M	2	6
IMPATTO AMBIENTALE DEI SISTEMI ENERGETICI M	Annuale	6
<b>INSEGNAMENTI A SCELTA GUIDATA – 6 CFU FRA I SEGUENTI</b>		
CHIMICA DEI PROCESSI DI COMBUSTIONE M	1	6
FISICA MODERNA M	1	6
PIASTRE E GUSCI M	1	6
<b>SECONDO ANNO</b>		
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE</b>		
APPLICAZIONI INDUSTRIALI DEI PLASMI M	1	6
NEUTRONICA E PLASMI M	1	6
PROVA FINALE	--	18
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE – CURRICULUM IMPIANTI</b>		
TERMOIDRAULICA DEI FLUSSI BIFASE M	1	6
IMPIANTI NON CONVENZIONALI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA M	1	6
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE – CURRICULUM TECNOLOGIE AVANZATE</b>		
TRASPORTO DI PARTICELLE E DI RADIAZIONE M	1	6
RADIOPROTEZIONE M	1	6
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE A SCELTA GUIDATA – 6 CFU – CURRICULUM IMPIANTI</b>		
GESTIONE DEI SISTEMI ENERGETICI M	1	6
TERMOTECNICA E IMPIANTI TERMOTECNICI M	1	6
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE A SCELTA GUIDATA – 6 CFU – CURRICULUM TECNOLOGIE AVANZATE</b>		
GESTIONE DEI SISTEMI ENERGETICI M	1	6
TECNOLOGIE ELETTRICHE INNOVATIVE M	1	6
<b>ALTRE ATTIVITÀ FORMATIVE – 6 CFU</b>		
LABORATORIO COMPUTAZIONALE DI TERMOFLUIDODINAMICA M	1	3
LABORATORIO COMPUTAZIONALE DI TERMOFLUIDODINAMICA T	1	3
LAB. DI CALCOLO PARALLELO PER APPLICAZ. ENERGETICHE E MECC. AVANZATE M-A	1	3
LAB. DI CALCOLO PARALLELO PER APPLICAZ. ENERGETICHE E MECC. AVANZATE M-B	1	3
LABORATORIO DI RADIOPROTEZIONE M	1	3
LABORATORIO DI RADIOPROTEZIONE T	1	3
LABORATORIO DI SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE E SUI SISTEMI ENERGETICI M	1	3
LABORATORIO DI SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE E SUI SISTEMI ENERGETICI T	1	3
LAB. DI TECNOLOGIE DEI MATERIALI E APPLICAZIONI INDUSTRIALI DEI PLASMI M	1	3
LAB. DI TECNOLOGIE DEI MATERIALI E APPLICAZIONI INDUSTRIALI DEI PLASMI T	1	3
TIROCCINIO M-A	1	6
TIROCCINIO M-B	1	3
<b>INSEGNAMENTI A SCELTA LIBERA – 12 CFU</b>		

zio dedicato a insegnamenti sull'utilizzo delle fonti rinnovabili. Il piano Didattico della Laurea Triennale per l'A.A. in corso, cioè 2018/19, è illustrato in Tabella 5. La principale variazione è costituita dall'introduzione, al terzo anno, di due percorsi: il curriculum *Fonti Energetiche Tradizionali e Rinnovabili*, e il curriculum *Applicazioni Industriali e Biomedicali dell'Energia*. Ciascun curriculum propone la

Tabella 5. Piano Didattico della Laurea Triennale in Ingegneria Energetica nell'A.A. 2018/19.

	CICLO	CFU
<b>PRIMO ANNO</b>		
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE</b>		
ANALISI MATEMATICA T A	1	9
DISEGNO ASSISTITO DAL CALCOLATORE T	1	6
GEOMETRIA E ALGEBRA T	1	6
IDONEITÀ DI LINGUA INGLESE	1	3
FISICA GENERALE T A	1	6
FISICA GENERALE T B	2	6
ANALISI MATEMATICA T B	2	6
FONDAMENTI DI CHIMICA	2	6
FONDAMENTI DI INFORMATICA T	2	6
<b>SECONDO ANNO</b>		
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE</b>		
COMPORTEMENTO MECCANICO DEI MATERIALI T	1	6
MECCANICA RAZIONALE T	1	6
TERMODINAMICA APPLICATA T	1	6
MOTO DEI FLUIDI E TERMOCINETICA T	1	6
FONDAMENTI DI ECONOMIA AZIENDALE E DELL'INNOVAZIONE T	1	6
ENERGETICA T	2	6
ELETTROTECNICA T	2	6
FOND. DI MECCANICA DELLE MACCHINE T	2	6
MACCHINE T	2	9
ALTRE ATTIVITÀ FORMATIVE ANTICIPABILI AL 2° ANNO – 3 CFU		
LABORATORIO COMPUTAZIONALE DI TERMOFLUIDODINAMICA T	2	3
INSEGNAMENTI A SCELTA LIBERA ANTICIPABILI AL 2° ANNO – 6 CFU		
METALLURGIA T	1	6
<b>TERZO ANNO</b>		
<b>INSEGNAMENTI OBBLIGATORI</b>		
FONDAMENTI E APPLICAZIONI DELL'ENERGIA NUCLEARE T	1	6
SISTEMI ENERGETICI T	1	6
IMPIANTI MECCANICI T	1	6
IMPIANTI TECNICI T	1	6
SISTEMI DI PRODUZIONE E CONVERSIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA T	2	9
PROVA FINALE	–	3
CURRICULUM FONTI ENERGETICHE TRADIZIONALI E RINNOVABILI 12 – CFU		
FONDAMENTI E APPLICAZIONI DELL'INGEGNERIA DI PROCESSO T	1	6
ENERGIA EOLICA E IDRAULICA T	2	6
FONDAMENTI E APPLICAZIONI DELL'INGEGNERIA DI PROCESSO T	1	6
APPLICAZIONI TERMICHE E FOTOVOLTAICHE DELL'ENERGIA SOLARE T	2	6
CURRICULUM APPLICAZIONI INDUSTRIALI E BIOMEDICALI DELL'ENERGIA 12 – CFU		
INGEGNERIA DELLE RADIAZIONI IN AMBITO MEDICO E INDUSTRIALE T	1	6
MISURA DELLE RADIAZIONI IN AMBITO MEDICO E INDUSTRIALE T	2	6
INGEGNERIA DELLE RADIAZIONI IN AMBITO MEDICO E INDUSTRIALE T	1	6
TECNOLOGIE PLASMA PER APPLICAZIONI ENERGETICHE AMBIENTALI E BIOMEDICALI T	2	6
ALTRE ATTIVITÀ FORMATIVE – 9 CFU (meno quelli anticipati) FRA I SEGUENTI		
LAB. DI TECNOLOGIE DEI MATERIALI E APPLICAZIONI INDUSTRIALI DEI PLASMI T	1	3
TIROCINIO T A	1	3
TIROCINIO T B	1	6
TIROCINIO T C	1	9
LABORATORIO COMPUTAZIONALE DI TERMOFLUIDODINAMICA T	2	3
LABORATORIO DI RADIOPROTEZIONE T	2	3
LABORATORIO DI SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE E SUI SISTEMI ENERGETICI T	2	3
INSEGNAMENTI A SCELTA LIBERA – 12 CFU (meno quelli anticipati)		

Tabella 6. Piano Didattico della Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica nell'A.A. 2018/19.

	CICLO	CFU
<b>PRIMO ANNO</b>		
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE</b>		
TERMOFLUIDODINAMICA APPLICATA M	1	6
TRASMISSIONE DEL CALORE M	1	6
CENTRALI ELETTRICHE M	2	6
IMPATTO AMBIENTALE DEI SISTEMI ENERGETICI M	1	6
DINAMICA E CONTROLLO DEI SISTEMI ENERGETICI	2	6
METODI MATEMATICI PER L'ENERGETICA M	2	6
METODI NUMERICI PER L'ENERGETICA M	2	6
TECNOLOGIE SOSTENIBILI PER LE RISORSE ENERGETICHE M	2	6
<b>INSEGNAMENTI A SCELTA GUIDATA – 6 CFU FRA I SEGUENTI</b>		
CHIMICA DEI PROCESSI DI COMBUSTIONE M	1	6
FISICA MODERNA M	1	6
PIASTRE E GUSCI M	1	6
<b>SECONDO ANNO</b>		
<b>ATTIVITÀ FORMATIVE OBBLIGATORIE</b>		
APPLICAZIONI INDUSTRIALI DEI PLASMI M	1	6
ENERGETICA DEGLI EDIFICI E IMPIANTI TERMOTECNICI M	1	6
PROVA FINALE (con eventuale tirocinio di preparazione)	--	18
<b>INDIRIZZO EFFICIENZA ENERGETICA E FONTI RINNOVABILI – 18 CFU</b>		
SISTEMI ENERGETICI AVANZATI E COGENERAZIONE M	1	6
TECNOLOGIE INNOVATIVE PER LA PRODUZIONE, IL TRASPORTO E L'ACCUMULO DELL'ENERGIA ELETTRICA	1	6
TERMOIDRAULICA BIFASE E DI SISTEMA M	1	6
IMPIANTI NON CONVENZIONALI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA M	2	6
SISTEMI SOLARI E GEOTERMICI M	2	6
TECNOLOGIE OIL&GAS	2	6
<b>INDIRIZZO TECNOLOGIE ENERGETICHE AVANZATE – 18 CFU</b>		
NEUTRONICA E PLASMI M	1	6
SISTEMI ENERGETICI AVANZATI E COGENERAZIONE M	1	6
TECNICHE DI MODELLISTICA E SIMULAZIONE PER L'ENERGETICA M	1	6
TECNOLOGIE INNOVATIVE PER LA PRODUZIONE, IL TRASPORTO E L'ACCUMULO DELL'ENERGIA ELETTRICA	1	6
RADIOPROTEZIONE M	2	6
TRASPORTO DI PARTICELLE E RADIAZIONE M	2	6
<b>ALTRE ATTIVITÀ FORMATIVE – 6 CFU</b>		
LAB. DI TECNOLOGIE DEI MATERIALI E APPLICAZIONI INDUSTRIALI DEI PLASMI T	1	3
TIROCINIO M	1	6
LABORATORIO COMPUTAZIONALE DI TERMOFLUIDODINAMICA M	2	3
LABORATORIO COMPUTAZIONALE DI TERMOFLUIDODINAMICA T	2	3
LAB. DI CALCOLO PARALLELO PER APPLICAZ. ENERGETICHE E MECC. AVANZATE M-A	2	3
LAB. DI CALCOLO PARALLELO PER APPLICAZ. ENERGETICHE E MECC. AVANZATE M-B	2	3
LABORATORIO DI RADIOPROTEZIONE M	2	3
LABORATORIO DI RADIOPROTEZIONE T	2	3
LABORATORIO DI SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE E SUI SISTEMI ENERGETICI M	2	3
LABORATORIO DI SPERIMENTAZIONE SULLE MACCHINE E SUI SISTEMI ENERGETICI T	2	3
LAB. DI TECNOLOGIE DEI MATERIALI E APPLICAZIONI INDUSTRIALI DEI PLASMI M	2	3
<b>INSEGNAMENTI A SCELTA LIBERA – 12 CFU</b>		

scelta fra due corsi integrati da 12 CFU. Il curriculum *Fonti Energetiche Tradizionali e Rinnovabili* offre, in alternativa, i nuovi insegnamenti *Energia Eolica e Idraulica e Applicazioni Termiche e Fotovoltaiche dell'Energia Solare*, ciascuno integrato con *Fondamenti e Applicazioni dell'Ingegneria di Processo*. Il curriculum *Applicazioni*

*Industriali e Biomedicali dell'Energia* offre, in alternativa, i nuovi insegnamenti *Misura delle Radiazioni in Ambito Medico e Industriale* e *Tecnologie Plasma per Applicazioni Energetiche Ambientali e Biomedicali*, ciascuno integrato con il nuovo insegnamento *Ingegneria delle Radiazioni in Ambito Medico e Industriale*.

Il piano Didattico della Laurea Magistrale per l'A.A. 2018/19 è illustrato in Tabella 6. Rispetto a quello dell'A.A. 2008/09, l'insegnamento *Energetica degli Edifici e Impianti Termotecnici* (ex Termotecnica e Impianti Termotecnici) diventa obbligatorio, mentre *Neutronica e Plasmi* passa da obbligatorio a insegnamento a scelta guidata. Viene introdotto, al primo anno, l'insegnamento obbligatorio *Dinamica e Controllo dei Sistemi Energetici*. Vengono creati due ampi gruppi di insegnamenti a scelta guidata, che chiameremo per brevità indirizzi. Ciascun indirizzo propone la scelta di tre insegnamenti su sei. L'indirizzo *Efficienza Energetica e Fonti Rinnovabili* contiene i due nuovi insegnamenti *Sistemi solari e geotermici* e *Tecnologie Oil&Gas*. L'indirizzo *Tecnologie Energetiche Avanzate* contiene il nuovo insegnamento *Tecniche di Modellistica e Simulazione per l'Energetica*.

Il Corso di Studio in Ingegneria Energetica, dopo un inizio con bassi numeri di studenti, come è naturale per un nuovo Corso di Studio, ha avuto un notevole sviluppo, toccando un massimo di iscritti al primo anno pari a 251 per la Laurea Triennale e a 120 per la Laurea Magistrale. I numeri medi di studenti iscritti al primo anno della Laurea Triennale e della Laurea Magistrale nell'ultimo triennio con dati consolidati, cioè il triennio 2015/16, 2016/17, 2017/18, sono rispettivamente 162 e 111. Un diagramma illustrativo del numero di iscritti al primo anno della Laurea Triennale e della Laurea Specialistica o Magistrale, dalla istituzione all'A.A. 2017/18, è riportato in Figura 1.

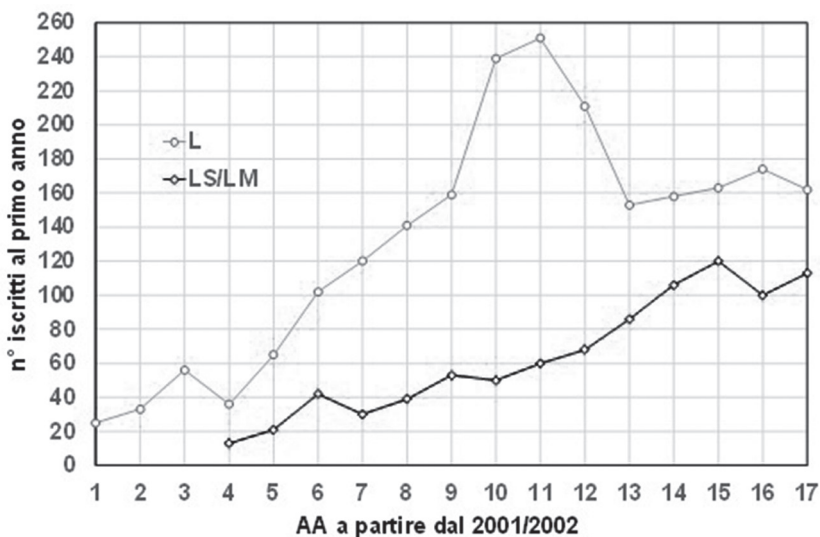


Figura 1. Numero di iscritti al primo anno della Laurea (L) e della Laurea Specialistica o Laurea Magistrale (LS/LM), dall'A.A. 2001/02 all'A.A. 2017/18.

### 3.16. IL CORSO DI INGEGNERIA CHIMICA NELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Francesco Santarelli*

Il quadro normativo di riferimento nel quale si sono collocati gli studi di Ingegneria dalla attivazione delle Regie Scuole dopo l'unità nazionale fino a tempi più recenti è stata oggetto almeno di un altro contributo in questa panoramica dei corsi di Laurea<sup>1</sup> e si rimanda a questo o a una recente comunicazione<sup>2</sup>.

La evoluzione del Corso di Laurea in Ingegneria Chimica verrà pertanto presentata a partire dal 1960, anno in cui fu emanato il D.P.R. 53/60 di riordino degli Studi di Ingegneria e attraverso le più significative modifiche determinate da provvedimenti ministeriali (un quadro sintetico di questi è riportato in Allegato 1).

L'organizzazione degli studi è stata gestita a partire dal 1980 dal Consiglio di Corso di Laurea come formalmente previsto dal D.P.R. 382/1980, e anteriormente a questa data in maniera informale sulla base di accordi tra le aree culturali coinvolte (Allegato 1 *bis*).

Il D.P.R. 53/1960 "sdoganò" i vari sottosectori dell'ingegneria, prima raggruppati nei due soli settori di Ingegneria Civile e Ingegneria Industriale, prevedendo la possibilità di attivare specifici Corsi di Laurea autonomi nell'ambito delle Facoltà e con una offerta didattica tutta fornita all'interno delle Facoltà stesse superando la precedente organizzazione che prevedeva il primo biennio all'interno delle Facoltà di Scienze.

Il Corso di Laurea in Ingegneria Chimica godeva in realtà già dalla sua attivazione, avvenuta nell'A.A. 1939/40, di una sua autonomia come sezione indipendente dai due settori principali ma la sua organizzazione era stata fino ad allora caratterizzata come risultante di una componente di ingegneria tradizionale e di una componente prevalentemente chimica: con l'adeguamento al nuovo quadro regolatorio introdotto dal D.P.R. 53/60 vennero introdotti nuovi elementi maggiormente caratterizzanti la cultura dell'ingegneria chimica come si era affermata nel contesto internazionale. In particolare venne attivato l'insegnamento di Principi di Ingegneria Chimica e vennero previsti sia un secondo insegnamento di Impianti Chimici sia un insegnamento di Chimica Fisica specifico per ingegneri chimici.

La situazione così determinatasi ha portato a un piano di studio quale quello per l'A.A. 1961/62, riportato in Allegato 2.

Un sostanziale riordinamento della organizzazione didattica con una crescente rilevanza di temi specifici dell'ingegneria chimica si ebbe sul finire del decennio a seguito di quanto proposto da una specifica commissione promossa dall'Assemblea

---

<sup>1</sup> U. Meneghetti, *infra*.

<sup>2</sup> F. Santarelli, *infra*.

di Corso di Laurea: vennero in particolare introdotti insegnamenti quali Teoria e Sviluppo dei Processi Chimici e Dinamica e Controllo delle Apparecchiature chimiche e reso biennale Principi di Ingegneria chimica<sup>3</sup>. Nello stesso periodo iniziò l'erogazione degli insegnamenti su due cicli (semestri) in sostituzione della precedente organizzazione che prevedeva un unico ciclo annuale.

Il quadro didattico che si venne allora a formare rimase sostanzialmente stabile negli anni successivi pur con una serie di variazioni e aggiustamenti dettati sia da fattori culturali o emergenti dal contesto sociale e produttivo (nuova finalizzazione dell'insegnamento di Chimica Industriale, introduzione dell'insegnamento di Termodinamica dell'Ingegneria Chimica in sostituzione di quello tradizionale di Fisica Tecnica, nuovi insegnamenti riguardo alle tematiche ambientali, di sicurezza e delle biotecnologie) sia da fattori contingenti (aggiustamenti della offerta didattica in relazione sia alla variabilità del numero degli studenti – caratterizzata da forti oscillazioni negli anni Ottanta – sia alle modifiche del quadro regolamentare).

In tutto questo periodo il percorso alla laurea prevedeva ventinove annualità ed era strutturato su cinque anni. Il primo biennio con un solido nucleo di discipline di base (analisi matematica, fisica, meccanica razionale, chimica generale e organica) era seguito da un terzo anno nel quale venivano impartiti principalmente elementi di base dell'ingegneria (Elettrotecnica, Scienza delle Costruzioni, Metodi di progettazione industriale). Gli ultimi due anni erano pressoché totalmente caratterizzati da insegnamenti tipicamente connotabili come Ingegneria chimica e prevedevano la possibilità per lo studente di scegliere tre insegnamenti all'interno di gruppi di insegnamenti di approfondimento di tematiche specifiche organizzati in forma strutturata in orientamenti (Ambiente e Sicurezza, Biotecnologie, Materiali, Processi).

In questo arco temporale la definizione del piano didattico del corso di Laurea è rientrata tra le competenze degli specifici consigli di Corso di Studio che, prefigurati in forma vaga nel D.L. 580/1973, sono stati formalmente introdotti dall'art. 94 del D.P.R. 382/1980 che ne fissava struttura e competenze.

Si può comunque ritenere che la situazione rappresentata in Allegato ed esistente al momento della attivazione delle modalità organizzative del D.M. 509/1999 (rappresentata in Allegato 3) sia rappresentativa anche della evoluzione della offerta didattica del Corso di Studi dall'inizio degli anni Settanta alla fine del XX secolo.

La organizzazione dei studi universitari in generale e conseguentemente di quello del Corso di Studio ha subito una radicale trasformazione a seguito del D.M. 509/1999 che prevedeva un'organizzazione su due cicli disposti in serie (comunemente indicata come 3+2) e di pesare i singoli insegnamenti in termini di CFU (Crediti Formativi Universitari), misura convenzionale dell'impegno richiesto allo studente per seguire le lezioni e superare la prova finale.

<sup>3</sup> *Relazione della Commissione di studio per il riordinamento didattico della Sezione di Ingegneria Chimica, eletta dall'Assemblea di corso di Laurea del 12 dicembre 1968, archivio personale F. Santarelli.*



Con l'A.A. 2001/02 ha preso gradualmente avvio l'attuazione della nuova organizzazione prevista dal D.M. 509/1999 e sono stati quindi attivati due percorsi:

- Corso di Laurea in Ingegneria chimica (L);
- Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Chimica e di Processo (LS).

L'adeguamento alla nuova organizzazione ha posto, nonostante l'apparente opportunità fornita dal più elevato numero di insegnamenti erogabili ( caratterizzati tuttavia da una minore durata), la necessità di inserire i contenuti formativi all'interno dello schema rigido di ripartizione tra le varie tipologie di classificazione degli insegnamenti<sup>4</sup> e dell'assemblaggio di questi nel rispetto dei vincoli quantitativi, espressi in CFU, per le diverse tipologie.

Questa necessità ha determinato una redistribuzione e una nuova finalizzazione dei contenuti dei vari insegnamenti per tenere conto soprattutto del fatto che il ciclo triennale doveva comunque, nelle intenzioni del legislatore, costituire un percorso che poteva essere considerato concluso di per sé, indipendentemente dal successivo percorso della laurea specialistica.

L'offerta didattica al completamento della attivazione del nuovo ordinamento è quella che risulta dal piano degli studi per l'A.A. 2005/06 (Allegato 4).

Per quanto riguarda la Laurea (triennale) le aree culturali coinvolte sono, sia pur miniaturizzate, quelle della precedente organizzazione quinquennale. Si può comunque notare sia uno spazio contenuto alle discipline di base sia la separazione in insegnamenti distinti del trasporto di calore e di materia in precedenza oggetto di una trattazione unificata nella visione dei fenomeni di trasporto all'interno dell'insegnamento di Principi di Ingegneria Chimica (non più riproposto a livello di Laurea), ed anche l'assenza di percorsi orientati pure in presenza di ampi margini di opzionalità lasciati agli studenti.

Per quanto riguarda la Laurea Specialistica (biennale) è evidente una forte connotazione di Ingegneria Chimica con un ventaglio di opzioni strutturate.

Un primo bilancio della nuova esperienza organizzativa e le modifiche conseguenti sono state effettuate in occasione degli interventi richiesti dalla applicazione delle disposizioni del D.M. MIUR 270/04 (cosiddetta legge Moratti) che imponeva tra l'altro una riconsiderazione dell'offerta didattica alla luce degli organici di personale docente.

La conseguente riorganizzazione avviata nell'A.A. 2008/09 è stata progressivamente attuata ed è giunta a completamento nell'arco di un triennio: l'organizzazione risultante è evidenziata dal piano degli studi dell'A.A. 2011/12 (Allegato 5).

Per quanto riguarda il Corso di Laurea triennale la denominazione è stata modificata da Ingegneria Chimica a Ingegneria Chimica e Biochimica e si è operata una revisione dell'ordinamento con un maggiore spazio riservato alle discipline di base. Sono stati proposti due curriculum "Processi" e "Ingegneria Alimentare" riassorbendo, per questo secondo, elementi già previsti nel corso di Laurea di Ingegneria

---

<sup>4</sup> I piani di studio devono prevedere una predeterminata distribuzione tra attività formative di base, attività caratterizzanti, attività affini e gruppi di attività a vario titolo opzionali per gli allievi.

dell'Industria Alimentare che, attivato nell'A.A. 2004/05, veniva in questa occasione disattivato in considerazione del numero esiguo di studenti in esso immatricolatisi negli anni precedenti.

Per il successivo ciclo biennale la denominazione è stata modificata come previsto dalla normativa da Laurea Specialistica in Laurea Magistrale a contenuti sostanzialmente invariati.

Nell'A.A. 2008/09 ha preso avvio anche la Laurea Magistrale in lingua inglese MASSET (MAterial and Sensor Systems for Environmental Technologies) promosso nell'ambito di un programma UE in collaborazione con altri settori della Facoltà e della Università di Valencia e del Politecnico di Stoccolma con le quali era previsto il rilascio di un titolo congiunto. Si è trattato di una delle prime esperienze di internazionalizzazione dell'ateneo; l'iniziativa, probabilmente perché in anticipo rispetto alla successiva spinta alla internazionalizzazione, non è riuscita a dispiegare le sue potenzialità e, anche per difficoltà intervenute nei rapporti tra le sedi proponenti, è stata disattivata nell'A.A. 2012/13.

Il piano di studio è rimasto sostanzialmente invariato negli anni successivi per quanto riguarda l'offerta didattica consolidata dei due livelli di laurea di base (L, LM) non risentendo in maniera significativa degli effetti determinati a livello della struttura organizzativa generale dall'entrata in vigore della Legge 240/2010 (cosiddetta legge Gelmini)<sup>5</sup>.

Nel percorso della Laurea Magistrale, oltre alla attivazione di un curriculum in Ingegneria Alimentare, sono state introdotte importanti innovazioni come risultato dell'impegno posto nel contribuire al processo di internazionalizzazione promosso dall'Ateneo. L'offerta didattica è stata ampliata introducendo a partire dall'A.A. 2013/14 il curriculum STEM (Sustainable Chemical and Biochemical Technology for Environment and Materials) che, avendo gli stessi obiettivi formativi del parallelo percorso in italiano, è però insegnato in lingua inglese permettendo la possibilità di un doppio titolo con la Columbia University di New York e dando comunque agli studenti migliori possibilità di scambio, sia in entrata sia in uscita, con istituzioni straniere.

All'interno del curriculum STEM, a partire dall'A.A. 2015/16, è stato poi avviato in via sperimentale un percorso in Oil & Gas Engineering che ha successivamente portato all'attivazione, ora in avvio, di un corso di Laurea Magistrale Internazionale in *Offshore Engineering* realizzato in collaborazione con il Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio.

---

<sup>5</sup> La Legge 240/2010 ha tra l'altro previsto l'afferenza dei Corsi di Studio ai Dipartimenti e l'eliminazione delle Facoltà sostituite da strutture di coordinamento didattico, Scuole, prive di un reale controllo della organizzazione didattica: provvedimenti questi che non rendono più agevole la collaborazione tra le differenti aree culturali che concorrono alla formulazione dei piani di studio.

## Allegato 1

### Elenco dei principali provvedimenti legislativi e normativi riguardanti gli studi universitari

1. **D.P.R. 31 gennaio 1960, n. 53** - *Riordinamento degli studi delle Facoltà di Ingegneria.*  
[http://www.edizionieuropee.it/LAW/HTML/31/zn57\\_11\\_035.html](http://www.edizionieuropee.it/LAW/HTML/31/zn57_11_035.html)
2. **D.L. 1 ottobre 1973, n. 580** - *Misure urgenti per l'Università.*  
*Art. 9*  
*«... Qualora il Consiglio di Facoltà, nella composizione di cui al primo e secondo comma, superi il numero di cinquanta membri, può delegare determinate materie a consigli separati per i diversi corsi o indirizzi di laurea...»*  
[http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1973/10/02/073U0580/sg;jsessionid=3yQgXK3IWARSC960BaRTfg\\_\\_.ntc-as5-guri2a](http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1973/10/02/073U0580/sg;jsessionid=3yQgXK3IWARSC960BaRTfg__.ntc-as5-guri2a)
3. **D.P.R. 11 luglio 1980, n. 382** - *Riordinamento della docenza universitaria, relativa fascia di formazione nonché sperimentazione organizzativa e didattica.*  
*Art. 94*  
*Consigli di Corsi di Laurea e di indirizzo*  
*«Nelle Facoltà comprendenti più corsi o indirizzi di laurea, in corrispondenza dei predetti corsi e indirizzi, sono istituiti i consigli di corso di laurea e di indirizzo, di laurea di cui, al decreto-legge 1° ottobre 1973 n. 580, convertito con modifiche, dalla legge 30 novembre 1973 n. 766».*  
[http://www.gazzettaufficiale.it/atto/stampa/serie\\_generale/originario](http://www.gazzettaufficiale.it/atto/stampa/serie_generale/originario)
4. **Decreto 3 novembre 1999, n. 509** - *Regolamento recante norme concernenti l'autonomia didattica degli atenei.*  
[http://www.miur.it/0006menu\\_c/0012docume/0098normat/2088regola.htm](http://www.miur.it/0006menu_c/0012docume/0098normat/2088regola.htm)
5. **Decreto 22 ottobre 2004, n. 270** - *Modifiche al regolamento recante norme concernenti l'autonomia didattica degli atenei, approvato con decreto del Ministro dell'Università e della ricerca scientifica e tecnologica, 3 novembre 1999, n. 509.*  
[http://www.miur.it/0006menu\\_c/0012docume/0098normat/4640modifi\\_cf2.htm](http://www.miur.it/0006menu_c/0012docume/0098normat/4640modifi_cf2.htm)
6. **Legge 30 dicembre 2010, n. 240** - *Norme in materia di organizzazione delle università, di personale accademico e reclutamento, nonché delega al Governo per incentivare la qualità e l'efficienza del sistema universitario.*  
<http://www.camera.it/parlam/leggi/102401.htm>

## Allegato 1 bis

### Presidenti del Consiglio di Corso di Laurea

1980-1983: professor L. Pentimalli (punto di riferimento per la definizione dei piani di studio anche negli anni Settanta)

1983-1994: professor ingegner F.Santarelli

1994-2002: professor ingegner G.C. Sarti

2002-2012: professor ingegner F. Doghieri  
 2012-2018: professor ingegner V. Cozzani  
 2018- : professor ingegner M.G. De Angelis

**Allegato 2**

**Piano degli studi A.A. 1961/62**

(da *Annuario Unibo A.A. 1961/62*, p. 447)

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA	
Materie d'insegnamento	
ANNO I.	Precedenze di esami ad esami
Analisi matematica I . . . . .	—
Geometria I . . . . .	—
Fisica I . . . . .	—
Chimica . . . . .	—
Disegno . . . . .	—
ANNO II.	
Analisi matematica II . . . . .	Analisi I
Meccanica razionale . . . . .	Analisi I
Fisica II . . . . .	—
Disegno II . . . . .	—
Chimica organica . . . . .	Chimica
Geometria II (semestrale) . . . . .	—
ANNO III.	
Analisi statistica . . . . .	—
Chimica applicata . . . . .	—
Chimica fisica . . . . .	Fisica tecnica
Chimica organica (solo per il 1960-61) . . . . .	—
Elettrotecnica . . . . .	—
Fisica tecnica . . . . .	—
Meccanica applicata alle macchine . . . . .	—
Scienza delle costruzioni . . . . .	—
ANNO IV.	
Chimica fisica . . . . .	Fisica tecnica
Chimica industriale I . . . . .	Chimica fisica
Idraulica . . . . .	—
Impianti chimici I . . . . .	Chimica applicata - Chimica fisica
Macchine . . . . .	Fisica tecnica
Principi di ingegneria chimica . . . . .	Chimica fisica
Tecnologie chimiche speciali . . . . .	—
ANNO V.	
Chimica fisica II . . . . .	Fisica tecnica
Chimica e tecnologie dei prodotti ceramici . . . . .	—
Chimica industriale II . . . . .	—
Economia ed organizzazione aziendale . . . . .	—
Elettrochimica . . . . .	—
Impianti industriali chimici . . . . .	Chimica applicata

**Allegato 3****Piano di studio A.A. 2000/01**

(prima della attivazione della organizzazione su due cicli ex D.M. MIUR 509/1999)

(da *Guida Studenti Facoltà Ingegneria A.A. 2000/01*)

<b>ANNO I</b>	
ANALISI MATEMATICA I	1 ciclo
CHIMICA	1 ciclo
FISICA GENERALE I	2 ciclo
FONDAMENTI DI INFORMATICA	2 ciclo
GEOMETRIA E ALGEBRA	2 ciclo
PROVA DI CONOSCENZA DELLA LINGUA INGLESE	
<b>ANNO II</b>	
ANALISI MATEMATICA II	1 ciclo
CHIMICA ORGANICA	1 ciclo
FISICA GENERALE II	1 ciclo
(sem.) ELEMENTI DI TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA: BILANCIAMENTO DI MATERIA ED ENERGIA	2 ciclo
(sem.) FONDAMENTI DI CHIMICA INDUSTRIALE MECCANICA RAZIONALE	2 ciclo 2 ciclo
<b>ANNO III</b>	
ELETTROTECNICA	1 ciclo
SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	1 ciclo
TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA	1 ciclo
ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE	2 ciclo
FONDAMENTI E METODI DELLA PROGETTAZIONE INDUSTRIALE	2 ciclo
PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA I	2 ciclo
<b>ANNO IV</b>	
IMPIANTI CHIMICI I	1 ciclo
MACCHINE	1 ciclo
PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II	1 ciclo
SCIENZA DEI MATERIALI	2 ciclo
TEORIA DELLO SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI	2 ciclo
1 Insegnamento di Orientamento	
<b>ANNO V</b>	
ANALISI DI SICUREZZA NELL'INDUSTRIA DI PROCESSO	1 ciclo
IMPIANTI CHIMICI II	1 ciclo
CHIMICA INDUSTRIALE	1 ciclo
DINAMICA E CONTROLLO DEI PROCESSI CHIMICI	2 ciclo
2 Insegnamenti di Orientamento (1): ovvero un insegnamento di orientamento ed un tirocinio Pratico	

**ORIENTAMENTI**

(in ogni orientamento due insegnamenti bloccati e il terzo a scelta tra quelli proposti)

- 1) Orientamento Ambiente e Sicurezza
- 2) Orientamento Biotecnologie
- 3) Orientamento Materiali
- 4) Orientamento Processi

## Allegato 4

### Piano degli studi per l'A.A. 2005/06

(dopo la completa attivazione dell'ordinamento previsto dal D.M. MIUR 509/1999)

(rielaborazione da *Guida Studenti Facoltà Ingegneria A.A. 2005/06*)

### Laurea in Ingegneria Chimica

1° ANNO				
		cfu	Tip.	Ciclo
Analisi matematica L-A	Mat/05	6	A	1°
Analisi matematica L-B	Mat/03	6	A	2°
Chimica applicata L	Ing-Ind/22	3	B	3°
Chimica organica L	Chim/06	6	C	2°
Elementi di informatica L	Ing-Inf/05	3	A	3°
Fisica generale L-A	Fis/01	6	A	2°
Fisica generale L-B	Fis/01	6	A	3°
Fondamenti di chimica con laboratorio L (1) (corso integrato: Fondamenti di chimica + Laboratorio di Chimica)	Chim/07	6+3	A	1°
Geometria e algebra L	Mat/03	6	A	1°
Lingua straniera: inglese		3	E	
Termodinamica applicata L	Ing-Ind/24	6	B	3°
2° ANNO				
		cfu	Tip.	Ciclo
Costruzione di macchine per l'ingegneria di processo L	Ing-Ind/14	6	B	3°
Economia e organizzazione aziendale L	Ing-Ind/35	6	C	1°
Fluidodinamica e scambio termico L (3)	Ing-Ind/24	9	B	2°
Fondamenti dell'ingegneria di processo L+Termodinamica dell'ingegneria chimica L (2) (corso integrato)	Ing-Ind/24	6+3	B	1°
Fondamenti di chimica industriale L	Ing-Ind/27	3	B	2°
Fondamenti di ingegneria elettrica L	Ing-Ind/31	6	C	2°
Laboratorio di calcolo numerico L		3	F	1°
Macchine L	Ing-Ind/08	6	B	3°
Meccanica dei solidi L	Icar/08	6	B	1°
Processi di scambio di materia e reattoristica chimica L	Ing-Ind/24	6	B	3°
3° ANNO				
		cfu	Tip.	Ciclo
Chimica industriale L	Ing-Ind/27	6	B	3°
Impianti chimici L	Ing-Ind/25	6	B	1°
Ingegneria dei processi di separazione L	Ing-Ind/25	6	B	1°
Scienza dei materiali L	Ing-Ind/22	6	B	1°
Strumentazione e controllo nell'industria di processo L	Ing-Ind/26	6	B	2°
Tecnica della sicurezza ambientale L	Ing-Ind/25	6	B	2°

E inoltre:

- 3 CFU da 1 insegnamento da un gruppo proposto di insegnamento di tipologia B;
- 9 CFU da un gruppo di insegnamenti proposti di tipologia D;
- 6 CFU da un gruppo di Insegnamenti di tipologia F;
- 6 CFU riservati alla prova finale.

*Per un totale di 180 CFU.*

### Laurea Specialistica in Ingegneria di Processo

I ANNO

Analisi numerica LS	Mat/08	3	C	2°
Biochimica e microbiologia industriale LS	Chim/11	6	A	3°
Chimica LS + Laboratorio di chimica LS (corso integrato)	Chim/07	3+	C	2°
		3	F	
Complementi di analisi matematica LS	Mat/05	6	A	1°
Costruzioni di apparecchiature chimiche LS	Ing-Ind/14	6	C	1°
Meccanica dei fluidi e fenomeni di trasporto LS	Ing-Ind/24	9	B	2°
Progettazione di apparati e impianti LS	Ing-Ind/25	9	B	3°
Simulazione e controllo dei processi LS	Ing-Ind/26	6	B	3°
Termodinamica per l'ingegneria chimica LS	Ing-Ind/24	6	B	1°

II ANNO

		Cfu	Tip.	ciclo
Affidabilità e sicurezza nell'industria di processo	Ing-Ind/25	6	B	1°
Chimica industriale LS	Ing-Ind/27	6	B	1°
Corrosione e protezione dei materiali LS	Ing-Ind/22	6	B	2°
Reattoristica chimica LS	Ing-Ind/24	3	B	2°

E inoltre:

- 15 CFU da scelte guidate per i seguenti orientamenti:
  - 1) Alimentaree Biotecnologie
  - 2) Processi
  - 3) Sicurezza e Ambiente
- 6 CFU a scelta da un gruppo di insegnamenti consigliati di tipologia D;
- 12 CFU a scelta da un gruppo di insegnamenti consigliati di tipologia F;
- Prova finale: tipologia E (12 CFU).

*Per un totale di 120 CFU.*

### Allegato 5

#### Piano degli studi A.A. 2011/12

(dopo il completamento dell'attivazione dell'ordinamento previsto dal D.M. MIUR 270/2004)  
(rielaborazione da *Guida Studenti Facoltà Ingegneria A.A. 2011/12*)

#### Laurea in Ingegneria Chimica e Biochimica

*Curriculum Processi*

(non è qui riportato il piano didattico per il curriculum Ingegneria Alimentare)

**Primo anno di corso - Attività formative obbligatorie**

Descrizione	Ciclo	SSD	CFU
ANALISI MATEMATICA T-1	1	MAT/05	9
FONDAMENTI DI CHIMICA E LABORATORIO T C.I.	1		
29225 FONDAMENTI DI CHIMICA T	1	CHIM/07	6
29892 LABORATORIO DI CHIMICA T	1		3
GEOMETRIA E ALGEBRA T	1	MAT/03	6
LABORATORIO DI INGEGNERIA DI PROCESSO T	1		3
LINGUA STRANIERA: INGLESE	1		3
ANALISI MATEMATICA T-2	2	MAT/05	9
CHIMICA ORGANICA E BIOCHIMICA INDUSTRIALE C.I.	2		
29925 CHIMICA ORGANICA T	2	CHIM/06	6
29927 BIOCHIMICA INDUSTRIALE T	2	CHIM/11	3
FISICA GENERALE T-1	2	FIS/01	9

**Secondo anno di corso - Attività formative obbligatorie**

Descrizione	Ciclo	SSD	CFU
ECONOMIA E ORGANIZZAZIONE AZIENDALE T	1	ING- IND/35	6
FISICA GENERALE T-2	1	FIS/01	6
LABORATORIO DI DISEGNO MECCANICO T	1		3
MECCANICA RAZIONALE T	1	MAT/07	6
TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA E BIOCHIMICA T	1	ING- IND/24	9
COSTRUZIONE DI MACCHINE T	2	ING- IND/14	9
ELEMENTI DI INGEGNERIA ELETTRICA T	2	ING- IND/31	9
FLUIDODINAMICA E APPLICAZIONI NUMERICHE T C.I.	2		
29899 ELEMENTI DI INFORMATICA E APPLICAZIONI NUMERICHE T	2	ING- INF/05	6
29897 FLUIDODINAMICA T	2	ING- IND/24	6
FONDAMENTI DI ELETTROCHIMICA T	2	CHIM/02	6



**Terzo anno di corso - Attività formative obbligatorie**

Descrizione	Ciclo	SSD	CFU
CHIMICA APPLICATA E SCIENZA DEI MATERIALI T	1	ING-IND/22	9
CHIMICA INDUSTRIALE T C.I	2		
29931 ELEMENTI DI CHIMICA INDUSTRIALE T	2	ING-IND/27	6
29930 FONDAMENTI DI CHIMICA INDUSTRIALE T	2	CHIM/04	3
MACCHINE A FLUIDO T	1	ING-IND/08	6
OPERAZIONI UNITARIE NELL'INDUSTRIA DI PROCESSO T	2	ING-IND/25	9
PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA E BIOCHIMICA T	1	ING-IND/24	9
PROVA FINALE			3

12 CFU a scelta libera dello studente fra le attività formative dell'Ateneo.

Il CdL indica comunque un gruppo di insegnamenti che considera coerenti con il percorso formativo.

**Laurea Magistrale in Ingegneria Chimica e di Processo****Primo anno di corso**1. Attività formative obbligatorie

Descrizione	Ciclo	SSD	CFU
COMPLEMENTI DI ANALISI MATEMATICA M	1	MAT/05	4
DINAMICA DEI PROCESSI E SIMULAZIONE NUMERICA M C.I.	2		
29150 DINAMICA E CONTROLLO DEI PROCESSI M	2	ING-IND/26	6
29151 ANALISI NUMERICA M	2	MAT/08	4
TERMODINAMICA PER L'INGEGNERIA CHIMICA M	1	ING-IND/24	6
MECCANICA DEI FLUIDI E FENOMENI DI TRASPORTO M	2	ING-IND/24	8
REATTORISTICA E OPERAZIONI UNITARIE M	1	ING-IND/25	8
CHIMICA INDUSTRIALE E SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI M	2	ING-IND/26	8

2. Attività formative a scelta (massimo 12 CFU)

Scelta in uno dei seguenti gruppi:

- 2.1. Biotecnologie e Ambiente
- 2.2. Processi
- 2.3. Materiali

**Secondo anno di corso**1. Attività formative obbligatorie

Descrizione	Ciclo	SSD	CFU
AFFIDABILITÀ E SICUREZZA NELL'INDUSTRIA DI PROCESSO M	1	ING-IND/25	8
PROGETTAZIONE DI APPARECCHIATURE E IMPIANTI M	1	ING-IND/25	8
PROVA FINALE			18

2. Attività formative a scelta (6 CFU)

Scelta in un gruppo di 7 insegnamenti.

3. Altre attività Formative (massimo 12 CFU)

Scelta in un gruppo di 10 insegnamenti.

4. Attività a scelta libera consigliate (12 CFU)

Scelta tra tutte le attività formative dell'Ateneo. Il corso di Studio indica comunque un ampio gruppo di insegnamenti tra i quali effettuare una scelta considerata coerente con il percorso formativo.

### 3.17. IL CORSO DI INGEGNERIA CIVILE NELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Andrea Simone*

#### La nascita fino alla Prima guerra mondiale

Il 16 novembre 1876 il Rettore dell'Università di Bologna, professor Calori, annunciava nel suo discorso di inaugurazione dell'Anno Scolastico 1876/77 [1] che sarebbe nato il Corso pratico d'Ingegneria.

E però non è a dissimulare che, completa nella suddetta maniera la Facoltà matematica, il reintegroamento è ben lontano dall'essere pieno, mancando noi onde a sopperire al bisogno di que' giovani che debbono fare i due ultimi anni del corso pratico d'Ingegneria. E qui la verità vuol che si dica non essere d'accagionare di tal difetto il Sig. Ministro, il quale è dispostissimo anche a questa concessione ognorachè e Municipio e Provincia vogliano provvedere a tant'uopo, e reggere la spesa. E Provincia e Municipio non hanno smentito a loro stessi ed hanno in un con altri fatto un consorzio a ciò. Giova sperare che contro a tal potenza non varranno agguati ed artifici malivolenti, né aspetto maligno: e noi avremo intero il corso pratico di Ingegneria. Sciogliam dunque giubilanti un inno di grazie a loro tutti. E qui non vo' defraudare della meritata lode il signor sindaco Cav. Gaetano Tacconi il quale ha avuto una parte principalissima nel conseguimento di cotanto beneficio, essendosi a tutt'uomo adoperato acciocchè non fallasse la spesa e ne fosse fatta questa concessione.

Dalla prosa ottocentesca si capisce come sia stata importante per la nascita del Corso pratico di Ingegneria, come naturale proseguimento degli studi matematici, la collaborazione tra Università ed Enti locali. Collaborazione che ancora oggi rimane importante per la crescita comune del territorio e dei cittadini.

La Scuola d'applicazione per gli Ingegneri e con essa il Corso di Ingegneria Civile nasce nell'Università di Bologna nell'A.A. 1877/78 [2]. L'annuncio viene dato all'inizio della "Relazione delle cose universitarie più notabili" dal Rettore professor commendator Luigi Calori il 3 novembre 1877: «Nel passato anno scolastico accaddero cose di gran momento per noi, cioè utili e decorose alla Università precipua delle quali si è la istituzione della Scuola Pratica degli Ingegneri civili». Nel suo primo anno di istituzione la Scuola è diretta dal professor Cesare Razzaboni (1827-1893), professore di Idraulica, e prevede nei tre anni di corso 29 insegnamenti.

Al primo anno: Applicazioni di geometria descrittiva, Disegno di applicazioni di geometria descrittiva, Statica grafica, Disegno di statica grafica, Geodesia teoretica, Meccanica razionale, Chimica decimastica, Manipolazioni chimiche.

Al secondo anno: Mineralogia applicata alle costruzioni, Geodesia applicata alle costruzioni, Fisica tecnica, Meccanica applicata alle costruzioni, Materie

giuridiche, Geometria pratica, Disegno di meccanica applicata alle costruzioni, Meccanica applicata alle macchine, Disegno di meccanica applicata alle macchine, Disegno topografico.

Al terzo anno: Materiali da costruzione, Economia ed estimo rurale, Macchine, Strade ordinarie, Idraulica, Ponti, Architettura tecnica, Disegno di macchine, Disegno di ponti e strade, Progetti di architettura, Ferrovie.

Nel 1880 la Scuola Pratica vedeva 17 iscritti al primo anno, 21 iscritti al secondo anno e 30 iscritti al terzo anno, nel 1885 gli iscritti erano già saliti a 118 ed erano ancora 111 nel 1895.

Dal 1893 sostituisce il professor Razzaboni, il nuovo Direttore professor Jacopo Benetti, professore di Macchine termiche, idrauliche ed agricole. L'Annuario dell'Università del 1893 [3] riporta integralmente il necrologio del Rettore dell'Università pronunciato davanti al feretro del professor Razzaboni in cui si ricorda: «l'amore con cui istituì e diresse per quasi venti anni la nostra fiorente Scuola d'applicazione per gli ingegneri».

Durante la Prima guerra mondiale la Scuola rimane aperta come tutta l'Università di Bologna. Tra gli studenti di Ingegneria Civile di Bologna ci sono dei caduti: 7 studenti caduti vengono laureati a Titolo d'onore in Ingegneria Civile nell'Anno Accademico 1917/18 e 4 successivamente nell'Anno Accademico 1918/19.

## Le sedi e gli istituti

Dal 1877 al 1935 la Scuola di Applicazione per gli Ingegneri in Bologna ha avuto sede presso l'ex convento dei monaci celestini, che vi risiedettero dalla metà del XIV secolo fino alla soppressione dell'ordine, decretata nel 1797. L'Annuario dell'Università di Bologna per l'A.A. 1899/1900 [4] (Annuario compilato con notizie più estese per l'esposizione universale di Parigi) contiene le viste e le piante del Fabbricato (vedi Figura 1).

Dall'analisi della pianta si possono notare gli studi dei diversi professori di Ingegneria Civile, le sale da Disegno e i laboratori a disposizione di docenti e studenti.

La "Riforma Gentile" (R.D. 30 settembre 1923, n. 2102) del 1923 sostituì la laurea, titolo di valore esclusivamente accademico, al diploma precedentemente conferito dalla Scuola per Ingegneri, che consentiva l'esercizio della professione di ingegnere. L'abilitazione all'esercizio della professione doveva essere conseguita, dopo la laurea, mediante apposito esame di Stato in sede universitaria diversa da quella in cui era stata ottenuta la laurea.

Nel 1935 viene completata la Facoltà di Ingegneria di viale Risorgimento. La vecchia sede di Piazza dei Celestini diventerà presto la Sede dell'Archivio di Stato. La nuova sede (Figura 2) costruita su progetto dell'architetto Giovanni Vaccaro viene inaugurata il 28 ottobre 1935, nell'anniversario della marcia su Roma. Sempre dall'Anno Accademico 1935/36 la Scuola di Applicazione per gli Ingegneri diventa

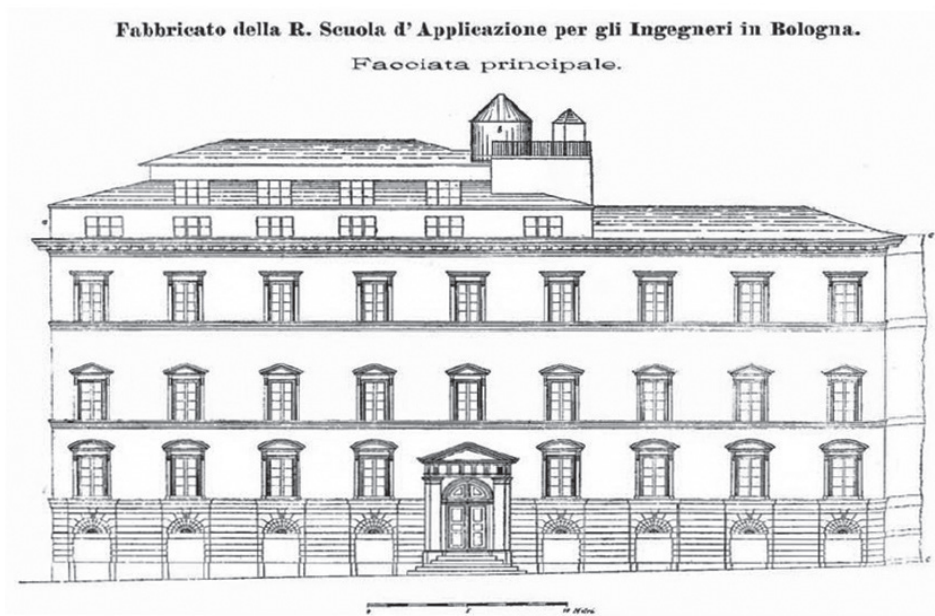


Figura 1. Facciata principale e pianta del II piano della Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri in Bologna [4].



*Figura 2. La sede della Facoltà di Ingegneria di Viale Risorgimento tratta dagli annuari dell'Università [5].*

Facoltà di Ingegneria. Primo Preside della Facoltà è il professor Giuseppe Sartori, docente di Elettrotecnica Generale. La Facoltà nasce con 11 Istituti: Istituto Di Chimica Applicata, Istituto di Costruzioni Idrauliche, Istituto di Costruzioni Stradali e Ferroviarie, Istituto di Elettrotecnica, Istituto di Idraulica, Istituto di Macchine Termiche ed Idrauliche, Istituto di Materiali da Costruzione e Costruzioni civili ed Industriali, Istituto di Meccanica Applicata alle Macchine, Istituto di Scienza delle Costruzioni, Istituto di Tecnologia Meccanica. Il consiglio di Facoltà era formato da circa 30 docenti per 300 studenti e prevedeva 2 lauree: la laurea in Ingegneria Civile e la laurea in Ingegneria Industriale (sottosezione meccanica ed elettrotecnica).

### **Il primo dopoguerra fino agli anni Ottanta**

Dopo gli eventi bellici, la Facoltà ospitò nuovamente la regolare attività didattica con l'inizio dell'anno accademico 1947/48 [6]. Il Preside è il professor Paolo Dore, professore di Topografia con elementi di geodesia e la Laurea in Ingegneria Civile prevede 3 sottosezioni: Edile, Idraulica e Trasporti. Sono altresì attive le lauree in Ingegneria Industriale, Ingegneria Chimica ed Ingegneria Mineraria. Il D.P.R. 31 gennaio 1960, n. 53 "Riordinamento degli studi delle Facoltà di Ingegneria" non cambiò sostanzial-

mente l'ordinamento del corso di Laurea in Ingegneria Civile ma introdusse i primi due anni del Corso quinquennale di studio all'interno del corso stesso con funzione preminentemente propedeutica. Il biennio comprendeva i seguenti insegnamenti fondamentali comuni a tutti i corsi di Laurea [7]: Analisi Matematica I e II, Geometria I e II, Fisica I e II, Meccanica Razionale, Chimica e Disegno.

Il Corso di Studi in Ingegneria Civile rimane sostanzialmente invariato fino all'A.A. 1967/68 [8]. Dopo il biennio propedeutico il piano di studi prevedeva un triennio applicativo con tre sezioni: Edile, Idraulica e Trasporti da scegliere durante il 5° anno di studi. Dall'A.A. 1968/69 [9] ai corsi annuali a svolgimento estensivo vengono aggiunti alcuni corsi intensivi suddivisi in due cicli: Elettrotecnica (I ciclo) e Topografia (II ciclo) al III anno di corso, Meccanica applicata alle macchine e macchine ed Idraulica (I ciclo) e Fondamenti di economia ed estimo con Complementi di Architettura Tecnica (II ciclo) al IV anno di corso ed infine Impianti tecnici civili (I ciclo) e Costruzione di Strade, Ferrovie ed Aeroporti (II ciclo) al V anno di corso.

Nel corso degli anni Settanta ed Ottanta la struttura del Corso di Laurea rimane costante con alcune piccole variazioni. Il piano di studi per l'Anno Accademico 1987/88 prevede per ciascuna delle tre sezioni precedentemente elencate una serie di indirizzi: per la Sezione Edile sono previsti gli indirizzi di Architettura, Territorio, Ambiente, Costruzioni ed Impianti; per la Sezione Idraulica sono previsti gli indirizzi di Costruzioni, Idraulica Teorica, Impiantistico, Territorio, Ambiente e per la Sezione Trasporti, infine, sono previsti gli indirizzi di Costruzioni, Territorio, Ambiente e Trazione [10]. Il numero complessivo degli insegnamenti è sempre di 29 annualità.

### Dagli anni Novanta al nuovo millennio

Nel corso degli anni Novanta si susseguono tre professori come Presidenti del Corso di Laurea in Ingegneria Civile: il professor Agostino Antonio Cannarozzi fino al 1994, il professor Giambattista Scarpi fino al 1996 e il professor Armando Brath fino al 2005. In questi anni il Corso di Studi rimane sostanzialmente invariato nella sua struttura e nell'organizzazione. Il Decreto 3 novembre 1999, n-509 "Regolamento recante norme concernenti l'autonomia didattica degli atenei" modifica sostanzialmente l'impianto normativo delle diverse classi di Laurea (compresa la Laurea in Ingegneria Civile) introducendo i titoli di primo e di secondo livello:

- a) Laurea (L);
- b) Laurea Specialistica (LS).

La nuova norma introduce inoltre i Crediti formativi universitari (CFU) e definisce le regole per la definizione dei "Regolamenti didattici dei corsi di studio". L'applicazione della riforma del 1999 parte dall'A.A. 2001/02. Ogni credito corrisponde a 25 ore di lavoro per studente, dove per lavoro si intende l'impegno complessivo (lezioni, seminari, studio individuale e di gruppo ecc.) ed è espressamente previsto che almeno il 50% dell'impegno orario complessivo deve essere riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale. I crediti (180

per i Corsi di Laurea triennali, 120 per le Lauree specialistiche) possono essere conseguiti non solo con prove di esame, ma anche con tirocini e altre attività formative.

Dopo 124 anni scompare la vecchia struttura del Corso di Laurea in Ingegneria Civile basata su un Corso di Studio quinquennale e parte la nuova struttura denominata 3+2. La Laurea triennale (L) in Ingegneria Civile per complessivi 180 CFU prevede 4 orientamenti:

1. Idraulica;
2. Rilevamento e controllo;
3. Infrastrutture viarie e trasporti;
4. Strutture.

La Laurea Specialistica (LS) in Ingegneria Civile per complessivi 120 CFU prevede 3 orientamenti:

1. Idraulica;
2. Infrastrutture viarie e trasporti;
3. Strutture.

L'idea che ha guidato la costruzione della nuova struttura 3+2 era di formare dei tecnici (Ingegneri Junior) specializzati nelle aree tematiche già presenti nella vecchia laurea quinquennale già al termine della Laurea triennale e di permettere una ulteriore specializzazione alla fine del percorso di Laurea 3+2 che permettesse di ottenere le competenze simili a quelle della laurea a ciclo unico con il biennio propedeutico.

Il titolo di Ingegnere Junior, nei primi anni di applicazione, non si è rivelato particolarmente pronto per il mercato del lavoro e altissime percentuali di laureati triennali proseguivano gli studi nella Laurea Specialistica.

Le disposizioni introdotte nel 2004 dal Decreto 22 ottobre 2004, n. 270 (la cosiddetta Legge Moratti) ha permesso una sostanziale modifica all'impianto del nuovo corso di Laurea in Ingegneria Civile 3+2. Con la Legge Moratti scompare la laurea specialistica (LS) che diventa Laurea Magistrale (LM). Diventa inoltre più semplice (nell'ambito della stessa classe) iscriversi ad una Laurea Magistrale diversa rispetto alla Laurea Triennale conseguita.

Dall'Anno Accademico 2008/09 la Laurea Triennale in Ingegneria Civile perde i 4 orientamenti e viene strutturata con pochi esami a scelta mentre la nuova Laurea Magistrale prevede inizialmente 7 curriculum:

- Strutture
- Costruzioni per l'Edilizia
- Ingegneria Geotecnica
- Ingegneria Idraulica
- Costruzioni per il territorio
- Ingegneria del Rilevamento
- Infrastrutture viarie e Trasporti.

Nel corso degli ultimi 10 anni i curriculum si sono ridotti a 4 pur essendo ancora notevoli le possibilità di personalizzazione dei piani di studio da parte degli studenti:

- Strutture
- Infrastrutture viarie e trasporti



- Costruzioni per l'edilizia e le infrastrutture
- Idraulica e territorio.

### **Il nuovo corso di Laurea internazionale in *Civil Engineering***

Nell'Anno Accademico 2008/09 è partito il corso di Laurea Magistrale Internazionale (completamente in lingua Inglese) in *Civil Engineering*. Sin dall'inizio il corso di Laurea prevedeva 2 curriculum: *Structural Engineering* e *Territorial Infrastructures* e la possibilità di conseguire il Doppio Titolo con la Columbia University di New York. Negli ultimi dieci anni il Corso di Laurea Internazionale in *Civil Engineering* insieme allo sviluppo del corso di Laurea Triennale e Magistrale in Ingegneria Civile hanno permesso scambi Erasmus sempre più numerosi e possibilità di cooperazione tra studenti e docenti in ambito Europeo ed Internazionale sempre più intensi. Il corso di Laurea in Ingegneria Civile in Italiano ed in Inglese, con i suoi 142 anni di storia, è pronto per affrontare le sfide del futuro per preparare tecnici sempre validi e capaci di fronteggiare le problematiche tecniche del nuovo millennio.

### **Bibliografia**

- [1] Discorsi Recitati nella Grande Aula - Regia Università di Bologna – Inaugurando gli studi per l'Anno Scolastico 1876 – 1877 (XVIII del Risorgimento Italiano).
- [2] *Annuario della Regia Università di Bologna – Anno Accademico 1877-1878.*
- [3] *Annuario della Regia Università di Bologna – Anno Accademico 1893-1894.*
- [4] *Annuario della Regia Università di Bologna – Anno Accademico 1899-1900.*
- [5] *Annuario della Regia Università di Bologna – Anno Accademico 1935-1936.*
- [6] *Università di Bologna – Fondata nel secolo XI – Annuario degli Anni Accademici 1948-1948 – 1949-1950.*
- [7] *Università di Bologna – Fondata nel secolo XI – Annuario dell' Anno Accademico 1960-1961.*
- [8] *Università di Bologna – Sorta nel secolo XI – Annuario degli Anni Accademici 1966-1967 – 1967-1968.*
- [9] *Università di Bologna – Sorta nel secolo XI – Annuario degli Anni Accademici 1968-1969 – 1969-1970.*
- [10] *Università di Bologna – Annuario dell'Anno Accademico 1987-1988 Novecentesimo Anno.*

### 3.18. EDUCARE ALLE CULTURE DEL PROGETTO: LA NASCITA DEI CORSI IN DESIGN DEL PRODOTTO INDUSTRIALE E *ADVANCED DESIGN* DEI PROCESSI E DEI SERVIZI ALL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Flaviano Celaschi*

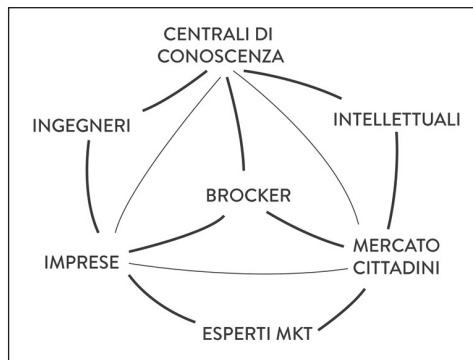
Il Corso di Laurea in Design del Prodotto Industriale viene attivato dall'Università di Bologna nell'A.A. 2013/14 presso il Dipartimento di Architettura all'interno della Scuola di Ingegneria e Architettura. A distanza di due anni, prende avvio un secondo progetto formativo che vede la luce nell'A.A. 2016/17 con l'apertura dei due curricula di Laurea Magistrale in *Advanced Design* dei Prodotti e dei Servizi.

I due percorsi formativi di primo e secondo livello si innestano nell'alveo di realtà – pubbliche e private – di formazione accademica alle culture del progetto, che compongono una ricca offerta didattica regionale capace di accogliere circa 8.500 nuovi studenti l'anno.

Per essere competitivi in questo contesto, l'*Advanced Design Unit* coordinata dal professor Flaviano Celaschi ha, fin dall'origine, individuato obiettivi formativi in stretta relazione con le esigenze del territorio, in cui l'auspicato "rinascimento" della manifattura e dell'industria non poteva prescindere dalla collaborazione sinergica tra ricerca, imprenditorialità e terza missione. In quest'ottica il concetto chiave di *Advanced Design* definisce un approccio alla ricerca e alla formazione che si innesta in un preciso campo problematico caratterizzato dalla crisi della storica deriva tra le centrali di produzione della conoscenza (università, scienziati e centri di ricerca), le imprese che producono beni e servizi e i cittadini, intesi come destinatari della produzione del valore. Un'incomprensione determinata dalla progressiva deriva dei reciproci linguaggi e destini, in cui le strutture di mediazione si sono dimostrate incapaci, o non sufficienti, a tenere insieme le prospettive condivise e a intessere visioni di futuri potenziali.

Oggi, il modello che rappresenta il macro scenario di riferimento nel quale operare prevede progettazione condivisa, industria 4.0, economia circolare, condivisione dei limiti dello sviluppo, ricerca di soluzioni sostenibili. In questo senso, l'area centrale dello schema (Figura 1) – definita area del brokeraggio dei bisogni e delle opportunità – è sempre più rarefatta di connessioni e rappresenta invece il territorio nel quale è urgente recuperare relazioni biunivoche capaci di riavvicinare gli attori allo scopo di condividere i processi di ideazione, creazione, realizzazione dei futuri auspicabili, possibili e condivisibili anche attraverso i processi formativi.

È dalla stessa natura del territorio e dalle sue imprese infatti che il Corso di Laurea in Design del Prodotto Industriale e il Corso di Laurea Magistrale in *Advanced Design* di Bologna sono partiti, avvalendosi fin dagli esordi del sostegno e della collaborazione di manager e tecnici di due aziende leader a livello internazionale del settore packaging, G.D e IMA, per contribuire a formare una figura di progettista che unisca le conoscenze strumentali per lo sviluppo del progetto alla capacità di messa in produzione all'interno delle realtà aziendali presenti nella Regione.



*Figura 1. Modello semplificato di costruzione delle relazioni tra sistemi fondativi della società contemporanea. Al centro di questo modello, nel quale ogni agente sembra scivolare alla deriva, tende a formarsi un vuoto che dovrebbe svolgere un'azione concreta e conciliante di mediazione dei bisogni e dei saperi.*

### Attività didattiche, progetti speciali e azioni divulgative

Per fronteggiare le molteplici sfide dei complessi fenomeni contemporanei, accelerazione, globalizzazione, sostenibilità, è determinante creare nuovi sistemi di mediazione tra imprese, cittadini, centri di ricerca e istituzioni del territorio. Le opportunità di relazione e le sinergie attivate dall'*Advanced Design Unit* dell'Università di Bologna per rispondere a questi obiettivi sono molteplici, ma è possibile sintetizzarle in tre macro-categorie:

- attività didattica e tirocini;
- consulenze e progetti speciali;
- azioni divulgative.

La presenza di brief concordati con aziende del settore è un tema costante dell'attività didattica dei laboratori di progettazione, a partire dal secondo anno del Corso di Laurea di primo livello, periodo durante il quale la ricerca dell'identità del progettista viene messa alla prova attraverso la capacità di esplorazione e mediazione con il committente. L'obiettivo è apprendere a fornire risposte progettuali applicate al caso specifico, imparando a condurre e a utilizzare metodi e strumenti di analisi merceologica, di settore, aziendale, della concorrenza diretta, ecc. A tal fine, i brief vengono direttamente concordati con aziende e realtà del territorio e presentano un livello di complessità e numerosità progressiva nel corso del successivo terzo anno. Inoltre, al percorso didattico nei laboratori di progetto, si affianca l'esperienza dei tirocini, condotti preferibilmente su progetti concordati durante il Laboratorio di Sintesi Finale del terzo anno con la docenza e con l'impresa ospite. Un processo di relazione tra università e imprese prodotto anche attraverso l'Osservatorio del Design degli enti e delle imprese che ha visto crescere in modo esponenziale il numero di realtà convenzionate all'Ateneo *ad hoc* per ospitare studenti in attività di progetto (Figura 2).

A livello magistrale, la forma della relazione con aziende e attori del sistema imprenditoriale del territorio viene gestita in modo più strutturato con la creazione di abbinamenti specifici per ciascun laboratorio progettuale, anche attraverso forme di convenzionamento per la didattica. Nell'arco del biennio di studi, lo studente



Figura 2. Numero di studenti del terzo anno del Corso di Laurea in Design del Prodotto Industriale che hanno svolto un tirocinio e natura delle realtà coinvolte. Si precisa che il Corso di Laurea in Design del Prodotto Industriale dell'Università di Bologna ha un numero di accesso programmato pari a 100 studenti per A.A.

sperimenta le competenze acquisite attraverso una decina di esperienze progettuali in collaborazione con *stakeholder* reali.

Oltre all'invito a ruoli di docenza all'interno dei laboratori di progettazione, in cui potere sviluppare specifici temi di ricerca d'interesse delle aziende, i corsi, fin dalla loro attivazione, propongono alle imprese progetti disegnati su misura per le esigenze più diverse. Si tratta di un secondo livello di coinvolgimento in forma di "progetti speciali", in cui la relazione tra università e territorio viene gestita puntualmente, al di fuori delle aule accademiche, coinvolgendo gli studenti in modalità di *experiential learning* per la progettazione di prodotti e servizi.

Infine, il terzo livello di collaborazione riguarda la divulgazione e la promozione delle modalità di relazione tra università e imprese a una comunità allargata attraverso l'organizzazione di eventi in cui presentare i risultati delle attività didattiche e creare opportunità di crescita. Le "Design Talks. Conversazioni attorno al Design", istituite dal primo anno di apertura del Corso di Laurea (A.A. 2013/14), sono uno degli strumenti utilizzati per portare a riflessioni sui processi e sulle pratiche di progetto, mettendone in luce attori e approcci. Nelle diverse edizioni, i *talks* hanno approfondito importanti tematiche, dall'innovazione di prodotti, servizi e processi alle *digital humanities*, dall'*interaction* all'*advanced design*. Altro strumento di contaminazione e fertilizzazione tra la comunità dei Corsi di Design e il contesto culturale e produttivo territoriale sono le mostre Exhibit Lab che si svolgono all'interno della Scuola in occasione degli Open Day e di appuntamenti internazionali messi in scena

a Bologna, come ad esempio la Bologna Design Week. Le esposizioni valorizzano i progetti degli studenti, narrano il rapporto tra design, territorio e manifattura, informano le comunità di cittadini e non addetti ai lavori, creano contaminazioni tra ambiti disciplinari.

### **Obiettivi**

Incentivare, incrementare e promuovere le sinergie tra la formazione alle culture del progetto e il contesto produttivo e sociale è un compito dell'*Advanced Design Unit*, che dalla sua fondazione ha accelerato l'attivazione di relazioni multi livello tra imprese, enti e istituzioni e i corsi in Design. La diffusione delle pratiche e degli strumenti propri del design di prodotti e servizi permette alle imprese e agli enti del territorio di confrontarsi con la ricerca al fine di anticipare scenari futuri, nuovi modelli e processi. L'*Advanced Design Unit*, anche attraverso i corsi in Design del prodotto industriale e *Advanced Design* dei Prodotti e dei Servizi, alimenta questo *network* circolare, progettando una didattica che si basa su contaminazioni tra ricerca, *experiential learning*, opportunità produttive del territorio e lo sviluppo di un *mindset* imprenditoriale.

### **3.19. IL CORSO DI STUDI IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA NELL'ATENEO BOLOGNESE**

*Giovanni Mochi*

#### **Considerazioni introduttive: il contesto storico**

Il corso di Ingegneria Edile - Architettura, attivo a Bologna dall'A.A. 2002/03, materializza l'ultima fase del lungo percorso che ha interessato la formazione di una figura professionale con specifiche competenze sia nel settore dell'ingegneria civile, sia in quello dell'architettura alla quale è stata riconosciuta l'equiparazione del titolo di Architetto nell'intera Unione Europea.

La nascita di questo nuovo profilo formativo si lega direttamente alle attività intraprese, sin dalla istituzione delle prime Scuole per Applicazione per gli Ingegneri, nate nella seconda metà del XIX secolo in diverse sedi italiane, per preparare un professionista che sapesse offrire una valida risposta alle tante domande che si sollevavano da una società in continua trasformazione, nella quale i temi dell'architettura, dell'edilizia, dell'urbanistica e dell'ingegneria civile rappresentano da sempre aspetti di grande rilievo. E se all'inizio tutte queste esigenze nella società ottocentesca trovavano risposte nell'operato di una figura multiforme, quale quello dell'ingegnere di derivazione politecnica, nel senso che tale espressione assume riferendosi alle formazioni della Francia post-rivoluzionaria, con il passare del tempo e con le continue trasformazioni economiche e sociali, sorse l'esigenza di creare tecnici con particolari e specifiche competenze.

Così si assiste, nei primi decenni del XX secolo, alla nascita di diversi profili nella formazione dell'ingegnere, rispondenti alle diverse richieste provenienti dal mondo della nascente industria nazionale e l'iniziale figura dell'ingegnere polivalente inizia a subire quel processo di necessaria specializzazione idonea a sostenere il processo di avanzamento tecnologico nei diversi campi.

Il settore delle costruzioni e della trasformazione del territorio ha costituito per l'economia nazionale uno dei comparti di maggiore interesse per numero di addetti e per entità degli investimenti e della ricchezza prodotta. Mentre l'edilizia, intesa come attività tecnica che specificamente si occupa della costruzione di edifici, costituiva ancora tra XIX e XX secolo una categoria del mondo produttivo meno interessata dagli avanzamenti tecnologici e più ancorata alla sfera della prassi operativa e dell'empiria, altri settori, quelli che poi costituiranno il perno dell'ingegneria civile quali l'idraulica e le infrastrutture stradali e ferroviarie iniziarono in quel periodo a caratterizzare particolarmente la formazione dei tecnici a livello universitario.

A cavallo del cambio di secolo si produsse una più attenta articolazione del percorso formativo dell'ingegnere italiano: la sistematizzazione delle conoscenze scientifiche applicate ai materiali da costruzione portò alla progressiva nascita dell'inge-

gneria strutturale, che proprio in Italia, ed a Bologna in particolar modo, trovò un fertile terreno di sviluppo.

Se lineare e progressiva può essere la ricostruzione delle vicende che portarono alla definizione del percorso formativo dei tecnici con specifiche competenze nei campi testé menzionati, caratterizzati tutti dal costituirsi di modalità tecniche ed operative su solide basi scientifiche apprese nel biennio iniziale degli studi, non altrettanto semplice è riassumere attraverso quali tappe si giunse a definire, nelle Scuole di Ingegneria, il percorso formativo nel campo delle materie che si occupavano di architettura ed urbanistica, stante la costante presenza di una figura professionale specifica, quella appunto dell'architetto, che si rese autonoma, anche in chiave formativa, da quella dell'ingegnere a partire dalla fondazione a Roma della prima Scuola Superiore di Architettura nel 1919.

In precedenza, e cioè dalla Legge Casati del 1859 che pose le basi per l'insegnamento universitario italiano, erano le Scuole di Applicazione per Ingegneri che rilasciavano diplomi sia per la figura di architetto sia per quella di ingegnere civile; questa formulazione stravolse la consuetudine storica per cui erano le accademie di belle arti a formare gli architetti, ma con evidenza il nascente stato unitario voleva conformarsi agli ordinamenti del rinnovato Stato francese in cui l'inquadramento delle competenze professionali di più alta formazione doveva rispondere a precise esigenze di interesse nazionale. Successive disposizioni normative resero meno netto il contorno del processo formativo per gli architetti, in quanto da più parti del mondo artistico italiano si sollevavano critiche verso i programmi dedicati agli architetti nelle Scuole di Ingegneria, considerandoli troppo plasmati sulle materie scientifiche mentre l'insegnamento artistico era considerato carente.

L'inserimento del curriculum di architetto all'interno delle scuole per gli ingegneri aveva, come fine, quello di definire un profilo professionale di tecnico che fosse competente nel progettare edifici civili, residenziali e non, che seguissero criteri ritenuti necessari nella società ottocentesca e che andavano oltre le categorie estetiche che contrassegnavano l'insegnamento nelle accademie di belle arti. Queste erano esigenze di funzionalità, igiene, decoro urbano, economia e di programmazione e gestione delle risorse. Non a caso il diploma rilasciato era di architetto civile, ove l'aggettivo indicava specificamente il carattere funzionale di questa formazione dedicata a rispondere ai bisogni della società.

Dopo l'istituzione della prima Scuola superiore per architetti di Roma altre ne seguirono, a segnare l'inizio di una decisa separazione dei percorsi formativi tra le figure dell'ingegnere civile e quella dell'architetto, ma ciò non significò la scomparsa degli insegnamenti architettonici nel curriculum degli ingegneri civili anche in ragione del riconoscimento dei profili professionali che si attuò, progressivamente, con il riconoscimento degli Ordini, attuato definitivamente con la legge n. 1395 del 1923 che riconosceva l'equivalenza delle due figure anche a livello di competenze.

Ciò che potrebbe apparire come una contraddizione, e cioè la richiesta di avere percorsi formativi differenziati a monte conservando una sostanziale parificazione delle competenze a valle, va interpretata alla luce di un dibattito culturale che si

sviluppo nel periodo tra le due guerre mondiali, quando alcuni docenti nelle Scuole di Ingegneria iniziarono a percepire come superato, e non al passo con i tempi, l'insegnamento erogato in tali scuole per le materie architettoniche. Senza entrare nel merito di questo dibattito, che comunque possiamo ricomprendere nel considerare tale insegnamento appiattito intorno ad una didattica incentrata sulla fredda applicazione di criteri stilistici in maniera acritica, è interessante sottolineare come le nuove scuole di architettura acquisirono l'impostazione di base di quelle d'ingegneria, arricchendo i programmi con insegnamenti dedicati alla storia dell'architettura e dell'arte, ampliando il settore del disegno e della composizione architettonica, introducendo l'architettura d'interni, ma lasciando comunque gli insegnamenti di matematica, fisica, meccanica razionale e scienze delle costruzioni.

Se furono ragioni di apertura al conteso internazionale e di un aggiornamento formativo a spingere verso la nascita delle Scuole di Architettura, in quelle di Ingegneria era maggiormente sentito il richiamo alle richieste del mondo della produzione industriale e così nel 1935 si giunse all'emanazione di un decreto, il n. 2044, che sanciva, ai fini di una maggiore specializzazione dei tecnici, la suddivisione del ramo dell'Ingegneria civile in tre sottosezioni: l'edile, l'idraulica e quella dei trasporti mentre il ramo industriale venne suddiviso in ulteriori tre indirizzi. Ma lungi dall'essere ancora una vera e propria suddivisione per specializzazioni, stante l'unicità della figura professionale dell'ingegnere così come sancita negli Ordini, rimaneva un folto numero di materie ritenute comuni ad entrambi i rami e così, vicino ad insegnamenti come *Architettura e composizione architettonica*, *Tecnica urbanistica*, *Costruzioni in legno, ferro e cemento armato*, coesistevano *Costruzioni idrauliche*, *Costruzioni marittime* insieme a *Comunicazioni elettriche*, *Impianti industriali meccanici*, *Metallurgia e metallografia* e *Chimica industriale*.

Questo scenario si mantenne, con alcune varianti, sino alla riforma attuata nel 1960, in cui i bienni, precedentemente erogati dalle scuole di matematica, vennero incorporati nei singoli Corsi di Laurea. L'azione di alcuni docenti delle materie più vicine alle tematiche architettoniche, sin da quel periodo, portò progressivamente ad una differenziazione della sezione Edile del corso di Ingegneria Civile ed alla creazione di piani di studio specifici più vicini alle problematiche proprie dell'edilizia e dell'urbanistica. Lo sforzo per una sempre maggiore adesione tra piani formativi universitari ed esigenze della società e del mondo della produzione si coronò con l'emanazione del D.P.R. 20/05/1989 in cui vennero riorganizzati in maniera dettagliata i Corsi delle Facoltà di Ingegneria e così nacque, in luogo della sezione Edile del Corso di Ingegneria Civile, un autonomo Corso di Ingegneria Edile.

### **Dagli inizi della Scuola per Applicazione degli Ingegneri al nascita del corso di Ingegneria Edile nell'Ateneo bolognese**

I corsi dell'Ateneo bolognese seguirono le vicissitudini nazionale riassunte nel testo precedente. Va sottolineato che dal momento della sua costituzione (1877), prima come Scuola di Applicazione per Ingegneri, e successivamente come Facoltà di



Ingegneria, l'attività didattica e di ricerca nei settori dell'edilizia e delle costruzioni attinse livelli di spiccata rilevanza nel panorama nazionale. Basti ricordare l'importanza che tale scuola ebbe nella diffusione delle conoscenze teoriche ed applicative nel settore delle costruzioni in conglomerato cementizio armato. Docenti e tecnici laureati a Bologna contribuirono notevolmente alla diffusione di tale tecnica e l'insegnamento universitario ebbe un ruolo fondamentale in questo senso. Oltre a Silvio Canevazzi e Odone Belluzzi, che ebbero un ruolo fondamentale nella codificazione della Scienza delle Costruzioni attraverso cui si sono formate generazioni di ingegneri civili ed edili, vanno ricordati: Piero Pozzati, divenuto un punto di riferimento nazionale per la Tecnica delle Costruzioni; Attilio Muggia docente di Architettura Tecnica e tra i primi concessionari del brevetto Hennebique per l'utilizzo del cemento armato in Italia; Pierluigi Nervi, che si laureò a Bologna con Attilio Muggia e con lo stesso iniziò la sua eccezionale carriera professionale.

Anche a Bologna, dopo il passaggio da Scuola di Applicazione, poi Regia Scuola, alla Facoltà di Ingegneria nel 1935, si istituì la sezione Edile del corso di Ingegneria Civile in cui grande spazio ebbero sempre, insieme al nutrito nucleo di insegnanti ingegneristici, le materie più vicine all'edilizia, all'architettura ed all'urbanistica che facevano riferimento all'Istituto di Edilizia, anch'esso fondato nel 1935. In conseguenza del già citato D.P.R. 20/05/1989 a Bologna si attuò la ristrutturazione del Corso di Ingegneria Civile e delle sue storiche sezioni; nell'A.A. 1990/91 veniva aperto il Corso di Ingegneria Edile con la specifica finalità di formare un tecnico che poteva interpretare le esigenze del settore dell'architettura e delle costruzioni che, dopo la grande fase espansiva degli anni Sessanta e Settanta, aveva iniziato a mostrare segnali di una necessaria trasformazione.

Il corso prevedeva, rispetto alla sezione Edile del Corso in Ingegneria Civile, un ampliamento dell'offerta didattica nella progettazione e composizione architettonica, nella tecnologia dell'architettura e nell'urbanistica, settori che caratterizzavano i tre indirizzi formativi, con due insegnamenti obbligatori per ciascun settore. L'attenzione alle problematiche dell'edificato esistente, tema assolutamente nuovo e che diverrà un tema specifico di questi Corsi di Laurea nelle Facoltà di Ingegneria, si condensò nell'insegnamento di *Progetti per il risanamento ed il recupero edilizio* mentre gli insegnamenti a scelta vennero definiti in funzione dei tre indirizzi: *Compositivo, Tecnologico e Territoriale*.

Il legame tra contesto territoriale ed Università viene così a consolidarsi in quei settori strategici per l'economia e per l'intera società regionale: basti ricordare come Bologna e più in generale l'Emilia-Romagna costituiscano importanti poli, ancor oggi, nell'azione e nel dibattito culturale nazionale intorno ai temi dell'urbanistica e della costruzione. Questo ruolo specifico prende forma e si consolida a partire dagli anni Sessanta del XX secolo, quando Bologna diviene una sorta di laboratorio sperimentale per le politiche urbane, sia in merito all'attenzione verso l'espansione edilizia quanto in ragione alle innovative strategie di recupero del centro storico.

Il piano formativo del Corso in Ingegneria Edile, così come si consolidò negli anni dopo la sua apertura, si caratterizzava per un forte ancoramento alle materie

tecniche e scientifiche come già era successo nella vecchia sezione Edile del Corso in Ingegneria Civile, ma la spinta verso le tematiche architettoniche ed urbanistiche appare chiara tanto da far divenire meno forti nell'articolazione degli insegnamenti, ma non nei contenuti, le differenze con i Corsi di Architettura a livello nazionale.

### **Il laborioso passaggio da Ingegneria Edile ad Ingegneria Edile - Architettura**

Il Corso in Ingegneria Edile rappresentava anche un tentativo verso il riconoscimento di tale laurea come titolo di valore europeo per l'ingresso nella professione di architetto, successivamente alla emanazione della direttiva CEE n. 384 del 10/06/1985, tesa a disciplinare ed armonizzare, all'interno degli Stati membri, la formazione idonea per tale figura. Il riconoscimento comunitario non venne, però, concesso, in quanto si sostenne che il piano formativo del corso in Ingegneria Edile, così come riportato nella rivisitazione della fondamentale tabella XXIX all'interno del D.P.R. 20/05/89, non fosse sufficiente a caratterizzare il percorso formativo come idoneo all'accesso alla professione di architetto a livello europeo.

Poiché anche molti corsi in Architettura di altre università italiane ottennero tale approvazione, l'allora Ministro Antonio Ruberti, a capo del nuovo Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica (MURST), insediò una Commissione mista Ingegneria-Architettura con lo scopo di studiare i criteri di armonizzazione tra i corsi italiani e la direttiva CEE n. 384. Questa commissione, di cui per il corso bolognese faceva parte il professor Lugli, produsse i documenti necessari all'approvazione di una nuova Tabella XXIX, allegata al D.M. 22/05/1995, che venne riproposta per l'approvazione a livello comunitario.

Va sottolineato come il Corso di Ingegneria Edile attivato a Bologna dall'A.A. 1990/91, non solo faceva propri gli indirizzi emanati con la tabella XXIX allegata al D.M. 20/05/89, ma si spingeva oltre, prevedendo già due insegnamenti di Disegno ed uno di Economia ed Estimo civile che costituivano alcuni degli elementi critici per il riconoscimento europeo. La nuova tabella XXIX del D.M. 22/05/95, frutto della commissione citata, stabiliva che i corsi di Ingegneria Edile dovessero avere un ordinamento comprendente, tra gli altri, tre annualità dell'insegnamento di *Composizione Architettonica* ed un Corso di *Restauro Architettonico*, con un aumento delle ore di didattica fino a 4250, comprendendo anche attività di laboratori progettuali.

Nonostante questa nuova proposta vi furono, a livello della commissione europea, delle opposizioni al riconoscimento della Laurea in Ingegneria Edile per l'accesso alla professione di architetto, ma venne fatto notare, dai rappresentanti italiani, che questa nuova formulazione aveva il consenso degli ordini professionali interessati ed anche dei presidi delle Facoltà di Architettura e che, a livello nazionale, i laureati in Ingegneria potevano già operare nel campo della progettazione architettonica. La recente introduzione dell'autonomia universitaria, operata nei primi anni Novanta, convinse allora la Commissione europea a concedere l'approvazione solo dopo che ciascun ordinamento

didattico fosse stato analizzato e così si giunse, pur se con grande fatica ed a maggioranza, al parere favorevole sulla nuova proposta della tabella XXIX in data 21/02/1998. Successivamente si arrivò alla concreta e specifica approvazione dei primi tre ordinamenti didattici presentati dai nuovi Corsi di Laurea in Ingegneria Edile - Architettura delle Università di Roma La Sapienza, L'Aquila e Pavia, espresso dalla Commissione Europea in data 04/12/1999, già attivi per l'A.A. 1998/99.

Tale documento sanciva ufficialmente la possibilità per i laureati del nuovo corso di Ingegneria Edile - Architettura di poter operare nel campo dell'architettura a livello europeo. Da quel momento le università interessate poterono approvare l'apertura di questo nuovo Corso di Laurea, diretta trasformazione del precedente corso in Ingegneria Edile, in cui coesisteva sia una radicata formazione di tipo ingegneristico, sia una adeguata preparazione nel campo della progettazione architettonica e della pianificazione territoriale, coronando in tale modo uno sforzo pluridecennale di consentire ad un laureato in Ingegneria la piena possibilità di operare in campo europeo nella professione di Architetto.

Il nuovo Corso di Laurea in Ingegneria Edile - Architettura venne approvato anche dal Consiglio della Facoltà di Ingegneria di Bologna nella seduta del 04/06/1999, come trasformazione del precedente Corso in Ingegneria Edile. L'ordinamento didattico del nuovo corso venne plasmato su quelli già approvati dal MURST per i tre Atenei che per primi si conformarono a quanto deliberato dalla Commissione Europea. Nonostante tutto il corso non riuscì ad essere attivato immediatamente, poiché necessitavano sia l'approvazione dell'Ateneo, sia quella ministeriale. In aggiunta a ciò intervenne anche la legge di riforma universitaria promulgata con il D.P.R. 509/99 che introduceva i crediti formativi e riformulava le classi di Laurea in triennale, specialistica e specialistica a ciclo unico, portando quindi l'università italiana a conformarsi alla cosiddetta Dichiarazione di Bologna, l'accordo internazionale raggiunto proprio nel 1999 per la creazione di uno "Spazio Europeo dell'Istruzione Superiore". Solo il 07/02/2002, con Decreto Rettorale n. 39, si ottenne l'approvazione dell'Ateneo e finalmente il nuovo corso laurea specialistico a ciclo unico in Ingegneria Edile - Architettura iniziò il suo percorso con l'A.A. 2002/03.

Il pieno riconoscimento europeo si ebbe con la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale Europea del 30/09/2005 in cui si sanciva il completo adeguamento alla direttiva 85/384/CEE a partire dall'A.A. 2003/04, insieme ai medesimi corsi di altre 11 università italiane.

### **Caratteri specifici del Corso in Ingegneria Edile - Architettura**

Dopo aver delineato il complesso percorso che ha portato all'apertura del Corso di Studi in Ingegneria Edile - Architettura, è utile sottolineare le peculiarità e le opportunità offerte da questo percorso formativo. Esso consente ai propri laureati di accedere all'esame di stato sia per la professione di Ingegnere, sia per quella di Architetto secondo l'ordinamento vigente in Italia e di accedere alla professione di Architetto

in tutti i Paesi membri dell'Unione Europea nel rispetto dei diversi ordinamenti nazionali. Non essendo presente, nell'ordinamento giuridico europeo, una direttiva che conformi ed omogeneizzi i percorsi formativi universitari per l'accesso alla professione di Ingegnere, questa laurea non consente il libero esercizio di tale professione in ambito comunitario, essendo il riconoscimento del titolo soggetto a risoluzioni specifiche per ogni Stato nazionale. Ciò significa che ciascun ordinamento nazionale può richiedere specifiche modalità per giungere al riconoscimento della laurea in Ingegneria conseguita in un Paese estero.

Il laureato in Ingegneria Edile - Architettura, corso che dopo la riforma introdotta dal D.M. 270/04 viene definito come Corso di Laurea magistrale a ciclo unico (LMCU), possiede un solida formazione per poter esercitare entrambe le professioni, sia nella forma di professionista libero o associato, sia per operare all'interno degli uffici delle pubbliche amministrazioni o alle dipendenze di imprese private. Tale formazione consente al laureato di essere particolarmente preparato per ricoprire i ruoli di coordinamento tra le figure professionali specialistiche oltre che avere la possibilità di progettare, dirigere e gestire opere di particolare complessità nel campo dell'architettura e dell'ingegneria civile.

Il percorso formativo si articola in 5 anni e per giungere alla laurea occorre aver acquisito 300 CFU (crediti formativi universitari) dopo aver superato un numero minimo di esami pari a 29. Gli insegnamenti si dividono in attività di base, caratterizzanti ed affini per un totale di 27 materie e 280 CFU a cui si aggiungono insegnamenti a scelta dello studente per un totale di 20 CFU che possono essere acquisiti con 2 o 3 materie opzionali.

Il corso prevede un accesso programmato su base nazionale. Ciò significa che il MIUR (Ministero per l'Università e la Ricerca) definisce per ogni A.A. il numero di posti disponibili. L'immatricolazione è possibile con il superamento di una prova di ammissione che consente di essere inseriti nella graduatoria nazionale. Tale graduatoria è unica sia per i corsi in Architettura quanto per quelli in Ingegneria Edile - Architettura. Il futuro studente, all'atto dell'iscrizione alla prova di ammissione, sceglie fino ad un massimo di 5 sedi, in ordine di preferenza, in cui vorrebbe iscriversi. L'incrocio dei dati tra posizione occupata in graduatoria e posti disponibili nelle sedi selezionate porta alla possibilità di iscrizione del futuro studente.

Attualmente al corso in Ingegneria Edile - Architettura con sede a Bologna sono assegnati 82 posti per anno per cittadini comunitari e 4 posti riservati a cittadini non dell'Unione Europea. Sono attivi numerosi scambi con università estere nell'ambito del programma ERASMUS sia in ingresso che in uscita. Tali scambi movimentano un complessivo di circa 60 studenti in uscita e 40 in ingresso per ogni A.A.

In conclusione viene mostrato il piano didattico dell'A.A. 2002/03, in cui venne attivato per la prima volta il Corso di Studi in Ingegneria Edile - Architettura. Questo primo piano didattico si articolava in attività formative, raggruppate in 8 aree disciplinari:

1. Area della storia dell'architettura e dell'arte;
2. Area delle rappresentazione e del rilievo;

3. Area della matematica e della fisica;
4. Area economica, giuridica e sociologica;
5. Area della progettazione architettonica e del restauro;
6. Area dell'urbanistica;
7. Area della produzione edilizia e delle tecnologie edilizie;
8. Area della progettazione e delle tecnologie delle strutture.

Una tale organizzazione costituisce ancor oggi l'ossatura dell'offerta formativa erogata, aggiornata in base ad alcune mutate necessità organizzative e di adeguamento alle richieste del mondo esterno. Essa può agevolmente essere consultata nel sito del Corso: <https://corsi.unibo.it/magistralecu/IngegneriaEdileArchitettura>.

*Piano didattico del Corso di Laurea in Ingegneria Edile - Architettura per l'A.A. 2002/03.*

<i>1° anno</i>	<i>CFU</i>
Analisi Matematica 1	6
Informatica grafica	6
Storia dell'Architettura 1	9
Laboratorio progettuale di Storia dell'Architettura 1	2
Geometria	6
Disegno dell'architettura 1	9
Laboratorio progettuale di Disegno dell'architettura 1	3
Fisica generale	6
<hr/>	
<i>2° anno</i>	<i>CFU</i>
Analisi Matematica 2	6
Disegno dell'architettura 2	9
Laboratorio progettuale di Disegno dell'architettura 2	3
Legislazione OO.PP. e dell'edilizia. Diritto urbanistico e Sociologia C.I.	6
Meccanica razionale	7
Estimo	8
Storia dell'Architettura 2	9
Laboratorio progettuale di Storia dell'Architettura 2	2
<hr/>	
<i>3° anno</i>	<i>CFU</i>
Scienza delle costruzioni	10
Laboratorio progettuale di Scienza delle costruzioni	3
Architettura tecnica 1	8
Laboratorio progettuale di Architettura tecnica 1	2
Urbanistica	8
Laboratorio progettuale di Urbanistica	2

Fisica tecnica ambientale	10
Architettura e composizione architettonica 1	8
Laboratorio progettuale di Architettura e composizione architettonica 1	2
Idraulica e costruzioni idrauliche (urbane) C.I.	10
<hr/>	
<i>4° anno</i>	<i>CFU</i>
Tecnica delle costruzioni	10
Laboratorio progettuale di Tecnica delle costruzioni	3
Architettura tecnica 2	8
Laboratorio progettuale di Architettura tecnica 2	2
Tecnica urbanistica	8
Laboratorio progettuale di Tecnica urbanistica	2
Architettura e composizione architettonica 2	8
Laboratorio progettuale di Architettura e composizione architettonica 2	2
Tecnologia dei materiali e chimica applicata	7
Organizzazione del cantiere	8
Laboratorio progettuale di Tecnologie edilizia	2
<hr/>	
<i>5° anno</i>	<i>CFU</i>
Architettura e composizione architettonica 3	8
Laboratorio progettuale di Architettura e composizione architettonica 3	2
Geotecnica	10
Restauro architettonico	8
Laboratorio progettuale di Restauro architettonico	2
Lingua inglese	3
Stage e tirocini	5
Laboratorio tesi di laurea	13
Prova finale	13
<hr/>	
<i>1 insegnamento d'orientamento a scelta tra:</i>	
<b>ORIENTAMENTO A</b>	
Architettura e composizione architettonica 4	8
Architettura tecnica e tipologie edilizie	8
<b>ORIENTAMENTO B</b>	
Architettura e composizione architettonica 4	8
Progettazione urbanistica	8
<b>ORIENTAMENTO C</b>	
Architettura e composizione architettonica 4	8
Architettura tecnica 3	8

---

*I insegnamento d'orientamento a scelta tra:*

---

ORIENTAMENTO A

Recupero e conservazione degli edifici 8

Chimica e tecnologia del restauro e della conservazione dei materiali 8

Costruzioni in zona sismica 8

Rilievo dell'architettura

ORIENTAMENTO B

Costruzione di strade, ferrovie e aeroporti 8

Tecnica urbanistica 2 8

Topografia e fotogrammetria 8

ORIENTAMENTO C

Tecnica delle costruzioni 2 8

Impianti elettrici 8

Impianti tecnici 8

Tecniche di produzione e conservazione dei materiali edilizi 8

---

### 3.20. INGEGNERIA DEI PROCESSI E DEI SISTEMI EDILIZI

*Ernesto Antonini*

Il CdS di Classe LM-24 è attivo presso la sede di Ravenna dall'A.A. 2009/10, con denominazione "Ingegneria dei sistemi edilizi e urbani" (ordinamento didattico approvato con D.M. 5/5/2009, Codice: 0941).

Nell'A.A. 2013/14 è stato adottato un nuovo piano didattico, modificato rispetto a quello precedentemente vigente e propedeutico all'introduzione di un nuovo ordinamento didattico, che è effettivamente entrato in vigore nell'A.A. 2014/15, anno da cui il Corso di Studio è attivo con la denominazione: "Ingegneria dei processi e dei sistemi edilizi" (Codice: 8829).

Pur mantenendone invariata la collocazione nella stessa Classe di Laurea LM-24, le modifiche introdotte (denominazione, ordinamento, regolamento e piano didattico, con attivazione di due curricula, di cui uno internazionale) hanno ridisegnato il profilo formativo, orientandolo maggiormente sulle tematiche del recupero dell'edilizia storica (riabilitazione, riqualificazione, consolidamento) e differenziando i due curricula.

Il primo ciclo biennale regolato da questo rinnovato ordinamento si è concluso nell'A.A. 2016/17 (primi 10 laureati proclamati il 14 ottobre 2016). Gli immatricolati dal 2014/15 sono in media 55 all'anno, per circa il 50% in possesso di Laurea di Primo Livello conseguita in Ateneo diverso dall'Università di Bologna. La ripartizione degli immatricolati fra i due curricula è discontinua, con una media di 16 immatricolati per il curriculum internazionale e 39 per quello in italiano.

Per il curriculum erogato in lingua inglese, è attivo un programma di *dual degree* con Tongji University di Shanghai, a cui hanno partecipato finora 10 studenti italiani, 7 dei quali hanno concluso il percorso didattico e sono già in possesso del doppio titolo (italiano e cinese).

L'architettura del CdS è stata progettata con l'obiettivo specifico di formare di professionisti di elevata specializzazione, dotati delle competenze necessarie a svolgere e dirigere le attività di pianificazione, coordinamento e controllo dei processi di riabilitazione dell'edilizia storica, occupando le posizioni caratterizzate da queste mansioni sia all'interno delle aziende del settore costruzioni e dell'indotto, sia nella P.A., ovvero offrendo agli stessi soggetti tali servizi come attività libero-professionale.

Il laureato magistrale in Ingegneria dei processi e dei sistemi edilizi potrà coprire ruoli di gestione, di progettazione e di coordinamento nel rilievo, diagnosi, consolidamento e riabilitazione dell'edilizia storica in cui sono necessarie conoscenze di elevato profilo al fine di integrare competenze tecnico-ingegneristiche, storico-critiche, organizzative e gestionali, normative.



Al fine di rispondere adeguatamente alle esigenze di specializzazione del settore di riferimento, il CdS è stato articolato in due curricula, che integrano un nucleo comune di competenze tipiche della formazione dell'Ingegnere Magistrale edile, completandolo con approfondimenti che riguardano rispettivamente:

- lo studio delle condizioni tecniche, giuridico-economiche e organizzativo-gestionali necessarie all'ottimizzazione e il controllo dei processi edilizi di trasformazione e riabilitazione del costruito (curriculum 1: "Gestione del processo edilizio nel recupero di edifici storici", erogato in lingua italiana);

- l'analisi critica dei caratteri del patrimonio storico, la diagnosi delle sue condizioni di conservazione e la definizione delle modalità per il consolidamento e il ripristino dei manufatti, applicando soluzioni efficaci e tecniche compatibili con la tutela dei suoi caratteri (curriculum 2: "Historic Buildings Rehabilitation", erogato in lingua inglese).

Il percorso formativo è organizzato in 4 ambiti, ai quali fanno capo gli insegnamenti caratterizzanti del corso:

- area della Storia dell'architettura, dell'urbanistica, della Conservazione e della tutela del patrimonio architettonico, storico, paesaggistico e ambientale;
- area della rappresentazione, della diagnostica e del rilievo;
- area della Tecnologia dell'architettura, della Produzione edilizia e delle Scienze economico-giuridiche applicate all'organizzazione dei processi edilizi;
- area della Progettazione e delle Tecnologie delle strutture.

## PIANO DIDATTICO

Curriculum gestione del processo edilizio nel recupero di edifici storici				Curriculum Historic Buildings Rehabilitation			
Anno di corso	Insegnamento	Ssd	Cfu	Anno di corso	Insegnamento	Ssd	Cfu
1	Diritto dei contratti pubblici M	Ius/10	6	1	Advanced structural mechanics M	Icar/08	9
1	Idoneità lingua inglese b-2		6	1	Conservation theory of historic buildings and heritage conservation M	Icar/19	9
1	Laboratorio di requisiti di benessere e comfort ambientale M C.I. - Progettazione esecutiva m - Requisiti di benessere e comfort ambientale M	Icar/11 Ing-ind/11	6 3	1	Materials and technologies for historic buildings M	Icar/11	6
1	Teorie della conservazione degli edifici storici e del patrimonio architettonico	Icar/19	6	1	Survey of historic buildings M	Icar/17	6

1	Costruzioni M-B	Icar/09	12	1	Design projects M	Icar/12	9
	Economia e programmazione della commessa nel settore costruzioni M	Ing-ind/35	6	1	Historic masonry and wood structures M	Icar/08	9
1	Modellazione BIM M	Icar/17	6	1	History of italian/european architecture M	Icar/18	6
1	Storia delle tecniche e dei processi dell'architettura M	Icar/18	6	1	Materials preservation for cultural heritage M	Ing-ind/22	6
2	Laboratorio di requisiti e regolamentazione M C.I. - Fondamenti di performance design M - Principi di urbanistica e legislazione paesaggistica/ ambientale M - Progettazione architettonica M	Icar/12	9	2	Laboratory of structural diagnostics and rehabilitation m.c.i. Structural diagnostics and seismic assessment m Structural trengthening and rehabilitation M	Icar/09	9
		Icar/20	3				9
		Icar/14	6				9
2	Tirocinio		12	2	Internship M or Research on historic building M		12
	Prova finale		18		Final examination		18
<b>Attività formative a scelta libera consigliate</b>				<b>Attività formative a scelta libera consigliate</b>			
Consolidamento e restauro delle opere monumentali M		Icar/19	6	Geomatic engineering for cultural heritage M		Icar/06	6
Geomatic engineering for cultural heritage M		Icar/06	6	Mineralogical and petrographical characterization of natural and artificial stone materials M		Geo/09	8
Tecnologia del recupero edilizio M		Icar/12	6	Economia e programmazione della commessa nel settore costruzioni M		Ing-ind/35	6
Disciplina delle infrastrutture		Iu6/06	6	Environmental impact on materials, deterioration and ageing M		Fis/07	6
Historic masonry and wood structures M		Icar/09	9	Laboratory of geotechnical engineering for the preservation of historic buildings M		Icar/07	3

### 3.21. L'INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

#### *A partire anche dall'eredità della Ingegneria Mineraria*

*Paolo Macini, Ezio Mesini*

#### **L'Ingegneria Mineraria**

Fra i vari Corsi di Laurea in cui si articolava la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna fino alla fine degli anni 1980, una posizione particolare occupava quello di Ingegneria Mineraria. Parlare di Mineraria significa essenzialmente riflettere sul rapporto uomo-ambiente in relazione all'utilizzazione delle risorse del sottosuolo, non trascurando di ricordare l'elevato grado di professionalità che, in rapporto a questi temi, ha sempre caratterizzato coloro che, operando in questo campo, hanno reso possibile lo sfruttamento delle materie prime e delle fonti di energia.

La creazione di un apposito Corso di Laurea, quale luogo in cui tale professionalità viene trasmessa e si evolve, va vista come una esigenza nata dagli stessi sviluppi di una società industriale che impone una sempre più serrata e sistematica utilizzazione delle risorse naturali. Così in alcune Facoltà di Ingegneria si è venuta a delineare nei suoi specifici caratteri e competenze, la figura dell'Ingegnere Minerario. È una figura che, contrariamente all'opinione comune, si differenzia nettamente da quella del geologo, che è invece caratterizzata da una preparazione prevalentemente naturalistica.

La sintesi degli aspetti tecnici e geologici rappresenta la caratteristica peculiare dell'ingegneria mineraria, trovandosi tale disciplina assai spesso a confrontarsi con problematiche alla cui soluzione concorrono sia una solida preparazione professionale e culturale sia doti di immaginazione, tanto che la coltivazione delle miniere viene quasi ovunque indicata come "Arte Mineraria". È in questo senso che va letta quella progressiva evoluzione della figura dell'ingegnere minerario, evoluzione che ha segnato, e non poteva essere altrimenti, il Corso di Laurea presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna.

Una prima fase che arriva circa alla metà degli anni Cinquanta fu caratterizzata ed indirizzata essenzialmente alla coltivazione ed alla ricerca dei minerali e degli idrocarburi, con particolare riguardo all'arte mineraria, agli impianti minerari ed alle perforazioni petrolifere. A partire dal 1959 con l'accresciuta importanza degli idrocarburi nell'ambito nazionale, sorse a Bologna una Scuola diretta a far conoscere agli allievi di mineraria la nuova disciplina della Meccanica dei giacimenti di idrocarburi (*Reservoir Engineering*), in parallelo a quanto avveniva nelle altre università europee. Da allora, essa ha caratterizzato la laurea mineraria bolognese, differenziandola, almeno in parte, da quella fornita nelle altre Sedi nazionali. Nel contempo anche la sezione mineraria "classica", o "secca", fu potenziata inserendo nel piano di studi altri corsi a scelta riguardanti il trattamento dei minerali e gli impianti minerari.

Verso la fine degli anni Sessanta si sentì la necessità di ampliare la preparazione dei laureati fornendo loro, attraverso adeguati corsi, competenze ben precise nel campo delle scienze applicate della terra. Furono così accesi, fra gli altri, i corsi di Meccanica delle Rocce, di Consolidamento dei Terreni e di Difesa e Conservazione del Suolo. In seguito, si attivarono altri corsi per completare il campo di azione dell'ingegnere minerario, ovviamente mantenendo inalterata la didattica di base caratteristica della sezione, che divenne sempre più vicino al moderno "geoingegnere". All'insegnamento fu inoltre associata la pratica: ad ogni allievo del IV e V anno erano assicurati tirocini pratici della durata di circa un mese presso miniere, cantieri di perforazione o di produzione di idrocarburi e grandi cantieri di costruzioni o scavo in roccia. Vale infine ricordare il favorevole rapporto docenti-studenti del Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria, corso che si teneva solo in altre quattro Università italiane, Cagliari, Roma, Torino, Trieste. Nel "vecchio ordinamento", il Corso di Laurea era strutturato su 29 esami, di cui quattro a scelta dello studente, secondo gli indirizzi elencati di seguito.

*Indirizzo Miniere e-Cave* - con lo scopo di affinare le conoscenze dell'ingegnere nel campo della ricerca e della produzione delle materie prime minerali e dei materiali per l'industria delle costruzioni. Specifica in tal senso deve essere la preparazione sia nel settore degli impianti (energia, trasporto, estrazione, eduazione e ventilazione), che debbono soddisfare a condizioni di lavoro particolarmente impegnative, sia nel trattamento dei minerali, quale mezzo per rendere disponibili -i materiali grezzi in mercantili, atti cioè ad essere utilizzati in altri settori industriali.

*Indirizzo Idrocarburi e Fluidi del Sottosuolo* - con lo scopo di orientare la preparazione dell'ingegnere verso la ricerca e la produzione dei fluidi del sottosuolo (idrocarburi, vapori endogeni ed acqua) utilizzati quali risorse energetiche ed idriche o quali materie di base. A tal fine, lo studio delle misure e dei controlli nei giacimenti fornisce le informazioni più complete sulla natura dei fluidi e sulla consistenza dei giacimenti, mentre lo studio delle tecniche di produzione e di trasporto fornisce gli strumenti per una razionale coltivazione dei giacimenti e per il trasporto dei fluidi ai luoghi di trasformazione ed utilizzo.

*Indirizzo Costruttivo* - con lo scopo di completare la preparazione dell'ingegnere ai fini della progettazione, costruzione e organizzazione del cantiere nelle grandi opere che coinvolgono scavi in roccia o movimenti di terra, quando i problemi connessi con le scienze geoingegneristiche assumono rilevanza paragonabile a quelli dell'ingegneria strutturale.

*Indirizzo Difesa e Conservazione del Suolo* - con lo scopo di fornire la preparazione dell'ingegnere per analizzare e proporre soluzioni tecniche appropriate ai problemi della sistemazione razionale del territorio. Ciò in relazione sia agli aspetti della geoingegneria, sia della difesa e della conservazione del suolo dalla degradazione dovuta ad agenti naturali e all'azione dell'uomo.

Di seguito si riportano le attività formative del Corso di Laurea in Ingegneria Mineraria nella sua articolazione quinquennale, così come risultavano nell'anno accademico 1989/90:

*I anno:* Analisi matematica I, Disegno, Chimica, Fisica I, Geometria.

*II anno:* Analisi matematica II, Fisica II, Mineralogia e petrografia, Geologia Meccanica razionale, un insegnamento a scelta tra Disegno II e Calcolo numerico e programmazione.

*III anno:* Chimica applicata, Fisica tecnica, Scienza delle costruzioni, Elettrotecnica, Giacimenti minerari, una materia di indirizzo.

*IV anno:* Macchine, Meccanica dei giacimenti di idrocarburi, Meccanica delle rocce, Arte mineraria, Meccanica applicata alle macchine, Topografia, due materie a scelta di indirizzo.

*V anno:* Idraulica, Geofisica mineraria, Tecnica dei sondaggi, tre materie a scelta di indirizzo.

*Indirizzo Miniere e cave.* Geotecnica, Idrogeologia applicata, Complementi di arte mineraria, Consolidamento dei terreni, Preparazione dei minerali, Legislazione mineraria, Economia ed organizzazione aziendale.

*Indirizzo Idrocarburi e fluidi del sottosuolo.* Geotecnica, Idrogeologia applicata, Misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi, Produzione e trasporto degli idrocarburi, Tecnologia chimica del disinquinamento, Legislazione mineraria, Economia ed organizzazione aziendale.

*Indirizzo Geotecnico-costruttivo.* Tecnica delle costruzioni, Geotecnica, Idrogeologia applicata, Complementi di arte mineraria, Consolidamento dei terreni, Calcolo numerico e programmazione, Tecnica delle fondazioni.

*Indirizzo Ambiente e Territorio.* Tecnica delle costruzioni, Geotecnica, Idrogeologia applicata, Complementi di arte mineraria, Consolidamento dei terreni, Difesa e conservazione del suolo, Tecnologia chimica del disinquinamento, Legislazione mineraria.

## **L'Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio dagli inizi sino ai nostri giorni**

La presa di coscienza dell'importanza delle problematiche ambientali ai fini della salvaguardia della qualità della vita sul nostro Pianeta favorì, alla fine degli anni Ottanta, l'istituzione nelle Università italiane dei Corsi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio (si veda il D.P.R. 20 maggio 1989, concernente "Modificazioni all'Ordinamento Didattico delle Facoltà di Ingegneria", Gazzetta Ufficiale del 10 agosto 1989), con l'obiettivo precipuo di formare giovani professionisti con competenze multidiscipli-

plinari, in grado sia di analizzare le questioni riguardanti le complesse dinamiche che coinvolgono le componenti ambientali e le trasformazioni territoriali, sia di pianificare, progettare, gestire e mantenere le opere e gli interventi necessari a garantire lo sviluppo in armonia con la tutela dell'ambiente. In particolare, la base comune della preparazione del laureato specialista è la progettazione di opere e impianti compatibili con il territorio e l'ambiente, formando tecnici in grado di operare nella pianificazione, progettazione, realizzazione e gestione di sistemi ambientali anche complessi.

Con l'istituzione dei Corsi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio venne così a svilupparsi un settore dell'ingegneria che riguardava lo sviluppo di tecnologie destinate a minimizzare l'impatto delle attività antropiche (agricoltura, industria, insediamenti urbani, trasporti ecc.) sugli ecosistemi naturali e sulla salute pubblica, coprendo una vasta gamma di attività rivolte alla protezione delle risorse naturali: gestione integrata del ciclo dell'acqua, dalle opere di captazione al trattamento e smaltimento dei reflui e dei fanghi; gestione dei rifiuti, con attenzione al recupero di materie prime e di energia; protezione della qualità dell'aria mediante la riduzione dell'inquinamento da emissioni industriali e da motorizzazione; sviluppo di tecnologie per rendere ecocompatibili le produzioni industriali di materie prime, agricole e zootecniche; risanamento di ambienti naturali compromessi, quali falde contaminate, suoli inquinati, laghi eutrofizzati ecc.; monitoraggio; valutazione dell'impatto ambientale e promozione dello sviluppo sostenibile, nonché di predisporre piani di Protezione Civile.

All'Università di Bologna, gli attuali Corsi di Studio in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio derivano dal Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio, attivato nella Facoltà di Ingegneria a partire dall'anno accademico 1990/91 e immediatamente a seguito del D.P.R. 20 maggio 1989. Articolato secondo il percorso unico di durata quinquennale, il Corso di Laurea fu organizzato, fin dall'attivazione, secondo 5 diversi Indirizzi, denominati, rispettivamente:

- Ambiente;
- Difesa del Suolo;
- Pianificazione e gestione territoriale;
- Georisorse;
- Geotecnologie.

Di seguito si riportano le attività formative del Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente così come risultavano nel suo assetto di regime nell'anno accademico 1995/96:

*I anno:* Analisi matematica 1, Disegno tecnico industriale, Chimica, Fisica 1, Geometria

*II anno:* Analisi matematica 2, Fisica 2, Geologia, Geologia applicata, Meccanica razionale, Fondamenti di informatica, Elementi di ecologia.

*III anno:* Fisica tecnica, Scienza delle costruzioni, Elettrotecnica, Idraulica, Meccanica applicata alle macchine + Macchine, Economia ed organizzazione aziendale, una materia di indirizzo.

*IV anno:* Meccanica delle rocce, Topografia, due materie a scelta di indirizzo.

*V anno:* sei materie di indirizzo.

Idraulica, Geofisica mineraria, Tecnica dei sondaggi, quattro materie a scelta di indirizzo.

*Indirizzo Ambiente.* Elettrotecnica II, Tecnica del controllo ambientale, Ingegneria sanitaria ambientale, Idrologia tecnica, Principi di Ingegneria chimica ambientale, Ingegneria del territorio, Localizzazione dei sistemi energetici, Diritto dell'assetto territoriale, Modellistica e controllo dei sistemi ambientali, Processi biotecnologici ambientali, Tecnica della sicurezza ambientale, Chimica industriale, Analisi strumentale e controllo dei materiali, Analisi di sicurezza nell'industria di processo, Idrogeologia applicata, Meccanica dei fluidi nel sottosuolo, Acquedotti e fognature, Valorizzazione delle materie prime, Gestione delle risorse idriche, cave e recupero ambientale, Interazione fra le macchine e l'ambiente.

*Indirizzo Difesa del suolo.* Pianificazione territoriale, Diritto minerario, Ingegneria sanitaria ambientale, Tecnica delle costruzioni, Geotecnica, Idrologia tecnica, Costruzioni idrauliche, Meccanica dei fluidi nel sottosuolo, Modellistica e controllo dei sistemi ambientali, Diritto dell'assetto territoriale, Tecnica dei sondaggi, Consolidamento dei terreni, Protezione idraulica del territorio, Geofisica applicata, Tecnica della sicurezza ambientale, Gestione delle risorse idriche, Cave e recupero ambientale, Idrogeologia applicata.

*Indirizzo Pianificazione e gestione territoriale.* Tecnica urbanistica, Tecnica delle costruzioni, Ingegneria sanitaria ambientale, Tecnica della sicurezza ambientale, Gestione delle risorse idriche, Pianificazione territoriale, Tecnica dei sondaggi, Diritto minerario, Diritto dell'assetto territoriale, Cave e recupero ambientale, Tecniche di analisi urbane e territoriale, Ingegneria del territorio, Fotogrammetria, Interazione fra le macchine e l'ambiente, Analisi di sicurezza nell'industria di processo.

*Indirizzo Georisorse.* Mineralogia e petrografia, Giacimenti minerari, Geofisica applicata, Arte mineraria, Valorizzazione delle materie prime, Diritto minerario, Tecnica dei sondaggi, Diritto dell'assetto territoriale, Ingegneria dei giacimenti di idrocarburi, Meccanica dei fluidi nel sottosuolo, Impianti minerari, Idrogeologia applicata, Cave e recupero ambientale, Produzione e trasporto degli idrocarburi, Misure e controlli nei giacimenti di idrocarburi.

*Indirizzo Geotecnologie.* Mineralogia e petrografia, Tecnica delle costruzioni, Geotecnica, Meccanica dei fluidi nel sottosuolo, Diritto minerario, Geofisica applicata, Ingegneria del Territorio, Ingegneria degli scavi, Tecnica dei sondaggi, Valorizzazione delle materie prime, Consolidamento dei terreni, Impianti minerari, Fotogrammetria, Costruzione di strade ferrovie ed aeroporti, Diritto dell'assetto territoriale, Strutture di fondazione, Cave e recupero ambientale.

Nell'anno accademico 1992/93 veniva attivato il Corso di Diploma Universitario in Ingegneria Ambiente e Risorse: strutturato inizialmente nel solo indirizzo in

“Idrocarburi”, fu successivamente sviluppato nei due indirizzi “Risorse” e “Ambiente” (anno accademico 1993/94).

Tale organizzazione è rimasta integralmente in vigore fino all’anno accademico 2001/02, allorquando, per effetto delle modifiche all’Ordinamento degli Studi Universitari introdotte dal Decreto del Ministro dell’Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica n. 509 del 3 novembre 1999, fu avviato, progressivamente nel tempo, il passaggio all’articolazione su due livelli del percorso degli studi di Ingegneria, con esito finale il conseguimento prima della Laurea (con durata triennale) e, quindi, in successione della Laurea Specialistica (durata biennale). Nel suddetto anno accademico 2001/02 si ebbe, quindi, l’attivazione del I anno della nuova organizzazione del Corso di Studio in Ingegneria per l’Ambiente ed il Territorio, e la contestuale disattivazione sia del Corso di Diploma universitario in Ingegneria Ambiente e Risorse sia del Corso di studio a ciclo unico in Ingegneria per l’ambiente e il territorio, di cui al D.P.R. 20 maggio 1989. Il nuovo Corso di Studio veniva inquadrato nell’ambito della Classe delle Lauree in Ingegneria Civile e Ambientale (Classe 8) e distinto in tre Curricula alternativi:

- Georingegneria;
- Tecniche e tecnologie ambientali;
- Protezione del suolo e del territorio.

Al termine del primo triennio, nell’anno accademico 2004/05, fu attivata anche la Laurea Specialistica in Ingegneria per l’Ambiente ed il Territorio (Classe LS38), suddivisa negli stessi tre curricula alternativi della laurea triennale.

L’organizzazione degli studi è stata poi nuovamente modificata da un ulteriore Decreto del Ministro dell’Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica (Decreto n. 270 del 22 ottobre 2004), che ha mantenuto l’articolazione degli studi di Ingegneria in due livelli, denominandoli “Laurea” (con durata triennale) e, posta in successione, “Laurea Magistrale” (con durata biennale). Tale nuova organizzazione è stata avviata, per la Laurea (inquadrata nella Classe delle Lauree in Ingegneria Civile e Ambientale), a partire dall’anno accademico 2008/09 e quindi è stata completata nell’anno accademico 2010/11, con l’attivazione del terzo anno.

Di seguito si riportano le attività formative, i numeri tra parentesi indicano i Crediti Formativi Universitari.

#### *I anno*

Analisi matematica t-1 (9). Chimica e chimica applicata t.c.i. (9). Complementi di analisi matematica ed elementi di calcolo delle probabilità t (9). Economia e organizzazione aziendale t (6). Fisica generale t-1 (9). Geometria e algebra t (6). Idoneità lingua inglese b - 1 (3). Laboratorio CAD t (5). Laboratorio di trattamento dati per l’ingegneria ambientale t (4).

#### *II anno*

Energia, idrocarburi e ambiente t (6). Fisica generale e fisica tecnica ambientale t.c.i. (12). Geologia e geologia applicata t (9). Geotecnica t (6). Idraulica t (9).



Ingegneria per l'ambiente e la sicurezza dei processi produttivi t (9). Scienza delle costruzioni t (9).

### *III anno*

Cartografia numerica e GIS t (6). Conversione e utilizzazione dell'energia t (9). Elementi di tecnica delle costruzioni t (6). Prova finale (3). Topografia t (6). Tutela dell'ambiente e attività antropiche (6). Attività formative a scelta (12): Fondamenti chimici, strumentazione e impianti per la tutela ambientale t c.i. (12). Idrologia e infrastrutture idrauliche t c.i. (12). Ingegneria delle materie prime t c.i. (12). Attività formative a scelta libera consigliate (12): Diritto dell'ambiente t (6). Dispersione nell'ambiente di sostanze inquinanti: fondamenti e applicazioni t (3). Etica ambientale t (3). Fondamenti chimici, strumentazione e impianti per la tutela ambientale t c.i. (12). Geostatistica ambientale t (6). Idrologia e infrastrutture idrauliche t c.i. (12). Ingegneria degli acquiferi t (6). Ingegneria delle materie prime t c.i. (12). Ingegneria sanitaria ambientale t (6). Laboratorio di chimica applicata t (3). Laboratorio di prova finale (6). Lingua straniera: inglese b2 (6).

Nell'anno accademico 2010/11 è stato avviato anche il primo anno della Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio (Classe delle Laurea Magistrali LM35), con il conseguente spegnimento del primo anno della Laurea Specialistica.

A partire dall'anno accademico 2011/12, con l'attivazione del secondo anno della Laurea Magistrale (e la definitiva soppressione della Laurea Specialistica) l'attivazione del nuovo ordinamento degli studi è stata portata definitivamente a compimento.

Il nuovo Corso di Laurea Magistrale nasce con l'obiettivo formativo specifico di formare le figure professionali Ingegnere ambientale esperto in protezione del suolo e del territorio, Ingegnere ambientale esperto in tecniche e tecnologie ambientali, Ingegnere ambientale esperto in georisorse e geotecnologie. L'obiettivo specifico del Corso è perseguito attraverso un percorso didattico centrato sulla definizione di un approfondito percorso formativo nel quale l'allievo possa acquisire la piena padronanza degli aspetti metodologico-operativi delle scienze di base e dell'Ingegneria, con privilegio degli aspetti nell'ambito dell'ingegneria per l'ambiente e il territorio. I laureati magistrali potranno approfondire le caratteristiche dei metodi, delle tecniche, degli apparati, dei sistemi e delle infrastrutture fondamentali per la progettazione, esecuzione, gestione e controllo delle opere che comportano modificazioni, anche molto complesse, della biosfera con particolare riferimento a quello strato della terra nel quale si accumulano le funzioni antropiche nonché le risorse di interesse attuale e potenziale per l'uomo.

Il Corso di studio presenta una spiccata multidisciplinarietà ed intersettorialità che si realizza a partire da un'ampia base comune di conoscenze e si orienta attraverso tre principali obiettivi formativi specifici volti a operare nei settori:

- degli scavi a cielo aperto ed in sotterraneo, dei sondaggi in terreni e rocce, per la progettazione avanzata di gallerie ed altre opere civili e minerarie. Sviluppa altresì

gli aspetti scientifici e tecnologici innovativi relativi alla coltivazione e valorizzazione delle georisorse, finalizzate alla produzione sostenibile di materie prime e materiali industriali. Vengono evidenziati gli aspetti innovativi legati alla progettazione e alla sicurezza dei cantieri, i processi innovativi di trattamento e di recupero dei materiali da demolizioni e l'impatto ambientale dell'attività estrattiva.

- nell'area dei fluidi del sottosuolo prepara tecnici altamente specializzati in grado di utilizzare le metodologie e le tecniche più avanzate per la esplorazione, ricerca e produzione dei fluidi presenti nel sottosuolo (idrocarburi, acqua, fluidi geotermici) e studia, in particolare: il moto monofase e multifase ed il trasporto di sostanze miscibili e non miscibili; le tecniche più avanzate per la salvaguardia delle risorse idriche sotterranee e gli interventi connessi per il loro disinquinamento; le tecniche di campionamento del suolo mediante sondaggi di varia natura.

- dell'analisi del rischio ambientale, con riferimento a condizioni particolarmente complesse, indotto da attività e da insediamenti antropici. La valutazione complessiva prevede di effettuare: in sede di progettazione avanzata, lo studio di impatto ambientale delle fasi di realizzazione, operatività e dismissione delle attività, ivi incluso il rischio da eventi incidentali ed il destino ambientale degli inquinanti; in sede di esercizio, lo sviluppo di sistemi avanzati di gestione ambientale, di sicurezza e di monitoraggio degli innumerevoli parametri di misura degli impatti.

Lo studio delle tecniche sopra riportate è integrato da un approfondimento della conoscenza di elementi per l'analisi, la realizzazione e gestione degli interventi tecnologici per il contenimento delle emissioni al fine della mitigazione, nel loro complesso, degli impatti suddetti. Si farà particolare riferimento agli interventi più innovativi per la riduzione all'origine di emissioni liquide, gassose, solide e sonore, agli impianti di depurazione più innovativi per il trattamento sia di reflui liquidi civili e industriali sia di emissioni gassose, allo smaltimento e al recupero dei rifiuti, alla bonifica di siti inquinati secondo le tecniche più avanzate.

- degli interventi più innovativi per la protezione e il recupero del territorio, attraverso la prevenzione e il controllo dei dissesti territoriali di origine naturale e/o antropica. Tra tali interventi, si ricordano quelli di previsione, prevenzione e controllo del rischio idrogeologico, di sistemazione dei bacini idrografici e dei corsi d'acqua, di regimazione dei litorali, di protezione civile, di monitoraggio dell'evoluzione del territorio ed in particolare dei movimenti franosi, nonché quelli di rilievo, gestione, controllo e protezione dai rischi naturali (sismico, vulcanico e geomorfologico), ed infine quelli finalizzati alla valutazione di impatto ambientale di complesse opere ingegneristiche.

Il raggiungimento di tali obiettivi è ottenuto attraverso un percorso didattico che prevede, oltre a un consolidamento della preparazione di base fisico-matematica, l'acquisi-

zione di specifiche competenze di tipo professionale ed operativo in tutte le discipline caratterizzanti l'Ingegneria per l'ambiente e il territorio; in particolare, ci si riferisce alla protezione del suolo e del territorio, alle tecniche e tecnologie ambientali, e alle georisorse e geotecnologie. Nel percorso didattico si dà un adeguato spazio ad attività autonome dello studente rivolte allo svolgimento di esercitazioni, attività di laboratorio rivolte alla redazione di elaborati progettuali o di approfondimenti su temi specifici, che gli consentano di maturare una buona capacità di operare nel campo della progettazione, l'esecuzione, la gestione e il controllo di opere anche di elevata complessità.

Il Corso di Laurea magistrale è strutturato nei seguenti indirizzi:

*Protezione del suolo e del territorio:* L'ingegnere ambientale esperto in protezione del suolo e del territorio formato nella laurea magistrale costituisce una figura professionale pienamente formata che opera nello sviluppo, pianificazione, progettazione o gestione operativa di sistemi di monitoraggio del territorio in aree caratterizzate da dissesto idrogeologico, subsidenza, rischio sismico, in aree soggette a esondazioni o erosione costiera.

*Tecniche e tecnologie ambientali:* L'ingegnere ambientale esperto in tecniche e tecnologie ambientali formato nella laurea magistrale costituisce una figura professionale pienamente formata che opera nello sviluppo, pianificazione, progettazione o gestione operativa di impianti, sistemi, processi o servizi in vari settori industriali. I principali settori industriali di riferimento sono quello chimico e petrolifero.

*Georisorse e geotecnologie:* L'ingegnere ambientale esperto in georisorse e geotecnologie formato nella laurea magistrale costituisce una figura professionale pienamente formata che opera nello sviluppo, pianificazione, progettazione o gestione operativa di cave, miniere, industrie petrolifere, impianti di valorizzazione dei materiali e aziende per lo smaltimento dei rifiuti.

Di seguito si riportano le attività formative previste per i due anni del Corso di Laurea magistrale, i numeri tra parentesi indicano i Crediti Formativi Universitari.

#### *I anno*

Costruzioni idrauliche e protezione idraulica del territorio m (9). Ecologia industriale e sviluppo sostenibile m (6). Geomatica m (6). Ingegneria mineraria m c.i. (12). Laboratorio di ingegneria dell'ambiente e del territorio m (6). Laboratorio di rilievo e posizionamento satellitare m (3). Metodi numerici m (6). Microbiologia e biotecnologia per il disinquinamento m (6). Tecnologie per la protezione ambientale m (6).

#### *II anno*

Prova finale (18). Attività formative a scelta, Gruppo di scelta Tecniche e tecnologie ambientali (massimo 30): Affidabilità e sicurezza nell'industria

di processo m (9). Previsioni di impatto ambientale di impianti produttivi e di trattamento rifiuti m (9). Processi di separazione a membrana m (6). Tecnologie di risanamento del suolo e del sottosuolo m b (6). Gruppo di scelta Geingegneria (massimo 30): Ingegneria dei giacimenti di idrocarburi m (9). Ingegneria e sicurezza degli scavi m (9). Modelli per la geotermia ed I fluidi del sottosuolo m (6). Valorizzazione delle risorse primarie e secondarie m (6). Gruppo di scelta Protezione de suolo e del territorio (massimo 30): Consolidamento dei terreni m (6). Gestione e trattamento delle acque m c.i. (12). Idraulica marittima m (6). Modellistica idrologica m (6). Altre attività formative (3): Laboratorio di tesi m (3). Laboratory of industrial safety (3). Attività formative a scelta libera consigliate (9): Affidabilità e sicurezza nell'industria di processo m (9). Complementi di analisi matematica m (4). Diritto dell'ambiente m (6). Fisica moderna m (6). Ingegneria dei giacimenti di idrocarburi m (9). Matematica applicata m (6). Miniere e cave m (6). Modelli numerici per la geingegneria m (6). Opere in sottterraneo m (6). Progetto di opere di ingegneria sanitaria m (6). Tirocinio m (6). Valorizzazione biotecnologica dei rifiuti e degli effluenti organici m (3).

Nell'anno accademico 2012/13 il Corso di Laurea magistrale si arricchisce di un curriculum, denominato “*Earth Resources Engineering*”, erogato in lingua inglese e caratterizzato dalle attività formative riportate di seguito.

#### *I anno*

Advanced hydrosystems engineering (9). Biotechnology for the sustainable reclamation of contaminated lands and waters m (6). Environmental engineering research a (6). Geotechnics and geology (12). Industrial ecology (9). Introduction to numerical methods (6). Laboratory of environmental engineering (3). Laboratory on alternative and renewable raw materials m (3). Petroleum geosystem (6).

#### *II anno*

Environmental engineering research b (12). Attività formative a scelta, Gruppo Earth resources engineering (massimo 36): Applied geomatics (6). Industrial safety (6). Mineral production systems (6). Resources and recycling m (6). Water engineering i.c. (12). Gruppo Earth resources-offshore engineering (massimo 36): Bioremediation and exploitation of marine bioresources (6). Coastal engineering (6). Monitoring and positioning in offshore engineering (6). Offshore HSE management (6). Offshore Oil and Gas exploitation i.c. (12).

Attività formative a scelta libera consigliate (12): Computational mechanics (6). Context-sensitive design in transportation infrastructures (6). Corrosion and protection of metallic offshore structures (6). Design of offshore structures and foundations (9). Diritto dell'ambiente m (6). Internship (6). Laboratory of photocatalysis (3). Managing engineering and construction processes (6). Materials characterization and laboratory (6). Modelling of offshore structures (6). Polymer science, technologies and recycling m (6). Sustainability in construction (6). Turbomachines and power generation for offshore applications (3).

### 3.22. IL CORSO DI INGEGNERIA MECCANICA NELLA SEDE DI FORLÌ

*Alessandro Rivola*

#### **Premessa**

Nel 1989 l'Università di Bologna, fino ad allora circoscritta all'interno del territorio bolognese, ha dato il via a un progetto di decentramento in Romagna, il più importante mai sviluppato da un'università italiana, per permettere la diffusione dell'offerta formativa e l'attivazione di una stabile attività di ricerca sul territorio emiliano-romagnolo, nell'intento di migliorare il funzionamento e la qualità della vita della comunità universitaria. Nel 2000 furono riconosciute particolari forme di autonomia alle sedi romagnole, costituendo i Poli scientifico-didattici (oggi Campus) di Cesena, Forlì, Ravenna e Rimini.

L'intero percorso, basato sulla ramificazione degli Atenei ed il decongestionamento delle loro sedi centrali, ha portato alla creazione di un nuovo modello di sviluppo universitario: la struttura Multicampus.

#### **La Scuola diretta a fini speciali**

In ambito tecnologico, a Forlì l'Università di Bologna ha mosso i primi passi nell'A.A. 1990/91 con l'avviamento della "*Scuola diretta a fini speciali* in Tecnologie Aeronautiche".

La Scuola, avente durata biennale più un periodo di tirocinio di almeno sei mesi, era diretta dal professor Ettore Funaioli (già professore emerito dell'Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, professore di Meccanica applicata alle macchine, nell'Università di Bologna dal 1958 al 1995) e nasceva in un contesto particolarmente favorevole costituito dalla presenza a Forlì dell'Istituto Tecnico Aeronautico (ITAer), di un Aeroporto attrezzato e di un distaccamento dell'Ente Nazionale Assistenza al Volo (ENAV), e dall'esistenza a Bologna della Facoltà di Ingegneria.

#### **Il Corso di Diploma Universitario**

Nell'A.A. 1992/93, sulla base dell'istituzione dei diplomi universitari (Legge 341/1990), la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna integrò il percorso avviato dalla *Scuola diretta a fini speciali* attivando a Forlì i Corsi di Diploma Universitario in Ingegneria Aerospaziale e in Ingegneria Meccanica, con il sostan-

ziale concorso degli Enti Locali, di Associazioni imprenditoriali e della Società di sostegno (Ser.In.Ar.).

I diplomi universitari furono inizialmente ospitati in alcuni locali e aule dell'ITA-er per poi insediarsi verso la fine del 1994 in quello che era l'immobile – confinante col perimetro aeroportuale – dell'antica centrale idrica del primo acquedotto forlivese moderno (primi del XX secolo), dopo un importante intervento di recupero che ne valorizzò i numerosi elementi di architettura paleoindustriale.

I tecnici formati dai diplomi universitari costituivano nuove figure professionali, intermedie fra i diplomati nella scuola media superiore e i laureati in Ingegneria. Il Corso di Diploma Universitario in Ingegneria Meccanica, che nell'A.A. 1992/93 contava un numero di posti disponibili pari a 60 (di cui 48 a concorso e 12 per trasferimento), aveva una durata di tre anni, era articolato in due orientamenti ("Affidabilità e qualità", "Strumentazioni e sperimentazioni") e mirava alla formazione di tecnici in grado di operare nell'ambito industriale – con prevalente riferimento al comparto meccanico – in attività di organizzazione della produzione, gestione dell'officina e degli impianti, guida di reparti, compiti di ufficio tecnico, servizi di manutenzione e di controllo.

Il Corso di Diploma Universitario in Ingegneria Meccanica fu inizialmente diretto dal professor Ettore Funaioli, per poi passare sotto la presidenza del professor Giorgio Negri di Montenegro e, successivamente (A.A. 1999/2000), del professor Vincenzo Dal Re.

La Tabella 1 riporta l'articolazione del Piano degli studi del Corso di Diploma Universitario in Ingegneria Meccanica, istituito a Forlì nell'A.A. 1992/93, che comprendeva 30 moduli della durata di almeno 50 ore ciascuno (delle quali almeno 30 di lezioni in aula e almeno 20 di esercitazioni in aula e/o laboratorio), raggruppati in 20 esami.

Tabella 1. Piano didattico del Corso di Diploma Universitario in Ingegneria Meccanica.

**Anno accademico 1992/93**

	<b>Esame</b>	<b>Modulo</b>	<b>Ciclo</b>
<b>I ANNO</b>	MATEMATICA A	Analisi matematica I	1
		Geometria	1
	FONDAMENTI DI INFORMATICA		1
	CHIMICA		1
	FISICA	Fisica I	2
		Fisica II	2
	DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE		2
	ELETTROTECNICA		3
	FISICA TECNICA		3
	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE		3

II ANNO	MATEMATICA B	Analisi matematica II	1
		Meccanica razionale	1
	TERMOFLUIDODINAMICA APPLICATA		1
	SISTEMI ENERGETICI	Macchine I	1
		Macchine II	2
		Macchine III	3
	TECNOLOGIA MECCANICA	Tecnologia meccanica I	2
		Tecnologia meccanica II	3
	COSTRUZIONE DI MACCHINE	Meccanica dei materiali	2
		Tecnica delle costruzioni meccaniche	3
III ANNO	IMPIANTI MECCANICI	Impianti I	1
		Impianti II	2
	MECCANICA DEI FLUIDI		1
	DISEGNO ASSISTITO DAL CALCOLATORE		1
	ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE		1
	AZIONAMENTI ELETTRICI		3
	MECCANICA DEGLI AZIONAMENTI		3
	<i>Orientamento AFFIDABILITÀ E QUALITÀ</i>	Affidabilità e sicurezza delle costruzioni meccaniche	2
		Diagnostica strutturale	2
		Diagnostica dei sistemi meccanici	3
	<i>Orientamento STRUMENTAZIONI E SPERIMENTAZIONI</i>	Misure meccaniche termiche e collaudi	2
		Strumentazione industriale	2
		Sperimentazione sulle macchine	3

### Il Corso di Laurea "Vecchio Ordinamento" in serie al Corso di Diploma

Considerato il successo dell'iniziativa legata ai Corsi di Diploma Universitario, testimoniato anche dall'elevato numero di assunzioni dei diplomati, nell'A.A. 1997/98 la Facoltà di Ingegneria avviò a Forlì la sperimentazione di un curriculum didattico che dava vita a Corsi di Laurea in Ingegneria Aerospaziale e in Ingegneria Meccanica in "serie" ai corrispondenti Corsi di Diploma Universitari, completando così lo spettro formativo in tali settori.

Nel 1999 la sede di Ingegneria fu completata con un nuovo e moderno complesso di circa 2000 mq, destinato ad ospitare sia aule didattiche sia uffici e servizi che, unitamente all'edificio preesistente, portò ad una superficie utile totale di circa 2.800 mq, ai quali vanno aggiunti circa 2.300 mq di laboratori situati in un funzionale Hangar interno all'area aeroportuale.

Nell'A.A. 1999/2000 erano attivi i primi tre anni del Corso di Laurea in Ingegneria meccanica, di durata quinquennale, ordinato secondo il cosiddetto "Vecchio

Ordinamento” (VO). A differenza del diploma, l’ammissione al Corso di Laurea non era soggetta ad alcuna limitazione numerica.

Nelle linee generali, la filosofia della “serie” consistette nel dare agli studenti nozioni operative nei primi anni, in modo che apprendessero gli strumenti necessari per le attività di progettazione e industrializzazione secondo le metodologie correnti, e nel fornire in seguito le conoscenze matematiche e fisiche più approfondite per produrre innovazione.

Fu pertanto studiata una concatenazione del Corso di Diploma Universitario e del Corso di Laurea in modo che gli studenti potessero seguire un percorso seriale, utile a conseguire un primo titolo di studio universitario – tramite il Corso di Diploma – per poi poter decidere se proseguire gli studi o entrare direttamente nel mondo del lavoro. Questa ristrutturazione contribuì a risolvere parzialmente anche una evidente incongruenza costituita dall’aver Corsi di Laurea aperti a tutti e Corsi di Diploma a numero programmato.

Il Piano degli Studi del Corso di Diploma fu modificato in modo da mutuare gli insegnamenti dal Corso di Laurea facendo corrispondere ad ogni insegnamento annuale (corso integrato) di quest’ultimo due moduli del diploma e ad ogni insegnamento semestrale del Corso di Laurea un modulo del Corso di Diploma. I diplomi universitari furono poi assorbiti dalla riforma del D.M. 509/99.

La Tabella 2 mostra il Piano degli studi del Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica, limitatamente ai primi tre anni attivi nel 1999/2000, che comprendevano 20 esami pari a 16 annualità. Al terzo anno erano ancora previsti i due orientamenti che caratterizzavano il Corso di Diploma attivato nell’A.A. 1992/93 (Tabella 1). Gli esami mono-disciplinari erano semestrali o annuali; i corsi integrati, composti da più moduli, erano tutti annuali, eccetto il corso integrato caratterizzante l’orientamento al terzo anno che ammontava a 1,5 annualità.

Al quarto anno erano poi previste altre 5 annualità ed ulteriori 6 al quinto anno (più la tesi finale), nel quale erano attive tre “specializzazioni” che ammontavano a 2,5 annualità ciascuna, come mostrato nella Tabella 3. Il numero complessivo di annualità del Corso di Laurea ammontava pertanto a 27, di cui 23 obbligatorie e comuni a tutti gli orientamenti.

Tabella 2. Piano didattico del Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica (VO) – Anni I, II, III.

**Anno accademico 1999/2000**

	Insegnamento	Modulo	SSD	Annualità
I ANNO	MATEMATICA I (c. integrato)	Elementi di matematica	A02A	1
		Istituzioni di matematiche I	A01C	
	FONDAMENTI DI INFORMATICA (c. integrato)	Fondamenti di informatica I	K05A	1
		Fondamenti di informatica II	K05A	
	CHIMICA		C06X	0.5



I ANNO	MATEMATICA II (c. integrato)	Istituzioni di matematiche II	A02A	1
		Meccanica razionale	A03X	
	FISICA GENERALE (c. integrato)	Fisica generale I	B01A	1
		Fisica generale II	B01A	
ELETTROTECNICA		I17X	0.5	
II ANNO	MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE		I07X	0.5
	MECCANICA DEI FLUIDI		H01A	0.5
	DISEGNO MECCANICO ASSISTITO DAL CALCOLATORE (c. integrato)	Disegno tecnico industriale	I09X	1
		Disegno assistito dal calcolatore	I09X	
	TECNOLOGIA MECCANICA		I10X	0.5
	COSTRUZIONI MECCANICHE (c. integrato)	Comportamento meccanico dei materiali	I08A	1
		Tecnica delle costruzioni meccaniche	I08A	
	ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE		I27X	0.5
FISICA TECNICA E TERMOFLUIDODINAMICA (c. integrato)	Fisica tecnica	I05A	1	
	Termofluidodinamica applicata	I05A		
III ANNO	MACCHINE E SISTEMI ENERGETICI (c. integrato)	Sistemi energetici	I0AC	1
		Macchine	I0AB	
	MECCANICA DEGLI AZIONAMENTI		I07X	0.5
	AZIONAMENTI ELETTRICI		I18X	0.5
	TECNOLOGIA MECCANICA II		I10X	0.5
	IMPIANTI MECCANICI (c. integrato)	Impianti meccanici I	I11X	1
		Impianti meccanici II	I11X	
	METODI MATEMATICI PER L'INGEGNERIA		A02A	1
	<i>Orientamento AFFIDABILITÀ E QUALITÀ</i>	Diagnostica dei sistemi meccanici	I07X	0.5
		Diagnostica strutturale	I08B	0.5
		Affidabilità e sicurezza delle costruzioni mecc.	I08A	0.5
<i>Orientamento STRUMENTAZIONE E SPERIMENTAZIONE</i>	Misure meccaniche termiche e collaudi	I06X	0.5	
	Strumentazione e automazione industriale	I11X	0.5	
	Sperimentazione sulle macchine	I04B	0.5	

Tabella 3. Piano didattico del Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica (VO) – Anni IV, V.

## Anno accademico 2001/02

	Insegnamento/Specializzazione	SSD	Annualità
IV ANNO	Conversione dell'energia	I04B	0.5
	Meccanica dei fluidi II	H01A	0.5
	Scienza delle costruzioni	H07A	0.5
	Calcolo numerico e programmazione	A04A	0.5
	Meccanica applicata alle macchine II	I07X	0.5
	Controlli automatici	K04X	0.5
	Macchine II	I04B	0.5
	Tecnologie di chimica applicata	I14A	0.5
	Tecnologie delle costruzioni aeronautiche	I02B	0.5
	Organizzazione della produzione e sistemi logistici	I27X	0.5
V ANNO	Principi e metodi della progettazione meccanica	I08A	1
	Impianti III	I11X	1
	Dinamica delle macchine e dei sistemi meccanici	I07X	1
	Elementi di diritto commerciale	N06X	0.5
	<i>Specializzazione</i> <i>PROGETTAZIONE MECCANICA AVANZATA</i>	I07X	0.5
		I08A	1
		I08A	1
	<i>Specializzazione</i> <i>SISTEMI DI CONVERSIONE DELL'ENERGIA</i>	I05A	0.5
		I04B	1
		I04B	1
	<i>Specializzazione</i> <i>IMPIANTI E PRODUZIONE</i>	I11X	0.5
		I11X	1
		I11X	1

## Dalla riforma del D.M. 509/1999 ad oggi

A partire dall'A.A. 2001/02, il nuovo Ordinamento degli Studi Universitari previsto dalla legge di Riforma avviata dal ministro Giovanni Berlinguer con il D.M. 509/1999 (nota come "3+2") viene attuato anche presso la sede di Forlì della Facoltà di Ingegneria.

Con la riforma i corsi di studio si uniformano ai sistemi universitari europei adottando il modello dei "Crediti Formativi Universitari" (CFU). I Corsi di Laurea riformati (definiti anche lauree di I livello) della durata di tre anni (180 CFU), hanno l'obiettivo di assicurare allo studente un'adeguata padronanza di metodi e contenuti scientifici generali, nonché l'acquisizione di specifiche conoscenze professionali tali da permettergli l'immediato ingresso nel mondo del lavoro. Al laureato viene data l'opportunità di proseguire negli studi con i Corsi di Laurea Specialistica (120 CFU)

– oggi denominati *Corsi di Laurea Magistrale* – della durata di due anni (120 crediti), che hanno l'obiettivo di fornire una formazione di grado avanzato per l'esercizio di attività di elevata qualificazione in ambiti specifici.

Molte sedi universitarie si trovarono impreparate ad affrontare le novità introdotte dalla riforma, creando non pochi problemi per la sua applicazione. Non fu così per la sede di Forlì, dove la precedente sperimentazione didattica avviata a partire dall'A.A. 1997/98 – già articolata secondo le modalità del “3+2” – consentì di trasformare, con modifiche di entità minima, l'esistente ordinamento degli studi in quello previsto dalla riforma. Ciò permise agli studenti che già seguivano gli studi secondo il “Vecchio Ordinamento”, di trasferirsi a quello riformato con il riconoscimento totale della carriera pregressa e senza aggravii in quella futura. Ovviamente, i corsi del previgente ordinamento rimasero attivi per la durata legale degli studi, in modo da consentire il completamento della propria carriera agli studenti che non intendevano trasferirsi ai corsi riformati.

Nell'A.A. 2001/02, sotto la presidenza del professor Vincenzo Dal Re, a Forlì viene attivato il Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica, mentre il Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Meccanica parte nell'A.A. 2002/03.

Nel medesimo periodo degna di nota è l'istituzione della “Seconda Facoltà di Ingegneria” (con sedi a Cesena e Forlì) dell'Ateneo bolognese, che nasce nell'ottobre del 2002, dopo esser stata per più di 10 anni sede distaccata della Facoltà di Ingegneria di Bologna. A Forlì, presso il cosiddetto “Polo Tecnologico Aeronautico”, sono insediati i Corsi di Studio in Ingegneria Aerospaziale e in Ingegneria Meccanica.

Per illustrare i piani didattici dopo la riforma, si è ritenuto opportuno riprodurre per il Corso di Laurea di I livello quello dell'A.A. 2001/02 (anno in cui la riforma fu avviata a Forlì) e per il Corso di Laurea Specialistica quello dell'A.A. 2003/04 (primo anno in cui la riforma andò a regime), rispettivamente nella Tabella 4 e Tabella 5.

Tabella 4. Piano didattico del Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica.

**Anno accademico 2001/02**

	<b>Insegnamento</b>	<b>SSD</b>	<b>TAF</b>	<b>CFU</b>
<b>I ANNO</b>	Analisi matematica L-A	MAT/05	A	6
	Fondamenti di informatica L	ING-INF/05	A	6
	Fondamenti di chimica L	CHIM/07	A	6
	Lingua Inglese L	-	E	3
	Fisica generale L-A	FIS/01	A	6
	Geometria e algebra L	MAT/03	A	6
	Analisi matematica L-B	MAT/05	A	6
	Laboratorio di analisi numerica L	MAT/08	A	3
	Fisica generale L-B	FIS/01	A	6
	Meccanica razionale L	MAT/07	A	6
	Disegno tecnico industriale L	ING-IND/15	B	6

II ANNO	Meccanica applicata alle macchine L	ING-IND/13	B	6	
	Elettrotecnica L	ING-IND/31	C	6	
	Meccanica dei fluidi L	ICAR/01	C	6	
	Economia e organizzazione aziendale L	ING-IND/35	C	6	
	Disegno assistito dal calcolatore L	ING-IND/15	B	6	
	Comportamento meccanico dei materiali L	ING-IND/14	B	6	
	Fisica tecnica L	ING-IND/10	B	6	
	Tecnologia meccanica L-A	ING-IND/16	B	6	
	Termofluidodinamica applicata L	ING-IND/10	B	5	
	Tecnica delle costruzioni meccaniche L	ING-IND/14	B	5	
III ANNO	Sistemi energetici L	ING-IND/09	B	6	
	Meccanica degli azionamenti L	ING-IND/13	B	6	
	Tecnologia meccanica L-B	ING-IND/16	B	5	
	Azionamenti elettrici L	ING-IND/32	B	5	
	Impianti industriali L	ING-IND/17	B	5	
	Impianti meccanici L	ING-IND/17	B	6	
	Macchine L	ING-IND/08	B	5	
	CREDITI A SCELTA		D	9	
	Tirocinio L		F	9	
	TESI DI LAUREA		E	6	
	<i>Orientamento AFFIDABILITÀ E QUALITÀ (due tra i seguenti insegnamenti)</i>				
	Diagnostica dei sistemi meccanici L	ING-IND/13	D	5	
	Diagnostica strutturale L	ING-IND/14	D	5	
	Affidabilità e sicurezza delle costruzioni meccaniche L	ING-IND/14	D	5	
	<i>Orientamento MACCHINE E AUTOMAZIONE DI IMPIANTI (due tra i seguenti insegnamenti)</i>				
	Misure meccaniche termiche L	ING-IND/12	D	5	
	Strumentazione e automazione industriale L	ING-IND/17	D	5	
	Sperimentazione sulle macchine L	ING-IND/08	D	5	
	<i>Orientamento LAVORAZIONE DEL LEGNO</i>				
	Tecnologia del legno L	AGR/06	D	6	
Comportamento meccanico dei materiali legnosi	ING-IND/14	D	5		
<i>PROSEGUIMENTO VERSO LA LAUREA SPECIALISTICA</i>					
Metodi matematici per l'ingegneria LS	MAT/05	D	6		
Calcolo numerico e programmazione LS	MAT/08	D	6		

TAF: tipologia attività formativa

(A-di base; B-caratterizzante; C-affine o integrativa; F-ulteriori attività formative;

D-a scelta autonoma dello studente; E-per la prova finale).

Tabella 5. Piano didattico del Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Meccanica.

## Anno accademico 2003/04

	Insegnamento	SSD	TAF	CFU
I ANNO	Metodi matematici per l'ingegneria LS	MAT/05	A	6
	Conversione dell'energia LS	ING-IND/08	B	6
	Meccanica dei fluidi LS	ICAR/01	C	6
	Metodi di progetto per l'ingegneria industriale LS	ING-IND/15	B	6
	Macchine LS	ING-IND/08	B	6
	Termofluidodinamica avanzata LS	ING-IND/10	B	6
	Meccanica applicata alle macchine LS	ING-IND/13	B	6
	Meccanica dei solidi e delle strutture LS	ICAR/08	C	6
	UN CORSO DELLA SCELTA GUIDATA		A, B, C	6
II ANNO	Tecnologie di chimica applicata LS	ING-IND/13	B	6
	Principi e metodi della progettazione meccanica LS	ING-IND/31	C	6
	Impianti meccanici LS	ICAR/01	C	6
	Dinamica delle macchine e dei sistemi meccanici LS	ING-IND/35	C	6
	Logistica industriale LS	ING-IND/15	B	6
	Elementi di diritto commerciale LS	ING-IND/14	B	6
	UN CORSO DELLA SCELTA GUIDATA		A, B, C	6
	CREDITI A SCELTA LIBERA		D	6
	Tirocinio LS		F	6
	Prova finale LS		E	12
SCELTE GUIDATE	<i>PROGETTAZIONE MECCANICA AVANZATA (due tra i seguenti insegnamenti)</i>			
	Meccanica dei robot LS	ING-IND/13	B	6
	Progettazione meccanica con materiali non convenzionali LS	ING-IND/14	B	6
	Costruzione di macchine automatiche e robot LS	ING-IND/14	B	6
	Modelli fisico-matematici per l'ingegneria industriale LS	MAT/07	A	6
	Controlli automatici LS	ING-INF/04	C	6
	Metodi numerici per l'ingegneria LS	MAT/08	A	6
	<i>SISTEMI DI CONVERSIONE DELL'ENERGIA (due tra i seguenti insegnamenti)</i>			
	Impianti termotecnici LS	ING-IND/10	B	6
	Controllo dei sistemi energetici LS	ING-IND/08	B	6
	Motori a combustione interna LS	ING-IND/08	B	6
	Modelli fisico-matematici per l'ingegneria industriale LS	MAT/07	A	6
	Metodi numerici per l'ingegneria LS	MAT/08	A	6

TAF: tipologia attività formativa

(A-di base; B-caratterizzante; C-affine o integrativa; F-ulteriori attività formative;

D-a scelta autonoma dello studente; E-per la prova finale).

Nell'ultimo decennio, i Corsi di Laurea in Ingegneria Meccanica di I e II livello della sede di Forlì hanno subito poche modifiche. Nell'A.A. 2009/10, sotto la presidenza del professor Davide Moro, la Laurea Specialistica è stata sostituita dalla Laurea Magistrale. Infine, l'attuale assetto è di fatto quello attivato a partire dall'A.A. 2013/14, sotto la direzione dello scrivente (allora Coordinatore dei Corsi di Studio in Ingegneria Meccanica della sede di Forlì), con il Corso di Laurea di I livello in Ingegneria Meccanica (Codice 0949) e il Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica (Codice 8771).

I principali cambiamenti riguardano prevalentemente il Corso di Laurea Magistrale (il cui piano didattico è riportato in Tabella 6), che si contraddistingue per la presenza di due percorsi formativi denominati rispettivamente "Meccanica avanzata" e "Meccanica per l'automazione". In particolare, il secondo percorso è caratterizzato da contenuti di base ed applicativi inerenti la conversione elettromeccanica ed elettronica dell'energia, e i metodi e le tecnologie per il trattamento dell'informazione finalizzati alla gestione ed al controllo automatico di impianti, processi e sistemi meccanici in genere. L'obiettivo è quello di formare figure professionali di alta specializzazione le cui competenze riguardino non solo i sistemi prettamente meccanici, ma anche le macchine i sensori e gli attuatori elettrici, i dispositivi e le apparecchiature per l'implementazione del controllo, la robotica, l'automazione industriale, l'automotive.

Verso l'iniziativa hanno manifestato interesse gli enti del territorio e primarie imprese delle provincie di Forlì-Cesena, Rimini, Ravenna e Ferrara. Hanno inoltre fornito il loro sostanziale contributo enti ed associazioni territoriali convinti che un tale arricchimento dell'offerta formativa possa soddisfare i nuovi bisogni ed esigenze del sistema socio-economico del territorio.

Tabella 6. Piano didattico del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica.

#### Anno accademico 2013/14

	Insegnamento	SSD	TAF	CFU
I ANNO	Modelli fisico-matematici per l'ingegneria industriale LM	MAT/07	C	6
	Conversione elettromeccanica dell'energia LM	ING-IND/32	C	6
	Progetto e costruzione di macchine LM	ING-IND/14	B	9
	Tecnologie speciali e dei materiali compositi LM	ING-IND/16	B	6
	Sistemi energetici e macchine LM	ING-IND/08	B	9
	Meccanica e dinamica delle macchine LM	ING-IND/13	B	9
	Impianti meccanici e logistica LM	ING-IND/17	B	9
	Inglese (B2)	-	F	6
II ANNO	INSEGNAMENTI DELLA SCELTA GUIDATA		C, C B	18
	CREDITI A SCELTA LIBERA		D	18
	Ulteriori attività formative (Tirocinio/Laboratori)		F	6
	Prova finale		E	18

SCELTE GUIDATE	<i>MECCANICA AVANZATA</i>			
	Termofluidodinamica avanzata e controlli termici LM	ING-IND/10	C	6
	Meccanica dei fluidi e controlli idraulici LM	ICAR/01	C	6
	Metodi di progetto per l'ingegneria industriale LM	ING-IND/15	B	6
	<i>MECCANICA PER L'AUTOMAZIONE</i>			
	Azionamenti elettrici LM	ING-IND/32	C	6
	Teoria dei sistemi e dei controlli per l'automazione LM	ING-INF/04	C	6
TAF F	Meccanica dei robot e delle macchine automatiche LM	ING-IND/13	B	6
	Tirocinio M	-	F	6
	Laboratorio di progettazione strutturale agli elementi finiti LM	ING-IND/14	F	3
	Laboratorio di design di prodotto LM	ING-IND/15	F	3
TAF D	Laboratorio di logistica Industriale LM	ING-IND/17	F	3
	Motori a combustione interna LM	ING-IND/08	D	6
	Controllo MCI LM	ING-IND/09	D	6
	Impianti termotecnici LM	ING-IND/10	D	6
	Automazione Industriale LM	ING-INF/04	D	6
	Ingegneria e Tecnologie dei sistemi di controllo LM	ING-INF/04	D	6
Costruzione di macchine automatiche e robot LM	ING-IND/14	D	6	

## Conclusioni

Il Corso di Ingegneria meccanica nella sede di Forlì ha una storia relativamente breve ma significativa ed importante, anche per le ricadute sul sistema socio-economico del territorio romagnolo. Presente con alcune discipline fin dai tempi della “*Scuola diretta a fini speciali* in Tecnologie Aeronautiche”, di fatto prende vita con il Corso di Diploma Universitario nell’A.A. 1992/93. Attivato ufficialmente nel 1997/98, ha affrontato con relativa facilità la riforma del 2001 e oggi, nell’A.A. 2018/19, può vantare 115 iscritti al primo anno del Corso di Laurea e 35 iscritti al primo anno del Corso di Laurea Magistrale.

I dati confermano la validità delle scelte compiute in questi anni e testimoniano che il Corso di Ingegneria Meccanica nella sede di Forlì ha mantenuto viva l’attenzione agli sviluppi della tecnica e alle necessità della società e dell’industria, traducendole in piani didattici aggiornati ed attuali.

## Bibliografia

1. *Annuario dell’Università di Bologna.*
2. *Bollettino Ufficiale dell’Università di Bologna.*
3. *Guida dello Studente della Facoltà di Ingegneria dell’Università di Bologna.*
4. *Guida dello Studente della Seconda Facoltà di Ingegneria dell’Università di Bologna.*
5. *Ingegneria Aerospaziale e Meccanica, sede di Forlì, «Quaderni di architetture», Comune di Forlì, Collana di Monografie di architettura e urbanistica, n. 1, febbraio 2000.*

## 4. RECENSIONI DI LIBRI PUBBLICATI DAI DOCENTI

Odone Belluzzi

***Scienza delle Costruzioni*** (4 vol.)

Zanichelli, 1940-61

Tra le opere didattico-scientifiche edite nell'ambito del raggruppamento disciplinare di Scienza delle Costruzioni acquista particolare rilievo il trattato *Scienza delle Costruzioni* del professor Odone Belluzzi. E ciò per un duplice ordine di motivi.

In primo luogo (si veda il piano dell'opera riportato qui sotto), ricordiamo che solo gli argomenti contenuti nel Vol. I corrispondono a quanto tradizionalmente trattato nei corsi di base di "Scienza delle Costruzioni" impartiti nelle Facoltà di Ingegneria. Pertanto, al di là della denominazione, il trattato assume il senso di una vera e propria enciclopedia dei problemi strutturali, con particolare riguardo all'ingegneria civile.

### VOLUME PRIMO

*Le travi e travature isostatiche*

*La trave elastica (alla De St. Venant)*

*Travi e travature iperstatiche*

*Il carico di punta*

*I metodi energetici*

### VOLUME SECONDO

*Linee di influenza*

*Le strutture ad arco. Le strutture a molte iperstatiche*

*Fondamenti delle strutture in cemento armato e in acciaio*

### VOLUME TERZO

*Elementi di teoria dell'elasticità*

*Le lastre piane e curve*

*La plasticità. Le autotensioni*

*(i capitoli su questi due ultimi argomenti sono stati completati dal professor Piero Pozzati)*



## VOLUME QUARTO

*La stabilità dell'equilibrio elastico*  
*Le vibrazioni*

## NOTE

La prima edizione (del primo volume) risale al 1941.

Il piano generale dell'opera non è stato completato per la prematura scomparsa dell'Autore, avvenuta nel 1956. Mancano integralmente i capitoli sui seguenti argomenti:

- Meccanica del terreno
- Le sollecitazioni dinamiche. I fenomeni di fatica
- Le indagini sperimentali
- I criteri di sicurezza

Al proposito emergono alcune considerazioni.

La modellazione analitica dei problemi più elevati conduce ad equazioni (o sistemi di equazioni) integro-differenziali per le quali non è possibile la ricerca di soluzioni "esatte". Ciò rende assai complessa la definizione dello stato di equilibrio elastico (o elasto-plastico) necessaria per le verifiche finali di sicurezza. Per superare queste difficoltà, sia per le strutture più semplici (travi e travature), sia per le più complesse (lastre piane e curve), nel trattato le impostazioni teoriche sono accompagnate da soluzioni approssimate e da più o meno estese tabellazioni di risultati particolari espressi in forma numerica. Le soluzioni approssimate, certamente preziosissime all'epoca della redazione, attualmente si devono ritenere superate dalla disponibilità delle metodologie tipiche della Meccanica computazionale. Restano tuttavia utili per un predimensionamento speditivo degli schemi costruttivi.

In secondo luogo, particolare rilievo riveste l'impostazione dell'opera.

È il caso di notare che, all'epoca in cui il Belluzzi iniziò la sua attività didattica e scientifica, nel campo della Meccanica applicata alle Costruzioni, poi Scienza delle Costruzioni, era nettamente prevalente l'impostazione che, partendo dai postulati base, definiva per via fisico-matematica il comportamento dei continui deformabili. Lo studio dei problemi strutturali dell'ingegneria corrente era poi ottenuto, per via deduttiva, con le ipotesi particolari di "piccolezza" di spostamenti e deformazioni e di linearità dei legami tra tensioni e deformazioni, oltre che con ulteriori limitazioni sulla geometria dei solidi oggetto di studio.

Nel suo trattato il Belluzzi, in piena coerenza con la propria opera didattica, preferisce invece la via induttiva, forse anche confortato dalla magistrale opera che il professor Stephen Timoshenko (ucraino di nascita, naturalizzato americano) veniva componendo, a partire dalla sua *Strength of Materials* (prima edizione in inglese del 1930).

L'allievo (o lo studioso) è accompagnato, a partire dall'impostazione e soluzione dei problemi più semplici (travi e travature con i metodi della meccanica rigida) passando a quelli via via più complessi, facendo costantemente ricorso all'intuizione ed al ragionamento fisico, utilizzando semplici e sufficienti approssimazioni ed evitan-

do, per quanto possibile, l'impiego di metodi matematici "esatti" ma complessi. Ciò non toglie che lo strumento analitico venga impiegato, con rigore, ove necessario.

Le trattazioni analitiche generali vengono rimandate ad una fase più avanzata, in particolare per lo studio dei problemi bidimensionali (lastre piane e curve).

Il testo è corredato da continui commenti atti a porre in evidenza le peculiarità delle varie trattazioni. Inoltre, impostazioni e soluzioni vengono costantemente esemplificate con innumerevoli esercizi integralmente svolti (in totale circa 2.400), atti anche a familiarizzarsi con i valori numerici delle grandezze fisiche in gioco.

In definitiva, al di là di sempre possibili osservazioni su punti particolari, si tratta di opera di notevole validità, ancora in grado di fornire, all'ingegnere, gli strumenti concettuali atti a criticare ed inverare i risultati numerici ottenuti tramite la Meccanica computazionale.

*Eugenio D'Anna*



*Odone Belluzzi (a sinistra) e Stephen Timoshenko in occasione della laurea honoris causa in Ingegneria Civile a Timoshenko (Bologna, 30 aprile 1954).*

Michele Capurso

***Lezioni di Scienza delle Costruzioni***

Pitagora, 1971 – 611 pagine

È con piacere che ho accettato l'invito, fattomi gentilmente da Angelo di Tommaso, a trattare brevemente del libro di Scienza delle Costruzioni di Michele Capurso e dell'impatto che esso ha avuto sulla didattica della disciplina in Italia e sul mondo professionale. Il testo è nato come supporto didattico (dispense) alle lezioni del corso di Scienza delle Costruzioni per allievi ingegneri di corsi di laurea diversi (Elettronica, Elettrotecnica, Chimica e Nucleare secondo le denominazioni di allora) nell'anno accademico 1967/68, che io ho avuto la fortuna di frequentare. Erano anni di rapidi cambiamenti non solo sociali e politici ma anche scientifici e professionali. Michele Capurso mi raccontò poi di avere scritto la prima bozza del testo durante lo svolgimento del corso ed in particolare durante il viaggio in vagone letto fra Napoli, nella cui università era cresciuto, e Bologna ove era stato chiamato come professore incaricato dall'allora preside professor Giulio Supino. Il corso era stato sdoppiato sia per rispondere alle richieste degli studenti la cui protesta stava crescendo, ma anche per immettere nuova linfa nella ricerca che durante i venti anni di direzione del professor Osvaldo Zanaboni, pur scienziato di fama internazionale, si era andata inaridendo. Queste dispense scritte di getto e poi pubblicate senza sostanziali modifiche presso un piccolo editore locale, Pitagora, diventarono per almeno trenta anni il testo più diffuso e adottato negli Atenei Italiani e tuttora consigliato ovunque a quegli studenti che vogliono approfondire la disciplina. Michele Capurso aveva infatti una grande capacità di sintesi e scriveva con grande rapidità e apparente facilità su fogli protocollo a quadretti e raramente il testo necessitava di correzioni o modifiche. In quegli anni, ed in quelli immediatamente precedenti, erano pubblicati in Italia presso editori di maggior prestigio numerosi testi di famosi docenti, quasi tutti in più volumi, ridondanti rispetto ai contenuti effettivamente svolti nel corso, e contenenti argomenti, quali ad esempio la statica grafica che iniziavano a sparire dalla pratica professionale. Michele Capurso, anche in virtù delle sue grandi doti di studioso della disciplina, fece d'istinto alcune scelte didattiche fortemente innovative. Per trattare i capitoli iniziali (analisi della deformazione e della tensione, i legami costitutivi) scelse fin dall'inizio di trattare solo il continuo elastico lineare tenendo però conto dei più recenti contributi internazionali alla ricerca, ad esempio avendo ben presente il testo di Sokolnikoff (L.S. Sokolnikoff, *Mathematical Theory of Elasticity*, Mc Graw-Hill, 1956). Molto innovativa è inoltre la trattazione della teoria della trave e del cosiddetto problema del de Saint Venant. Egli abbandona il classico approccio agli spostamenti e sviluppa in modo originale una formulazione mista, più semplice e intuitiva, che anticipa quella alle tensioni di Fraejis de Veubeke (B. Fraejis de Veubeke, *A course in Elasticity*, Springer, 1979). Inoltre, avendo ben chiare le necessità professionali, riporta e sviluppa in modo lucido anche le teorie tecniche chiarendone le

approssimazioni. In quegli anni, infine, si affacciavano in Italia i metodi di calcolo automatico delle strutture di cui Michele Capurso sarà nel decennio successivo il più importante promotore e divulgatore e già nello scrivere il testo tenne presente il libro appena uscito di Przemieniecki (J.S. Przemieniecki, *Theory of matrix structural analysis*, McGraw-Hill, 1968).

Personalmente, ho sempre avuto un unico rimpianto, che Michele Capurso non abbia sviluppato maggiormente nel testo la resistenza dei materiali da costruzione, pur avendo egli dato, come ricercatore, fondamentali e innovativi contributi alla teoria della plasticità.

*Antonio Michele Tralli*

Paolo Dore

***Introduzione al calcolo delle probabilità e alle sue applicazioni ingegneristiche***

Pàtron, 1964 – 522 pagine

Quando l'amico Domenico Mirri mi invitò a dare un'occhiata al libro di Paolo Dore, la mia prima reazione fu di pensare a qualche scusa che mi evitasse di leggere un bigino sulle applicazioni ingegneristiche della probabilità e della statistica. Il titolo di quel libro afferma trattarsi di una *Introduzione al calcolo delle probabilità e alle sue applicazioni ingegneristiche*, mentre il sottotitolo precisa che vi vengono esposti i "Fondamenti di analisi statistica per ingegneri". Il titolo dà un'idea completamente sbagliata di questo volume giacché induce a pensare a uno di quei volumetti in cui, oltre a quattro regole sulla probabilità, vengono esposti i "dogma" della statistica con i suoi misteriosi "livelli di significatività" e gli incomprensibili passaggi dai "campioni" alle "popolazioni". Ebbene, il libro di Dore non ha nulla del bigino. Al contrario, è un'attenta e approfondita analisi dei problemi fondamentali della probabilità e della statistica inferenziale che, per molti aspetti, supera in profondità e accuratezza molti dei testi la cui lettura, negli anni Sessanta del secolo scorso, veniva suggerita agli studenti dell'unica Facoltà di statistica allora esistente. Ne parlo con cognizione di causa, giacché proprio in quegli anni, sia pure saltuariamente, frequentavo quella Facoltà romana, e le informazioni che si trovano nel primo capitolo del volume di Dore le ebbi non già dai testi che mi permettevano di superare gli esami, ma leggendo gli atti di una serie di lezioni che Ludovico Geymonat, su invito di Giuseppe Pompilj, aveva tenuto ai docenti e ricercatori della Facoltà di statistica.

Ho appena detto del primo capitolo. Il titolo “Inferenza scientifica e fondamenti induttivi della assiomatica del calcolo delle probabilità” è un modo un po’ criptico di dire che nelle prime sessanta pagine del volume vengono esposti i fondamenti della probabilità. Avrei detto meglio se al posto del verbo “esporre” avessi scritto “affrontare criticamente”, poiché in questo capitolo, dopo una caratterizzazione della logica simbolica e la precisazione della nozione di evento aleatorio, si affrontano le interpretazioni della probabilità. Qui Dore dà prova di un’attenzione davvero notevole nel distinguere, da un lato, le definizioni a priori, come lui le chiama, sostanzialmente la definizione classica di probabilità che valuta la probabilità mediante considerazioni logiche, che per i giochi di sorte si riducono all’enumerazione dei casi possibili; dall’altro, le definizioni a posteriori, come si diceva una volta, nelle quali la valutazione della probabilità viene fatta sulla base di osservazioni sperimentali relative alle frequenze con cui si verificano gli eventi. Senza entrare in dettagli che mi porterebbero troppo lontano, noto che queste considerazioni rivelano un ammirevole interesse per i fondamenti della probabilità assolutamente inusuale nell’Italia di quegli anni. Infatti, tra gli altri argomenti, vi si parla: delle statistiche delle particelle elementari, a questo riguardo Dore usa il termine “complezione” che dimostra la sua conoscenza delle problematiche affrontate da L. Boltzmann; della sottile differenza fra i teoremi della teoria delle probabilità che trattano frequenze e la definizione frequentista della probabilità; della casualità di successioni su cui regge il collettivo di R. von Mises, e delle difficoltà legate alla dimostrazione di non contraddittorietà di questa nozione. Nell’accurata discussione sui fondamenti della probabilità vi è un solo punto che può, anzi, deve essere criticato, mi riferisco al famigerato “postulato empirico del caso” che il nostro autore chiama “legge del caso”, cioè quel “postulare” che in un gran numero di prove ciascun evento si presenta con una frequenza relativa presso a poco uguale alla sua probabilità determinata a priori. Fidandosi troppo di G. Castelnuovo, Dore sostiene che questo postulato deve essere accolta da coloro che ammettono la definizione a priori della probabilità, pur riconoscendo che la sua formulazione, segnatamente il “presso a poco” che vi compare, è estranea al linguaggio matematico. Per converso, non si rende conto che con la legge del caso si esige che la realtà si dia con modalità definite; insomma, chi si serve di quel “postulato empirico”, come un demiurgo pretende di regolare quel che accade.

Nel secondo capitolo Dore affronta l’assiomatizzazione del calcolo delle probabilità mostrando che gli assiomi possono essere derivati sia dalla definizione classica sia da quella frequentista. In questo capitolo si affronta anche il problema delle prove ripetute e il cosiddetto teorema di Bayes mostrando, e questo gli fa onore, come questo “teorema” sia in realtà una formulazione appena un poco elaborata del principio delle probabilità composte. Tra le altre conseguenze di questo “teorema” Dore ricorda la regola di successione di Laplace, cioè la valutazione della probabilità del presentarsi di un evento in una prova futura, operata subordinatamente al numero delle volte che l’evento in questione si è verificato in precedenti prove. Legandolo alla teoria delle probabilità inverse, cioè alla problematica connessa alla stima di laplaceana memoria, il nostro autore sembra negare l’importanza della stima probabilistica del valore sconosciuto di una grandezza; a questo proposito, si lascia troppo influenzare dai pregiudizi

positivistici degli statistici che saranno detti ortodossi, in particolare da R. Fisher, H. Cramer e M.G. Kendall. Dore riconosce sì che il principio delle probabilità composte, quindi il teorema di Bayes, è strumento fondamentale per i metodi di stima che non accettano il dogmatismo dei frequentisti mirante a eliminare le probabilità iniziali dalla stima statistica ma, come mostra il capitolo dedicato all'inferenza statistica, considera superate le stime laplaceane di chiara impronta probabilistica. Questo ingiustificato rifiuto sembra dovuto alla scarsa conoscenza che Dore aveva dell'opera di B. De Finetti che viene bensì ricordato per la sua definizione soggettiva di probabilità, ma non per la sua teorizzazione bayesiana e neppure per il suo teorema di rappresentazione.

Nei capitoli seguenti Dore affronta con accurata competenza questioni tipiche della teoria delle probabilità, segnatamente: le variabili aleatorie con le loro distribuzioni di probabilità; le grandezze caratteristiche di queste distribuzioni; i teoremi più importanti del calcolo delle delle probabilità, ad esempio quelli di Bernoulli e di Poisson; la legge dei grandi numeri e il teorema fondamentale della convergenza stocastica; infine, le funzioni caratteristiche e generatrici. Dedicava anche grande attenzione alle distribuzioni connesse all'inferenza statistica quali quelle del chi-quadrato, di Student e di Fisher. D'altro canto, sono notevoli le numerose e interessanti applicazioni dei concetti e dei teoremi via via introdotti che, come è ovvio sia, prestano un occhio di riguardo all'ingegneria.

Ma è nei capitoli VII e XI dedicati alle inferenze statistiche che maggiormente si nota l'influenza degli statistici ortodossi. La stima statistica è affrontata col fisheriano metodo della massima verosimiglianza e con riferimento agli intervalli di fiducia che, forse per nascondere il riferimento soggettivo e traducendo in modo pessimo il termine inglese *confidence*, sono qualificati come "intervalli di confidenza". Di chiara impronta ortodossa sono anche l'analisi della varianza e il controllo statistico della qualità con particolare riferimento all'analisi sequenziale.

Per quel che concerne le inferenze statistiche è doveroso segnalare l'impegno di Dore nel trattare i saggi (*tests*) di significatività, cioè i metodi statistici volti alla valutazione dell'adattamento di dati sperimentali a una distribuzione di probabilità. Per sottolineare la cura con la quale egli affronta la statistica inferenziale, ricordo il suo approccio al saggio del chi-quadrato, cioè il fondamentale metodo statistico col quale si giudica la bontà dell'adattamento. Questo adattamento viene valutato mediante il quadrato della differenza fra i valori osservati e quelli teorici dedotti dalla distribuzione di probabilità che, in vista di confutarla, viene controllata. Nell'usuale modo di presentare questo celeberrimo saggio, i quadrati di quelle discrepanze sono divisi per i valori teorici senza che di questo denominatore si dia alcuna giustificazione, in guisa che il saggio del chi-quadrato appare un procedimento criptico e comunque poco chiaro. Al contrario, in accordo con von Mises, Dore chiarisce le ragioni di questi quozienti mostrando come risultino da una ponderazione delle discrepanze che assegna pesi maggiori ai valori estremi della distribuzione teorica; in definitiva, mette giustamente in rilievo la ragione per la quale K. Pearson introdusse il saggio del chi-quadrato.

Dopo due capitoli nei quali si parla dei processi stocastici con particolare attenzione alle catene di Markov, gli ultimi capitoli sono dedicati ai fondamenti probabi-

listici della teoria dell'informazione e alla combinazione delle osservazioni mediante il metodo dei minimi quadrati. Il volume si chiude con due appendici sul fattoriale e sull'analisi dei segnali.

Non sto a ripetere quanto ho già detto. Mi sia solo concesso di esprimere ancora una volta la mia ammirazione per l'autore di questo volume, unitamente allo stupore che il suo contributo sia rimasto nella felsinea Facoltà di ingegneria e non abbia suscitato alcuna eco al di fuori di Bologna. Quando otto anni dopo pubblicai la mia tesi di specializzazione sui fondamenti del calcolo delle probabilità, non conoscendolo, non parlai del contributo di Dore: fu una grave mancanza, me ne scuso.

*Domenico Costantini*

Emanuele Foà

### ***Elementi di Fisica Tecnica***

Riccardo Patron, 1928 – IX + 566 pagine

Il testo si articola nelle cinque parti che, in quegli anni, costituivano la disciplina.

La prima parte è dedicata alla *Termodinamica classica*, intesa come elemento formante della mentalità rigorosa ma ad un tempo applicativa che deve caratterizzare il futuro Ingegnere.

Il testo accompagna il lettore alla scoperta del primo e del secondo principio attraverso la definizione fenomenologica del calore e del lavoro meccanico, cui il lettore perviene dopo aver ricordato i sistemi di unità di misura e aver introdotto una nuova grandezza: la temperatura.

Fondamentali sono poi le definizioni di stato fisico quindi dello stato di equilibrio termodinamico.

Si perviene così, sempre per via fenomenologica, ai concetti di energia interna, entalpia ed entropia.

I diagrammi termodinamici vengono utilizzati per consentire la lettura diretta delle quantità di calore e di lavoro scambiate dal sistema con l'esterno, quindi per la rappresentazione delle trasformazioni reversibili mentre il concetto di gas perfetto viene utilizzato per rappresentare le trasformazioni reversibili intese come caso limite di quelle reali, come pure avviene per l'equazione di stato e per il valore delle grandezze energia interna ed entalpia.

Proseguendo su questa linea, vengono trattate le trasformazioni che interessano il passaggio di un sistema dallo stato liquido a quello di gas reale, passando attraverso gli stati fisici che caratterizzano il vapore saturo e surriscaldato.

Dopo un cenno alla termodinamica delle motrici termiche e delle macchine termiche e frigorifere, si passa ad una breve enunciazione degli operatori vettoriali che consentiranno poi di affrontare, a livello di base, la *Fluidodinamica*, nei limiti entro cui essa verrà poi utilizzata per presentare e valutare i fenomeni di scambio termico convettivo.

Il Foà si era particolarmente impegnato, anche a livello sperimentale, nello studio dell'efflusso dei fluidi gassosi sotto forti differenze di pressione ed è quindi logico che nel suo testo venga dedicato particolare spazio a questa fenomenologia fluidodinamica.

Sempre dai suoi studi deriva quanto presentato a proposito di fluidodinamica nei condotti e del relativo inquadramento teorico basato sull'analisi dimensionale, che già in questo punto del testo viene presentata come valido strumento nelle mani di un ingegnere per studiare i fenomeni di trasmissione termica convettiva nel campo fluidodinamico turbolento, là dove le conoscenze matematiche contemporanee non consentivano di pervenire a soluzioni in forma chiusa o numerica.

I concetti di fluidodinamica indotta da differenze di temperatura nei canali verticali, ed in particolare nei camini a tiraggio naturale, e di sezione equivalente sono particolarmente utili per il futuro ingegnere che, in quel momento storico, non dispone ancora di strumenti di modellazione numerica avanzata; lo stesso dicasi degli strumenti di misura diretta della velocità e della portata di una vena fluida allora disponibili.

La fluidodinamica dei ventilatori conclude questa parte del testo con un argomento nettamente applicativo.

La parte dedicata alla *Trasmissione del calore* è caratterizzata ancora una volta dalla limitazione della parte convettiva al solo settore fenomenologico, oltre che dalla scelta di trattare lo scambio per irraggiamento al pari di quello convettivo al di fuori della sede in cui spesso lo si trova, vale a dire la Termodinamica: si tratta anche qui di una scelta specifica per un corso dedicato ad allievi ingegneri.

Le parti dedicate all'*Illuminotecnica* e all'*Acustica applicata* possono essere considerate, nella loro ristrettezza, ancora un esempio di come Foà intendesse completare la formazione aperta dell'allievo ingegnere, che non avrebbe ritrovato in alcun altro corso notizie così specifiche.

Infine, l'edizione da me recensita, completata ed ampliata a cura del professor A. Giulianini, riporta una interessante sezione dedicata agli impianti di riscaldamento e di condizionamento dell'aria, da me recensita per ultima non per valore ma per essere frutto della penna del professor G. Cocchi.

Gli impianti di climatizzazione costituiscono una "summa" di nozioni di termodinamica (le miscele di aria e vapor d'acqua, una particolare miscela di gas perfetti fondamentale per la vita dell'uomo), fluidodinamica (il dimensionamento delle tubazioni e dei canali) e trasmissione del calore (i terminali d'impianto e gli scambi di energia tra ambienti confinati ed esterno): nel momento storico degli anni Cinquanta essi costituivano ancora un optional dell'edilizia contemporanea, ma erano destinati ad assumere un ruolo determinante per la vita dell'uomo negli ambienti chiusi per le loro ricadute sull'ambiente esterno, sia per il dispendio di energie preziose sia per i mutamenti climatici.



Fu quindi lungimiranza portarli all'attenzione del futuro ingegnere in un momento in cui dovevano ancora essere pensati i corsi di Impianti Tecnici Civili in cui oggi hanno trovato sede.

*Alessandro Cocchi*

Umberto Puppini

***Idraulica***

Zanichelli, 1947 – XVI + 768 pagine

Nell'ottobre del 1947 usciva per i tipi dell'editore Zanichelli il volume *Idraulica* di Umberto Puppini, che era stato prima assistente e poi professore di Idraulica (dal 1920) nella Regia Scuola di Ingegneria di Bologna e successivamente (dall'anno accademico 1935-36) nella neonata Facoltà di Ingegneria, fino alla sua improvvisa scomparsa nel maggio del 1946: l'opera appare dunque postuma, come ricorda l'*Avvertenza* dell'editore all'inizio del volume: «Questa pubblicazione, alla quale Umberto Puppini aveva dedicato tante cure, vede purtroppo la luce come opera postuma: tuttavia l'illustre Autore non solo ne aveva completamente terminata la redazione, ma aveva anche iniziata la revisione delle stampe, terminata poi con devota e diligente cura dall'Ing. Giovanni Cocchi che qui pubblicamente ringraziamo». In precedenza erano state stampate dispense tratte dalle lezioni tenute da Puppini, in genere stilate da allievi particolarmente diligenti (per esempio nel 1936 da Francesco Barozzi, futuro professore di elettrotecnica): questo volume del 1947 fu invece redatto personalmente dall'autore con grande cura, e rappresenta un vero e proprio trattato della disciplina idraulica, rigoroso nell'impostazione e completo nella raccolta degli argomenti trattati. Notevole il numero di lavori scientifici citati, di studiosi non solo italiani, ma francesi, tedeschi, americani e inglesi: l'indice dei nomi che conclude il volume indica ben 266 autori, dei quali 144 stranieri. Il trattato, complessivamente di 694 pagine, è suddiviso in venti capitoli più un'appendice; al termine di ciascun capitolo è riportata una ricca (e, per l'epoca, aggiornata) bibliografia.

Il capitolo iniziale (pp. 1-14), preceduto da un indice molto dettagliato (pp. I-XVI), introduce i concetti fondamentali che riguardano i fluidi e le loro proprietà fisiche. Il secondo (pp. 15-50) è interamente dedicato all'idrostatica e alle sue applicazioni (per esempio è studiata in dettaglio la stabilità dell'equilibrio dei corpi galleggianti). Il terzo capitolo (pp. 51-57) si occupa dei sistemi di unità di misura (all'epoca gli ingegneri usavano il sistema basato su forza, lunghezza e tempo) e dell'analisi dimensionale. Nel capitolo IV (pp. 59-68) si danno i concetti fondamentali della dinamica dei fluidi richiamando l'esperienza di Reynolds ed evidenziando la diversità di comportamento fra

correnti regolari (laminari) e turbolente. Il quinto capitolo (pp. 69-110) è dedicato allo studio del moto dei fluidi usando lo schema di “fluido perfetto” (o, come si preferisce dire oggi, “ideale”), cioè privo di effetti viscosi: questo capitolo comprende il teorema di Bernoulli e le sue varie estensioni e applicazioni e lo studio dei moti irrotazionali (moti a potenziale di velocità). Il breve capitolo VI (pp. 111-116) tratta delle dissipazioni di energia dovute a brusche variazioni nella geometria delle condotte (restringimenti, allargamenti, gomiti). Il successivo (pp. 117-161) è dedicato ai fenomeni di efflusso da luci e al loro uso come strumenti per la misura di portata: luci a battente con varie condizioni di funzionamento (argomento sul quale Razzaboni aveva condotto notevoli serie di esperimenti nel laboratorio della Scuola in Piazza dei Celestini) e luci a stramazzo, in parete grossa e in parete sottile, con o senza contrazione laterale. I capitoli VIII (pp. 163-170) e IX (171-189) sono dedicati al moto regolare (laminare) di fluidi viscosi con varie modalità di flusso, mettendo in evidenza le dissipazioni di energia. Il successivo capitolo X (pp. 191-241) riguarda il moto negli ammassi filtranti (falde artesiane e falde freatiche), campo nel quale Puppini aveva ottenuto notevoli risultati apprezzati a livello internazionale (in particolare formulò una “regola di reciprocità” che gli valse nel 1915 il premio Boileau dell’Accademia delle Scienze di Francia). Nel campo dei moti di filtrazione Puppini propone anche la realizzazione di modelli analogici elettrici (sfruttando il fatto che fenomeni fisici in campi diversi sono a volte retti dalle stesse equazioni purché si cambi il significato delle variabili). Nel capitolo XI (pp. 243-251) viene richiamato il teorema fondamentale dell’analisi dimensionale (teorema di Buckingham detto anche teorema Pigreco) utilizzato per esprimere la legge di resistenza al moto di un fluido in una condotta. Il capitolo XII (pp. 253-296) esamina il moto permanente turbolento nelle condotte in pressione, argomento fondamentale per le applicazioni, citando anche lavori di Ludwig Prandtl e Theodor von Kármán relativi alla turbolenza. La transizione alla turbolenza rappresenta a tutt’oggi un problema irrisolto e di enorme importanza per le applicazioni al quale si dedicano numerosi ricercatori con tecniche analitiche, numeriche e sperimentali. Segue un importante capitolo (pp. 297-332) che riguarda il moto vario nelle condotte in pressione, cioè i cosiddetti fenomeni di “colpo d’ariete”, studiati per la prima volta agli inizi del Novecento da Lorenzo Allievi in Italia e – del tutto indipendentemente – da Nikolaj Egorovič Žukovskij in Russia: argomento nel quale la scuola idraulica bolognese ha dato contributi fondamentali, basti ricordare a proposito Giuseppe Evangelisti e i suoi allievi. Il capitolo XIV (pp. 333-413) tratta del moto stazionario delle correnti a superficie libera, studiando dettagliatamente il moto uniforme e il moto permanente, il risalto idraulico e le conseguenze di singolarità nell’alveo. Il capitolo XV (pp. 415-423) e il successivo XVI (pp. 425-469) sono dedicati allo studio approfondito dei moti ondosi sia nei corsi d’acqua (onde di traslazione, per esempio onde di piena), sia in mare (onde di oscillazione). Il capitolo XVII (pp. 471-558) ha il titolo “Afflussi, deflussi e invasi”: si occupa nella prima parte della gestione degli invasi (laghi) naturali o artificiali, e del loro uso per gli impianti idroelettrici; nella seconda esamina il funzionamento in condizioni normali o di piena delle reti di canali di bonifica, argomento per il quale l’autore ha fornito, assieme a Giulio Supino, risultati riconosciuti a livello internazionale (il cosiddetto “metodo italiano” o di Puppini e Supino per il calcolo dei canali di bonifica). Nel capitolo XVIII (pp. 559-

575) si tratta dell'interazione fra vene fluide e superfici solide fisse o in movimento e si accenna a concetti che sconfinano nell'aerodinamica (portanza, resistenza al moto di un corpo all'interno di una massa fluida). Segue un capitolo (pp. 577-618) sull'uso dei modelli (fisici o analogici), di grande importanza per lo studio e per la verifica di fenomeni idraulici complessi (per esempio sistemazioni fluviali, opere di derivazione, ecc.). Un ultimo capitolo tratta delle misure di grandezze idrauliche (altezze d'acqua, portate, velocità), e riporta le tecniche disponibili all'epoca: è forse l'unico capitolo che risulta inevitabilmente obsoleto (non nei concetti ma nella descrizione delle tecniche) per gli enormi progressi della tecnologia nel campo delle misure dovuta allo sviluppo dell'elettronica e dell'informatica. Conclude l'opera un'appendice di 21 pagine, di carattere fisico-matematico, dedicata ai tensori che si incontrano nello studio della meccanica dei fluidi e alle relazioni che li legano; in particolare viene esaminato il legame fra il tensore degli sforzi e quello delle velocità di deformazione nei fluidi viscosi, introducendo quindi quella che oggi viene chiamata equazione costitutiva dei fluidi newtoniani. Il volume termina con le quattro pagine dell'indice dei nomi.

Il trattato di Puppini è un volume che può essere letto con profitto ancora oggi, costruito con un'impostazione estremamente rigorosa che risulta ancora perfettamente valida, che tratta con ampiezza tutti gli argomenti dell'idraulica classica, non perdendo però mai di vista le applicazioni ingegneristiche. A volte, sviscerando alcuni argomenti, varca i confini (del resto molto labili) tra l'ingegneria e la fisica-matematica: ma questa – penso di poterlo affermare – è l'impronta profonda della Scuola idraulica bolognese, che ha origine con Cesare Razzaboni e si tramanda, con Puppini, Supino, Evangelisti, fino ai nostri giovani ricercatori di oggi.

*Giambattista Scarpi*

Giuseppe Evangelisti

### ***La Regolazione delle Turbine idrauliche***

Zanichelli, 1947 – 274 pagine

Nel volume si possono riconoscere alcuni elementi tipici di un corso di Controlli Automatici e, a questo aspetto, io, per le mie specifiche competenze, intendo rivolgere la mia attenzione. A tal proposito, ricordo, che l'Autore del libro è stato considerato subito dal mondo scientifico un cultore o, meglio, un precursore dei Controlli Automatici e, come tale, è stato invitato a partecipare, nel settembre del 1957, alla costituzione di International Federation of Automatic Control (IFAC).

Anche per queste considerazioni, il libro è stato citato più volte nella letteratura internazionale, pur essendo scritto in italiano ed ancora oggi appare uno dei testi più

completi sull' argomento. Il trattato affronta come problema fondamentale quello della regolazione tachimetrica in retroazione degli impianti idroelettrici, in relazione al quale vengono descritte ed illustrate diverse soluzioni, specie in rapporto al problema della stabilità.

Il contenuto del libro passa attraverso l'enunciazione di definizioni fondamentali, la descrizione degli schemi e del comportamento della regolazione per il funzionamento degli impianti idroelettrici. Illustra gli amplificatori, i dispositivi di asservimento, descrive i mezzi di stabilizzazione utilizzati, i procedimenti adottati per l'analisi e lo studio dei fenomeni inerenti alla materia: influenza dei fenomeni propagatori, equazioni del moto..., condotte in pressione...

Da una lettura anche superficiale del libro, appare, evidente che l'autore, pur essendo un precursore delle idee, che hanno segnato gli sviluppi dell'età moderna, ha avuto a disposizione una strumentazione, diremmo noi, piuttosto grossolana ed inadeguata, citiamo solo le misure di accelerazione, che si potevano fare a quei tempi.

Come è consuetudine nei Controlli Automatici, il modello matematico di un sistema complesso viene dedotto dallo studio di ogni singola parte ed è, di conseguenza, il risultato dell'insieme di più operazioni differenti, relative ciascuna ai diversi elementi del sistema stesso. Risulta, pertanto, indispensabile la validazione sperimentale del procedimento seguito. La metodologia generalmente adottata dall'Autore è il confronto della realtà fisica con gli schemi analitici introdotti a rappresentarla e la necessità di una continua verifica dell'aderenza del modello matematico al fenomeno descritto.

Evangelisti, infatti, si affida essenzialmente ad una verifica sperimentale, relativamente complessa, mentre ora con l'utilizzo dell'elettronica è possibile provare direttamente la corrispondenza dei dispositivi di controllo alla realtà fisica.

Per vedere in Evangelisti, come detto all'inizio, il precursore dei Controlli Automatici, viene illustrato un esempio: la stabilizzazione "accelero tachimetrica", introdotta nel suo testo, che, tradotta in termini attuali, può sicuramente essere assimilata alla "regolazione PD", di tipo elettronico, riportata nel volume *Controlli Automatici* di G. Marro, Zanichelli, 2004. Gli schemi di seguito riportati illustrano tale equivalenza:

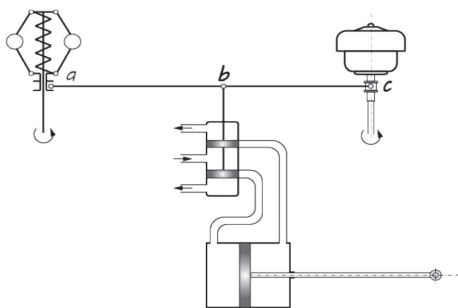


Fig. 25, cap. 2 - G. Evangelisti

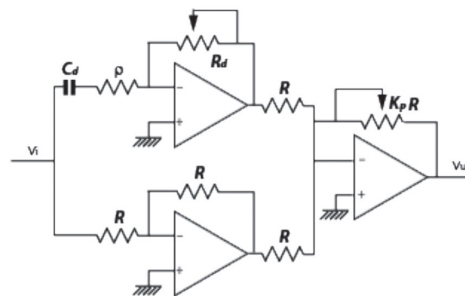


Figura ricavata da Fig.10.6 d) Cap. 10 - G. Marro

Appare chiaro che la funzione di trasferimento è la medesima per entrambi gli schemi, anche se nel secondo caso sono stati realizzati solo i collegamenti corrispondenti ai termini proporzionale e derivativo. Si tratta di sistemi del tutto differenti nell'apparenza, ma che in sostanza vengono descritti dalle stesse equazioni.

La trattazione degli argomenti è alquanto dettagliata e completa. L'opera comprende ben nove capitoli, ciascuno dedicato a un diverso aspetto matematico della soluzione del problema, *La regolazione delle turbine idrauliche*, che nel 1947 era di importanza fondamentale, in quanto allora quasi tutto il fabbisogno energetico nazionale era coperto da impianti idroelettrici.

Il Capitolo Primo: *Generalità e Schemi Fondamentali*, affronta il problema della regolazione della velocità e introduce definizioni e schemi di dispositivi fondamentali per il controllo degli impianti idroelettrici. Vengono descritti i dispositivi amplificatori e di asservimento e viene affrontato il problema della stabilità della regolazione.

I successivi argomenti trattati sono: *Le equazioni del moto* (cap. 2) - *Le equazioni delle piccole oscillazioni*, (cap. 3) - *L'influenza dei fenomeni propagatori*, (cap. 4) - *Considerazioni finali sulle equazioni del moto*, (cap. 5) - *La regolazione negli impianti a salto motore invariabile*, (cap. 6) - *La regolazione negli impianti con adduzione e scarico in pressione*, (cap. 7) - *La regolazione negli impianti muniti di vasca di oscillazione*, (cap. 8) - *Le variazioni di regime di grande ampiezza*, (cap. 9).

In ciascuno dei suddetti capitoli vengono analizzati i procedimenti di indagine più convenienti, al fine di ottenere il miglior compromesso fra la semplicità dell'approccio e la precisione del risultato.

Quale allievo e profondo estimatore del professor Evangelisti, mi piace vedere questo testo come *"I Controlli Automatici del professor Evangelisti"*.

*Giovanni Marro*

Ettore Funaioli

### ***Corso di Meccanica applicata alle macchine (2 vol.)***

Riccardo Pàtron, 1970

La prima edizione del testo di Meccanica applicata alle macchine del professor Funaioli fu pubblicata nel 1970. L'opera, in due volumi, conteneva gli argomenti delle lezioni da lui svolte nella Facoltà di Ingegneria di Bologna dal 1958.

Il primo volume dedica una parte introduttiva alla composizione dei meccanismi e alle forze agenti sulle macchine; tratta poi i problemi fondamentali della tribologia – attrito e lubrificazione – e passa successivamente allo studio dei principali tipi

di meccanismi e dei loro componenti, dal punto di vista geometrico, cinematico, della trasmissione delle forze e dell'equilibrio delle macchine in condizione di moto uniforme.

Il secondo volume, dedicato alla dinamica, esamina le vibrazioni meccaniche, l'equilibratura dei rotori, le velocità critiche, la dinamica delle macchine alternative e degli impianti funzionanti in condizioni di regime periodico. Una corposa appendice si occupa poi della regolazione della velocità angolare: un classico argomento di Meccanica, che in seguito è stato assorbito nella disciplina Controlli automatici.

Il testo, secondo una tradizione già presente a Bologna, è impostato considerando la Meccanica applicata alle macchine una disciplina autonoma, mentre altri Autori preferivano ancora trattarla come una diretta applicazione della Meccanica razionale, suddividendola in Cinematica applicata, Statica applicata e Dinamica applicata. La scelta del professor Funaioli consente di trattare ogni singolo problema in modo globale, come richiesto da un approccio ingegneristico; fa eccezione la Dinamica, trattata a parte nel secondo volume: ciò si spiega con il fatto che solo alcuni particolari problemi di dinamica si potevano affrontare con i normali mezzi allora a disposizione degli ingegneri, mentre per altri, pur teoricamente risolti, non si disponeva di mezzi di calcolo adeguati, per cui erano affrontati solo in pubblicazioni scientifiche o, in alcuni casi, presso uffici tecnici molto specializzati. Un discorso analogo vale per i sistemi articolati spaziali, che non sono presi in considerazione, con l'eccezione del giunto di Cardano: anche per essi, infatti, all'epoca non erano disponibili né metodi né mezzi per trattarli a livello ingegneristico; e anche le loro applicazioni, peraltro, erano piuttosto limitate.

*Capitoli del testo Meccanica applicata alle macchine del professor Ettore Funaioli*

VOLUME I. Composizione dei meccanismi. Forze agenti sulle macchine. Forze di contatto fra solidi. Le coppie cinematiche lubrificate. Richiami di cinematica del corpo rigido ed applicazioni ai meccanismi. I sistemi articolati. Meccanismi con sagome e camme. Ruote dentate. Rotismi. Applicazioni degli organi flessibili: macchine di sollevamento, trasmissione del moto fra due alberi, freni a nastro.

VOLUME II. Richiami di dinamica. Moti oscillatori. Equilibratura degli alberi rotanti rigidi. Velocità critiche degli alberi. Dinamica delle macchine alternative. Dinamica del quadrilatero articolato. Dinamica degli impianti funzionanti in condizioni di regime periodico. Regolazione della velocità angolare.

Gli argomenti trattati sono scelti in base ad alcuni requisiti; in particolare, devono riguardare problemi di effettivo e attuale interesse pratico e avere un consistente contenuto scientifico. Nella prefazione al testo, il professor Funaioli precisa infatti che «[alcuni] argomenti non sono svolti perché, nella mia opinione, sono ormai superati dalla evoluzione tecnica» mentre altri sono stati eliminati per non appesantire

inutilmente la trattazione, per cui «nel testo non compaiono le nozioni tecniche e di impiego di organi meccanici come funi, cinghie, catene, cuscinetti a rotolamento, che sono facilmente reperibili sui cataloghi».

La Meccanica applicata alle macchine del professor Funaioli è ancora oggi attuale, sia nei contenuti, sia nell'impostazione, rigorosa ma al tempo stesso ingegneristica. Ciascun problema viene trattato avendo presente la necessità di arrivare sempre a una soluzione: e se questa è approssimata, avendone ben chiari i limiti. L'esposizione è quindi svolta nel modo classico: illustrazione e impostazione del problema, modello fisico e suoi limiti, modello matematico e suo sviluppo, risultati e loro discussione. In questo modo, lo studio di ogni singolo problema fornisce allo studente mezzi e concetti che vanno oltre il problema stesso e costituiscono una solida base culturale per lo studio funzionale delle macchine.

La conferma di questa scelta programmatica si trova nella prefazione, dove il professor Funaioli scrive: «Nella esposizione ho cercato di insistere sulla impostazione fisica delle questioni e sui campi di impiego delle soluzioni proposte, in modo da dare all'allievo non soltanto mezzi di analisi dei sistemi meccanici, ma anche criteri di scelta delle soluzioni da adottare nella progettazione». E più oltre: «ho evitato di dilungarmi nei passaggi matematici».

Per ciascun argomento trattato si spiega prima di tutto in che cosa consiste e perché è importante, quindi se ne imposta lo studio "quantitativo" – cioè formulando un modello fisico da cui, se ragionevolmente possibile, si possa dedurre il corrispondente modello matematico – e infine si discutono il significato e l'applicazione dei risultati. Questa impostazione, molto naturale e quasi ovvia, è condotta in modo magistrale, con una trattazione limpida ed efficace, che ha decretato il successo del testo. Questo, infatti, è stato adottato in molte sedi universitarie, mentre in altre ne sono stati scansionati e messi in rete diversi capitoli; notevole è poi la diffusione endemica nelle sedi dove il testo non è adottato: qui, molti studenti lo impiegano come "sussidiario", per comprendere meglio i problemi, al di là della loro trattazione, che, quando è troppo complessa, può talora apparire fine a sé stessa e oscurare gli aspetti fondamentali dei problemi stessi.

Il testo del professor Funaioli è da quasi cinquant'anni un riferimento prezioso per molti docenti e per tantissimi studenti di Ingegneria, che in esso hanno trovato e tuttora trovano una guida chiara e formativa per la trattazione e la comprensione dei temi della Meccanica applicata alle macchine: uno dei cardini dell'Ingegneria industriale.

Nel testo risalta la mirabile capacità di sintesi del professor Funaioli, che espone in modo chiaro e conciso i concetti e le nozioni fondamentali, riportando – in modo originale e nella dimensione adeguata al corso di Meccanica applicata alle macchine – i risultati rintracciabili nei trattati più recenti e aggiornati.

*Umberto Meneghetti*

Ercole De Castro

***Teoria dei dispositivi a semiconduttori – Una introduzione fenomenologica***

Edizioni Scientifiche Telettra - Pàtron Editore, 1983 – 370 pagine

Il volume qui recensito è l'ultimo, in ordine di tempo, pubblicato da Ercole De Castro<sup>1</sup>; esso deriva, riproducendone i contenuti in modo ampliato, da un corso che lo stesso Autore aveva svolto per numerosi anni presso i Laboratori di ricerca e sviluppo della Telettra. Il corso era stato concepito in modo da consentire ai progettisti dell'Azienda, impegnati nel campo della realizzazione di sistemi elettronici, di apprendere la teoria dei dispositivi elettronici a stato solido, o di approfondire le conoscenze di questi. Tali dispositivi costituiscono infatti i componenti di base dei microcircuiti abitualmente adottati nella progettazione dei sistemi.

Conviene rilevare fin da subito che il termine "fenomenologico", che compare nel titolo del volume, si riferisce unicamente a due aspetti: il primo riguarda il modello ohmico-diffusivo (Cap. 3), il secondo la fisica dei materiali semiconduttori (Cap. 4). Il modello ohmico-diffusivo, che è quello comunemente adottato per descrivere il trasporto di carica nei semiconduttori, e che è alla base dei successivi sviluppi presentati nel volume, è usato come punto di partenza, senza essere dedotto dall'equazione semiclassica del trasporto di Boltzmann; a loro volta, fenomeni e proprietà fisiche d'interesse nei semiconduttori (l'esistenza e la forma delle bande di energia, la distribuzione degli elettroni in esse, l'effetto tunnel, il concetto di lacuna e le proprietà delle trappole), sono anch'essi introdotti senza una deduzione da principi quantistici.

Il contenuto dei capitoli 3 e 4, insieme con quello dei due che li precedono, dedicati rispettivamente alla determinazione sperimentale di parametri notevoli (ad esempio, concentrazioni e mobilità dei portatori di carica), e al problema-modello del semiconduttore non uniforme dotato di contatti metallici, fornisce al lettore una base di partenza completa e coerente per la comprensione dei successivi argomenti. Da questo punto in poi, la trattazione procede in modo rigorosamente deduttivo introducendo, nei successivi capitoli, la giunzione  $p-n$ , le interfacce fra mezzi diversi,

---

<sup>1</sup> Oltre a quello oggetto della presente recensione, i volumi pubblicati da Ercole De Castro sono stati, in ordine di tempo: *Fondamenti di Elettrodinamica*, Pàtron, 1961; *Complementi di analisi matematica con applicazioni all'Elettrotecnica e alle Comunicazioni Elettriche*, Zanichelli, 1961; *Fondamenti di Comunicazioni elettriche*, Zanichelli, 1967; *Fondamenti di Elettronica - Fisica elettronica ed elementi della teoria dei dispositivi*, UTET (Collezione di Elettrotecnica ed Elettronica), 1975; *Appunti di tecnica degli impulsi* (con Giorgio Corazza), CLUEB, Vol. 1, 1977 e Vol. 2, 1978. Alcuni di essi sono oggetto di recensione in altri paragrafi di questo volume. A causa della prematura scomparsa di Ercole De Castro è rimasto incompiuto *Fondamenti di Elettronica - Circuiti elettronici*, anch'esso destinato alla Collezione di Elettrotecnica ed Elettronica della UTET; alcune parti del trattato, che venivano rese disponibili agli studenti, sono circolate in forma manoscritta.



e i fenomeni di generazione-ricombinazione. In numerosi punti, sia qui che nel resto del volume, la teoria è corredata da esempi numerici, in modo da orientare il lettore con la stima degli ordini di grandezza dei diversi parametri.

I capitoli 8, 9, 10, 11 e 12 sono dedicati al funzionamento di dispositivi a singola porta, di cui viene considerato il regime stazionario (giunzione  $p-n$ , incluso il caso della valanga, diodo Zener e diodo *varactor*), e il regime in cui alla polarizzazione costante si somma un piccolo segnale sinusoidale. I capitoli 13, 14 e 15 sono dedicati ad alcune classi di dispositivi a due porte; anche qui viene considerato prima il regime stazionario (JFET, MESFET e transistor bipolare), per passare al modello a controllo di carica per lo studio degli effetti dinamici nei transistori bipolari.

La parte finale del volume è dedicata ai circuiti integrati: il capitolo 16 descrive i principali processi della tecnologia planare e, sulla base dei concetti qui introdotti, viene ripresa nel successivo capitolo la trattazione del transistor bipolare con giunzioni diffuse. Infine, i capitoli 18 e 19 sono dedicati alle strutture MOS che, come noto, sono quelle su cui è basata la parte largamente preponderante della produzione mondiale di circuiti integrati. In particolare, il capitolo 18 descrive il condensatore MOS, sia come dispositivo in sé, sia come strumento d'indagine delle proprietà fisiche dell'interfaccia semiconduttore-isolante; il capitolo 19 è dedicato al transistor MOS, del quale vengono ricavate le caratteristiche statiche includendo il calcolo, del quale raramente è dato trovare in letteratura una trattazione analitica, del termine diffusivo della corrente.

Il ventesimo e ultimo capitolo è dedicato alle prospettive della Microelettronica. Anche in questo caso, l'argomento è svolto con un adeguato approfondimento formale: dopo aver introdotto le regole di scala, che sono alla base delle procedure di miniaturizzazione dei dispositivi integrati, vengono analizzati i possibili aspetti limitanti della miniaturizzazione stessa: limiti imposti dalla fisica di base, dalla resa di produzione, dai costi d'impianto, e così via.

In conclusione, *Teoria dei dispositivi a semiconduttori – Una introduzione fenomenologica* è un testo corposo, che fornisce al lettore un ampio ventaglio di nozioni sui dispositivi, una ricca varietà di esempi e valutazioni di ordini di grandezza, all'interno di una trattazione svolta con rigore e con tutti gli approfondimenti necessari. La difficoltà intrinseca della materia è temperata da un'oculata scelta dell'ordine in cui sono sviluppati gli argomenti, e dall'efficacia espositiva: come ricordano quanti hanno assistito alle sue lezioni, Ercole De Castro era un didatta di prim'ordine. Grazie alla coerenza e completezza della trattazione, il volume è un ottimo testo di riferimento per insegnamenti universitari appartenenti a Corsi di Studio di Ingegneria o Scienze, aventi come oggetto i dispositivi elettronici a semiconduttore.

*Massimo Rudan*

Ercole De Castro

***Complementi di Analisi Matematica***  
***Con applicazioni all'Elettrotecnica e alle Comunicazioni Elettriche***

Zanichelli, 1961 – 368 pagine

Il volume oggetto di questa recensione è stato pubblicato nel 1961, quando l'Autore era molto giovane ed era un professore incaricato nell'Università di Bologna.

Nella prefazione l'Autore afferma che il contenuto è un'estensione di quanto da lui esposto nel Corso di Specializzazione in Radiotecnica e Telecomunicazioni dell'Università di Bologna.

Il volume si articola in 7 Capitoli, di ampiezza molto varia, per complessive 368 pagine, oltre alla Prefazione. Elencherò dapprima i titoli dei Capitoli, il che già dimostrerà la varietà degli argomenti trattati.

Cap. 1: Funzioni analitiche

Cap.2: Sviluppi in serie di funzioni ortogonali – Serie di Fourier

Cap. 3: Trasformata ed integrale di Fourier

Cap. 4: La trasformata di Laplace

Cap. 5: Le funzioni speciali

Cap. 6: Equazioni alle derivate parziali

Cap. 7: Equazioni alle differenze finite

Esaminiamo ora in dettaglio il contenuto dei singoli Capitoli.

Nel Cap. 1, si definisce la derivata di una funzione complessa di una variabile complessa e quindi cosa sia una funzione *analitica*, intesa come funzione derivabile in un aperto del piano complesso. Si caratterizza quindi l'analiticità mediante le equazioni di Cauchy-Riemann e si dimostra che le funzioni analitiche con derivata in ogni punto diversa da zero sono (localmente) biunivoche e conformi. Si introduce quindi l'integrale complesso, come limite di opportune somme di Riemann, e si stabilisce il Teorema di Cauchy, riconducendolo a proprietà di forma differenziali lineari reali. Dopo aver dimostrato la Formula integrale di Cauchy, la si utilizza per stabilire la sviluppabilità in serie di Taylor e di Laurent delle funzioni analitiche. Vengono poi studiati i punti singolari isolati e si definiscono i residui. Si trattano poi brevemente il Teorema dell'indice logaritmico, il prolungamento analitico e le funzioni polidrome. Il Capitolo si chiude con l'applicazione al Teorema di Bayard e al Criterio di Nyquist.

Nel Cap. 2, dopo aver introdotto il concetto di successione di funzioni ortogonali e definita la convergenza in media di una successione di funzioni, ci si concentra sulla convergenza puntuale delle serie di Fourier in forma reale. Vengono illustrate le condizioni di Dirichlet e si prova la convergenza della serie di una funzione periodica di periodo  $2\pi$  che le soddisfa. Si estendono poi i risultati a funzioni di periodo arbitrario e si illustrano altre forme delle serie di Fourier, fra le quali, molto brevemente, anche la forma complessa. Dopo avere calcolato nu-

merosi esempi di serie di Fourier e aver definito gli spettri di ampiezza e di fase, si accenna anche alle serie di Fourier doppie e triple.

Nel Cap. 3 si studia la trasformata di Fourier, introdotta, mediante un limite formale della serie di Fourier, al tendere all'infinito del periodo. Si stabiliscono poi, in modo puramente formale, le principali proprietà della trasformata di Fourier. Si dimostra quindi, sotto ipotesi di Dirichlet, il teorema di inversione della trasformata. Si scrive quindi l'uguaglianza di Parseval, omettendo però la richiesta che la funzione sia di quadrato sommabile (oltre che sommabile). Si calcolano poi le trasformate di diverse funzioni, anche utilizzando le tecniche di analisi complessa, introdotte nel Cap. 1. Dopo aver applicato i risultati allo studio di reti elettriche in regime transitorio, si accenna alla trasformata di Fourier in più variabili.

Nel Cap. 4 si studia la trasformata di Laplace. Dopo averne fornito la definizione e stabilito le principali proprietà, incluso la trasformata di una convoluzione, si mostra brevemente l'applicazione di questa trasformata alla risoluzione del problema di Cauchy per un'equazione differenziale o integrodifferenziale ordinaria lineare a coefficienti costanti. Il metodo viene illustrato, studiando l'equazione integrodifferenziale del primo ordine che descrive l'equilibrio di un circuito elettrico. Vengono poi calcolate le trasformate di diverse funzioni e si introduce la  $\delta$  di Dirac, rilevando poi che la sua trasformata di Laplace è la costante 1. L'ultima sezione del Capitolo è dedicata alla trasformata inversa di una funzione razionale, di particolare interesse nelle applicazioni.

Il lunghissimo Cap. 5 (ben 113 pagine) è dedicato alle funzioni speciali. Si studiano dapprima le funzioni  $\Gamma$  e  $B$  di Eulero nel campo reale e la funzione  $\zeta$  di Riemann nel campo complesso. Vi è poi un'ampia trattazione delle equazioni differenziali lineari del secondo ordine: dopo aver ricordato l'analiticità delle equazioni lineari a coefficienti e termine noto analitici, si studiano le equazioni di Eulero, che costituiscono il più semplice esempio di equazioni del secondo ordine con un punto singolare regolare, per le quali è possibile determinare esplicitamente l'integrale generale. Viene poi illustrato il teorema di Fuchs per le equazioni che presentano solo punti singolari regolari. Un'ampia e dettagliata descrizione viene poi fatta delle funzioni di Bessel e di Legendre. Dopo avere accennato alle armoniche sferiche, vengono studiate le funzioni ipergeometriche e quelle ipergeometriche confluenti. Il capitolo si conclude con una breve trattazione dei polinomi di Laguerre.

Il Cap. 6 è dedicato alle equazioni a derivate parziali ed è, comprensibilmente, il più lungo di tutta l'opera (132 pagine). Il Capitolo comincia con la trattazione del Teorema di Cauchy-Kowalevska per equazioni del primo ordine analitiche e con dato iniziale assegnato su una varietà non caratteristica. Si esaminano poi le equazioni lineari del primo ordine omogenee, determinandone l'integrale generale. Ritornando alle equazioni del primo ordine non lineari, si introduce il concetto di integrale completo. Vengono poi elencate le principali equazioni della Fisica Matematica, incluse le equazioni di Maxwell e quella di Schrödinger; questo mette in rilievo l'importanza applicativa delle equazioni lineari del secondo ordine. Per tali equazioni si studiano le varietà caratteristiche, che vengono esplicitate per le

equazioni in due variabili, arrivando alle usuali forme canoniche. Si esamina quindi l'applicabilità del Teorema di Cauchy-Kowalevska alle equazioni di Laplace, del calore e delle onde in due variabili. Mentre le considerazioni sull'equazione di Laplace mostrano lo scarso interesse del problema di Cauchy per tale equazione, nell'analisi dell'equazione del calore si fa appello solo all'intuizione fisica per stabilire quale sia il corretto problema di Cauchy. Per l'equazione delle onde, l'uso inopportuno degli integrali indefiniti impedisce la cancellazione delle costanti arbitrarie, non consentendo di ottenere esplicitamente la soluzione di d'Alembert del problema di Cauchy. Per poter trattare i problemi al contorno per le equazioni a derivate parziali separando le variabili, viene poi studiato il problema di Sturm-Liouville per le equazioni differenziali ordinarie, mettendo in rilievo il ruolo degli autovalori. Si considerano poi nuovamente le equazioni di Laplace, del calore e delle onde, tutte in due variabili, e si illustrano le più comuni condizioni al contorno, asserendo che sono motivate da considerazioni fisiche. Utilizzando la trasformata di Fourier si risolve il problema di Cauchy per l'equazione del calore, ottenendo la soluzione come convoluzione del dato iniziale con la soluzione fondamentale e rinviando a volumi in bibliografia per l'uso analogo della trasformata di Laplace. Utilizzando uno sviluppo in serie di Fourier di soli seni, si risolve quindi il problema di Cauchy-Dirichlet per l'equazione dei telegrafisti. Per introdurre il metodo della separazione di variabili, l'Autore tratta il problema di Cauchy-Dirichlet per l'equazione dei telegrafisti in tre variabili di spazio. Come è ben noto, il problema si trasforma in un'equazione differenziale ordinaria nella variabile temporale e in un problema agli autovalori per il problema di Dirichlet per l'equazione di Laplace. Per questo problema si afferma, ovviamente senza dimostrazione, che vi è una successione di autovalori e che autofunzioni corrispondenti ad autovalori distinti sono ortogonali. Questo problema agli autovalori viene esplicitamente risolto, ancora per separazione di variabili, nei casi di un parallelepipedo rettangolo, di un cilindro e di una palla, utilizzando anche le funzioni speciali studiate nel Capitolo precedente. Nel paragrafo successivo si studiano applicazioni alla propagazione guidata di onde elettromagnetiche, alle dimensioni critiche di un reattore nucleare e all'equazione di Schrödinger per atomi simili a quello dell'idrogeno. Si considera poi l'equazione dei telegrafisti non omogenea, introducendo quindi la possibilità di risonanza e si descrive l'approssimazione di Kirchhoff, mostrandone l'applicazione allo studio della diffrazione. Stabilita la formula di media per le funzioni armoniche si ottiene il principio di massimo debole per l'equazione di Laplace, da cui segue l'unicità delle soluzioni del problema di Dirichlet. Introdotto il concetto di funzione di Green di questo problema, essa viene esplicitamente determinata nel caso della palla.

L'ultimo brevissimo Capitolo (solo 8 pagine) è dedicato alle equazioni alle differenze finite. Dopo aver introdotto l'idea di questo tipo di equazioni, vengono trattate in dettaglio le equazioni del secondo ordine omogenee e a coefficienti costanti e si applica il risultato ottenuto allo studio dell'equilibrio di filtri elettrici. Se scritto oggi, questo Capitolo sarebbe molto più esteso e sfrutterebbe appieno la trasformata  $z$ , non ancora formalizzata nel 1961.

Questa ampia descrizione del contenuto dell'opera mostra la grande varietà di strumenti che sono stati messi a disposizione del lettore, che hanno reso per molti anni altamente meritoria la pubblicazione di questo volume.

Nella prefazione si segnala che sono state in gran parte omesse le parti più tecniche delle dimostrazioni, in particolare quelle relative a problemi di convergenza e di scambio di passaggi al limite. Non si può che concordare con questa scelta, senza la quale l'opera si sarebbe molto appesantita, anche per la necessità di introdurre risultati generali non semplici per giustificare queste operazioni.

Meno condivisibile è la scelta di omettere in diversi casi le ipotesi esplicite per la validità dei risultati illustrati; in particolare nella trattazione della trasformazione di Fourier non viene, a mio avviso, sottolineato sufficientemente che alcuni risultati sono validi solamente per certe classi di funzioni e non per altre.

È molto difficile scrivere un libro di matematica non elementare, evitando completamente imprecisioni o errori di stampa; posso senz'altro affermare che questo è stato scritto con grande cura e che le affermazioni non del tutto corrette sono veramente pochissime.

*Enrico Obrecht*

Ercole De Castro

***Fondamenti di Elettronica – Fisica elettronica ed elementi di teoria dei dispositivi***

UTET, 1975 – 869 pagine

Il volume qui recensito fa parte di una Collezione progettata da UTET alla fine degli anni sessanta dello scorso secolo; il progetto originale prevedeva anche il volume *Fondamenti di Elettronica - Circuiti elettronici*, rimasto incompiuto a causa della prematura scomparsa di Ercole De Castro<sup>2</sup>. Come nel caso di altre opere dello stesso autore, il materiale usato per la preparazione dell'opera è detto, nell'introduzione,

---

<sup>2</sup> Alcune parti di *Fondamenti di Elettronica – Circuiti elettronici*, che venivano rese disponibili agli studenti, sono circolate in forma manoscritta. Oltre a quello oggetto della presente recensione, i volumi pubblicati da Ercole De Castro sono stati, in ordine di tempo: *Fondamenti di Elettrodinamica*, Pàtron, 1961; *Complementi di analisi matematica con applicazioni all'Elettrotecnica e alle Comunicazioni Elettriche*, Zanichelli, 1961; *Fondamenti di Comunicazioni elettriche*, Zanichelli, 1967; *Appunti di tecnica degli impulsi* (con Giorgio Corazza), CLUEB, Vol. 1, 1977 e Vol. 2, 1978; *Teoria dei dispositivi a semiconduttori – Una introduzione fenomenologica* (Edizioni Scientifiche Telettra), Pàtron Editore, Bologna 1983. Alcuni di essi sono oggetto di recensione in altri paragrafi di questa raccolta.

“un canovaccio”. Quanti hanno avuto occasione di usare il materiale preparatorio sanno che questa modesta denominazione indica in realtà appunti manoscritti destinati agli studenti, preparati con estrema cura e continuamente rivisti e arricchiti nel corso degli anni; di fatto, un solido punto di partenza per la preparazione di un’opera straordinaria, che costituisce un importante punto di riferimento per chi lavora nel settore.

Scopo e impostazione del trattato sono chiaramente descritti nell’introduzione, e rispecchiano la concezione di Ercole De Castro: illustrare concetti e metodi di base dell’Elettronica approfondendo, per quanto attiene alla Fisica elettronica, l’analisi del comportamento dei dispositivi che formano il presupposto essenziale dei moderni circuiti integrati; nello stesso tempo, fornire un sostanziale supplemento di materia rispetto alle nozioni istituzionali che rappresentano il naturale corredo culturale di un ingegnere elettronico.

È utile a questo proposito ricordare che nel campo dell’Elettronica le soluzioni tecnologiche sono suscettibili di divenire obsolete in un tempo relativamente e imprevedibilmente breve; dunque, per capire il significato e quindi l’utilità di un’innovazione tecnologica, nella consapevolezza delle sue intrinseche limitazioni e delle sue reali prospettive di sviluppo, serve a poco la descrizione della sequenza di operazioni che essa comporta, senza una chiara comprensione del processo fisico che ne è alla base. La lunga esperienza professionale di Ercole De Castro lo convinse che sono le lacune concettuali, o l’inadeguata assimilazione dei metodi generali, a creare sostanziali difficoltà al progettista, anche di ordine psicologico; in altri termini, i maggiori problemi derivano da un’inadeguata preparazione di base, non certo dall’insufficiente conoscenza di dettagli tecnologici, sempre acquisibili facilmente<sup>3</sup>. Da questi presupposti discende l’impostazione del trattato, il cui impianto è essenzialmente di tipo fisico-matematico; se la lettura può, per questo motivo, creare qualche disagio nel lettore ansioso più di conoscere come *in pratica* è fatto un certo dispositivo che di capire cosa è essenziale perché tale dispositivo funzioni, si tratta di un disagio passeggero: basta tener presente che un determinato processo tecnologico rappresenta solo un particolare modo di realizzare un’idea molto generale, un modo anche pregevole, ma pur sempre particolare e perciò tale da lasciare la porta aperta ad altre possibilità realizzative del tutto nuove e impensate.

---

<sup>3</sup> È difficile non condividere questo punto di vista: il numero di nozioni che in qualche modo possono concorrere alla formazione professionale di un laureato è enormemente superiore al numero di nozioni che possono essere ragionevolmente erogate nel tempo prefissato di un Corso di Studio; la serietà di chi progetta il Corso di Studio deve perciò manifestarsi nella scelta oculata delle nozioni da erogarsi, privilegiando quelle forniscono un corredo permanente e scartando quelle a rapida obsolescenza; ancora, privilegiando quelle che sarebbe più arduo acquisire in un secondo momento, al di fuori di una struttura congegnata per fornire didattica in modo efficiente e sistematico, e scartando quelle che sono comunque acquisibili facilmente nel caso se ne presenti la necessità. È doloroso constatare che nella visione “aziendalistica” che si è rafforzata negli ultimi anni nel mondo accademico, che vede le Università in competizione reciproca ai fini dell’accaparramento di “studenti-clienti”, la ricerca di un’efficace preparazione di base non sembra più giocare un ruolo centrale; prevale l’idea di fornire insegnamenti dai titoli accattivanti, manifestamente poco impegnativi, e “immediatamente spendibili sul mercato”: meglio se con denominazione inglese, meglio ancora se mascherati sotto il titolo generico di “soft skill”.

Nonostante il fatto che il trattato dia un peso prevalente agli argomenti che riguardano l'Elettronica dello stato solido, la parte iniziale (tre capitoli) è dedicata ai dispositivi ad alto vuoto. Infatti, sia al tempo della pubblicazione del trattato, ma anche al tempo presente, i tubi a raggi catodici rappresentano un'ampia quota di mercato, sia nell'industria che nella ricerca scientifica, insieme a strumenti come spettrografi di massa, cannoni ionici, microscopi elettronici e via discorrendo. Nel primo capitolo viene anche fatto cenno alla struttura degli acceleratori di particelle, necessariamente preceduta da alcuni paragrafi dedicati a una sintesi della cinematica e dinamica relativistiche<sup>4</sup>. Il secondo capitolo illustra i principi variazionali, che qui sono applicati ai problemi dell'Ottica elettronica, ma che più avanti saranno ripresi per introdurre concetti della Meccanica quantistica. La parte conclusiva è dedicata alle lenti elettrostatiche (cannoni elettronici) e, più avanti, allo studio della dinamica degli elettroni soggetti a un campo elettrostatico e magnetostatico. Il terzo capitolo tratta dei catodi termoemittenti, dedicando ampio spazio al calcolo della corrente di saturazione, al regime di carica spaziale nel diodo a vuoto e al comportamento dinamico di questo; segue la trattazione dei cannoni elettronici con fasci intensi, dei triodi e altri poliodi ad alto vuoto, delle fotocelle, dei fotomoltiplicatori, e dei tubi per microonde.

Il quarto capitolo introduce le prime nozioni di struttura della materia. In esso vengono descritti risultati sperimentali (effetto fotoelettrico, effetto Compton) che contraddicono le previsioni delle leggi della Meccanica. Il quinto capitolo, alquanto corposo (più di 120 pagine), fornisce i concetti essenziali della Meccanica quantistica, partendo dall'ipotesi di de Broglie per giungere ai metodi generali, compresa la teoria delle rappresentazioni. Le applicazioni elementari (gradino e barriera di energia potenziale, oscillatore armonico lineare) sono descritte nella prima parte del sesto capitolo, seguite dal calcolo degli autovalori e autofunzioni del momento della quantità di moto e dalla trattazione degli atomi idrogenoidi; il capitolo si conclude con la trattazione dello *spin* dell'elettrone.

Il settimo capitolo costituisce il punto di passaggio fra la trattazione di problemi che coinvolgono una singola particella e problemi a più corpi. Vengono introdotti i più importanti metodi di approssimazione (teoria delle perturbazioni indipendenti o dipendenti dal tempo, approssimazione adiabatica), nonché i principi d'indistinguibilità e di esclusione. Viene data giustificazione della struttura del sistema periodico degli elementi e sono introdotti i diversi tipi di legami (polare, Van der Waals e di scambio). Attraverso la trattazione delle vibrazioni reticolari nei corpi solidi, viene quantizzata l'energia vibrazionale fornendo gli ingredienti utili alla giustificazione del concetto di fonone (quest'ultimo sarà introdotto nell'ottavo capitolo). Gli ultimi paragrafi sono dedicati all'applicazione della teoria perturbativa al problema dell'assorbimento ed emissione di radiazione elettromagnetica da parte di atomi, e alla descrizione degli amplificatori molecolari (*maser* e *laser*).

---

<sup>4</sup> Una trattazione più estesa è in *Fondamenti di Elettrodinamica*, Pàtron, 1961, dello stesso autore.

Gli ultimi due capitoli, anch'essi alquanto corposi (220 e 150 pagine) sono dedicati alla teoria dello stato solido, con particolare riguardo ai semiconduttori e, rispettivamente, alla teoria dei dispositivi a semiconduttori. Dopo aver derivato le statistiche quantiche, l'ottavo capitolo intraprende la descrizione dei reticoli cristallini introducendo gli strumenti utili alla loro trattazione (operatori di traslazione e operatori periodici), per introdurre subito dopo l'analisi degli stati vibrazionali, il concetto di fonone e l'interazione elettrone-reticolo. Segue il calcolo degli stati elettronici nei cristalli, la deduzione della distribuzione di equilibrio degli elettroni negli stati e, da qui, la distinzione fra conduttori, semiconduttori e isolanti. Da questo punto in avanti il discorso si concentra sui semiconduttori, in particolare quelli d'interesse per la fabbricazione di dispositivi (silicio, germanio e arseniuro di gallio): introdotto il concetto di lacuna, viene dimostrato il teorema della massa efficace e vengono calcolate le concentrazioni di equilibrio nel caso intrinseco e nel caso in cui sia presente un drogaggio donatore e/o accettore. Gli ultimi paragrafi dell'ottavo capitolo sono dedicati all'analisi di giunzioni di vario tipo e allo sviluppo della teoria del trasporto di carica nel semiconduttore; questa trattazione produce il modello matematico dei dispositivi a semiconduttore, sul quale saranno basate le applicazioni discusse nel successivo capitolo.

Il nono e ultimo capitolo, i cui primi paragrafi trattano il problema delle generazioni-ricombinazioni dei portatori di carica fra la banda di valenza e quella di conduzione, sviluppa le applicazioni del modello matematico dei dispositivi a semiconduttore. Viene calcolata la caratteristica statica della giunzione *p-n*, seguita dalla trattazione del caso dinamico linearizzato, da quella del diodo *varactor*, del transistor JFET, del diodo a barriera Schottky e del transistor MESFET; vengono analizzati i fenomeni di scarica (diodi Zener, dispositivi IMPATT e diodi a effetto tunnel). Ampio spazio è dato alla trattazione del transistor a giunzione, del quale viene ricavato il modello statico (equazioni di Ebers e Moll) e quello dinamico (modello a controllo di carica). Segue la trattazione del condensatore e del transistor MOS<sup>5</sup>. I paragrafi conclusivi forniscono una breve esposizione dei metodi di preparazione dei materiali e della tecnologia di fabbricazione dei circuiti integrati, a film, e integrati ibridi.

In sintesi, il trattato è un'opera straordinaria che conduce il lettore dai principi fisici di base fino ai più importanti aspetti dei dispositivi a semiconduttore. La scelta degli argomenti è precisa, senza lacune, e ogni passaggio fornisce una base di partenza completa e coerente per la comprensione di quelli successivi. La trattazione pro-

---

<sup>5</sup> L'epoca in cui fu scritto il trattato giustifica lo spazio relativamente limitato assegnato alle strutture MOS che, negli anni immediatamente successivi alla pubblicazione del volume, si sono affermate come la tecnologia su cui è basata la parte largamente preponderante della produzione mondiale di circuiti integrati. Un successivo volume pubblicato nel 1983 da Ercole De Castro, *Teoria dei dispositivi a semiconduttori – Una introduzione fenomenologica*, citato in una precedente nota, contiene una trattazione molto più dettagliata delle strutture MOS. In particolare, per quanto riguarda il transistor MOS, vengono ricavate le caratteristiche statiche includendo il calcolo del termine diffusivo della corrente, del quale raramente è dato trovare in letteratura una trattazione analitica.



cede in modo rigorosamente deduttivo, e sempre con un adeguato approfondimento formale; in numerosi punti la teoria è corredata da esempi numerici, in modo da orientare il lettore con la stima degli ordini di grandezza dei diversi parametri e con l'apprezzamento dei livelli di approssimazione utilizzati. La difficoltà intrinseca della materia è temperata dall'efficacia espositiva: come ricordano quanti hanno assistito alle sue lezioni, Ercole De Castro era un didatta di prim'ordine. Non è un caso che *Fondamenti di Elettronica – Fisica elettronica ed elementi di teoria dei dispositivi* abbia segnato una pietra miliare nell'ambito della letteratura scientifica in lingua italiana, e sia comunemente indicato, a oltre quarant'anni dalla pubblicazione<sup>6</sup>, come testo di riferimento per i corsi universitari sui dispositivi a semiconduttore<sup>7</sup>.

Massimo Rudan

Vittorio Mòdoni, Gian Paolo Dore

***Misure Elettriche: Strumenti e metodi di misura***

Patron, 1955 – XV + 607 pagine

Come viene messo in evidenza nella bibliografia di questo volume (pubblicato nel 1955), esso è il secondo libro in italiano dedicato alle Misure Elettriche dopo quello di A. Barbagelata, pubblicato quattro anni prima a Milano. Esso è caratterizzato da una trattazione molto ampia e dettagliata, che si propone di soddisfare non soltanto le esigenze didattiche di uno studente di ingegneria industriale (indirizzo elettrotecnica) ma anche quelle di coloro che intendono dedicarsi professionalmente alle misure. La prima parte del libro, scritta da Vittorio Mòdoni, è dedicata allo studio degli strumenti di misura; la seconda, scritta da Gian Paolo Dore, riguarda lo studio dei metodi di misura.

---

<sup>6</sup> È doveroso citare il fatto che, oltre al trattato qui recensito, e all'incompiuto *Fondamenti di Elettronica – Circuiti elettronici*, nei primi anni Settanta del secolo scorso Ercole De Castro aveva auspicato la realizzazione, attraverso il lavoro coordinato di diversi studiosi, di un terzo volume dedicato alle metodologie di progetto dei circuiti integrati. In esso dovevano trovare spazio, fra l'altro, i metodi di analisi numerica per il calcolo automatico di circuiti lineari e non lineari, e i metodi statistici dedicati al problema del compromesso prestazioni-costi dei circuiti nel rispetto di tolleranze assegnate. Argomenti che, all'epoca, erano oggetto di pubblicazioni assai specializzate, e non avevano ancora trovato una sintesi adeguata.

<sup>7</sup> L'estensore di questa recensione è stato testimone del curioso episodio di uno studente che, avendo appreso con rammarico che *Fondamenti di Elettronica – Fisica elettronica ed elementi di teoria dei dispositivi* non era più in produzione, cercò un contatto con la Casa editrice offrendosi di compiere autonomamente un'impresa ciclopica: ricopiare tutto il trattato in un *file* e usare un *word processor* per conferirgli lo stesso aspetto dell'originale, in modo da consentirne di nuovo la distribuzione.

La struttura del libro è abbastanza complessa perché è suddivisa in due parti; ciascuna parte è suddivisa in capitoli; ciascun capitolo in paragrafi; ciascun paragrafo in sotto paragrafi (che vengono qui distinti con lettere dell'alfabeto); ciascun sotto paragrafo può avere una ulteriore suddivisione (cioè un sotto-sotto paragrafo). Nel libro i capitoli sono indicati con due numeri: il primo indica la parte a cui appartiene (quindi un 1 o un 2); segue una lineetta e un numero progressivo per indicare i vari capitoli; infine viene messo un punto. I paragrafi vengono indicati con un terzo numero; nei sotto paragrafi viene aggiunto un quarto numero e nei sotto-sotto paragrafi un quinto numero. L'obiettivo è quello di offrire al lettore un quadro ordinato e completo, mettendo in evidenza tutti gli argomenti propri delle misure secondo un ordine logico.

La *Parte Prima*, dedicata agli STRUMENTI DI MISURA, è costituita da un capitolo introduttivo dedicato al problema della CLASSIFICAZIONE DEGLI STRUMENTI DI MISURA e alla giustificazione del criterio adottato (che è quello del principio di funzionamento), che introduce cinque tipi di strumenti, a cui corrispondono cinque capitoli: STRUMENTI INDICATORI, STRUMENTI REGISTRATORI E OSCILLOGRAFI, STRUMENTI INTEGRATORI, APPARECCHI PER MODIFICARE IL CAMPO DI IMPIEGO DEGLI STRUMENTI DI MISURA, ATTREZZATURA DI LABORATORIO. Ogni capitolo sviluppa l'argomento in maniera estremamente dettagliata come risulta evidente da questo elenco dei relativi paragrafi e sottoparagrafi (con la ulteriore suddivisione).

I paragrafi relativi al capitolo degli STRUMENTI INDICATORI sono due: *Generalità, Principi di funzionamento e descrizione*. Il paragrafo relativo alle *Generalità* è costituito dai seguenti cinque sottoparagrafi (qualcuno dei quali con una ulteriore suddivisione): a) *Costituzione di uno strumento di misura indicatore*; b) *Equazione del moto di uno strumento indicatore*; c) *Costante, sensibilità, portata*; d) *Parti principali di uno strumento di misura indicatore* (suddiviso in: "Indici e scale", "Sospensione, perni e molle", "Dispositivi per l'equilibratura e lo smorzamento", "Bobine", "Magnet permanenti", "Cassetta o involucro"), e) *Precisione - norme sugli strumenti indicatori - simboli*. Il paragrafo dedicato ai *Principi di funzionamento e descrizione* è suddiviso nei seguenti sei sottoparagrafi per presentare i diversi strumenti indicatori, ciascuno con le sue specifiche caratteristiche, che vengono illustrate nei sotto-sotto paragrafi: a) *Strumenti elettrostatici* (suddiviso in: "Principio di funzionamento", "Bilancia elettrostatica", "Voltmetri a variazione della distanza tra le armature; frequenziometri", "Elettrometro a quadranti", "Voltmetri a variazione della superficie affacciata adelle armature", "Wattmetro elettrostatico"), b) *Strumenti magnetoelctrici* (a bobina mobile e magnete permanente) (suddiviso in: "Principio di funzionamento", "Galvanometri", "Strumenti magnetoelctrici funzionanti in corrente alternata", "Strumenti indicatori, portatili e da quadro"), c) *Strumenti elettromagnetici* (suddiviso in: "Strumenti a magnete permanente mobile", "Strumenti a ferro mobile", "Frequenziometri elettromagnetici", "Telefono"), d) *Strumenti elettrodinamici* (suddiviso in: "Principio di funzionamento", "Bilancia elettrodinamica", "Elettrodinometro", "Ampermetri e voltmetri", "Wattmetri", "Varmetri", "Sincronoscopio", "Strumenti a bobine e campi incrociati"), e) *Strumenti a induzione* (suddiviso in: "Principio di funziona-

mento”, “Ampermetri e voltmetri”, “Wattmetri”, “Frequenzimetro”), f) *Strumenti termici* (suddiviso in: “Principio di funzionamento”, “Ampermetri e voltmetri”, “Wattmetri”). Ovviamente la stessa trattazione estremamente dettagliata, fin nei minimi particolari anche costruttivi, ma sempre esposta in maniera molto chiara, prosegue nei capitoli successivi per un totale di duecento pagine; essa si propone evidentemente di soddisfare le esigenze anche di coloro che debbono progettare uno strumento di misura (in Italia esistevano allora industrie di questo tipo).

La *Parte Seconda*, dedicata ai METODI DI MISURA, è costituita da un capitolo introduttivo (INTRODUZIONE) a cui seguono sei altri capitoli: MISURA DELLE GRANDEZZE ELETTRICHE; MISURE SUI CIRCUITI ELETTRICI; MISURA DELLE GRANDEZZE MAGNETICHE; PROVE SUI MATERIALI; TARATURA DEGLI STRUMENTI ELETTRICI; CENNI SU ALCUNE MISURE SPECIALI. Anche in questa seconda parte ogni capitolo sviluppa l'argomento in maniera estremamente dettagliata come risulta evidente da questo elenco dei relativi paragrafi e sottoparagrafi.

I paragrafi relativi al capitolo della INTRODUZIONE sono due: *Nozioni fondamentali* (riguardano i problemi relativi a qualsiasi misura delle grandezze fisiche), *Generalità sulle misure elettriche*. Il primo paragrafo sulle *Nozioni fondamentali* è costituito dai seguenti due sottoparagrafi (ciascuno dei quali con una ulteriore suddivisione): a) *Sistemi di unità di misura* (suddiviso in: “Generalità”, “Il sistema CGS”, “Grandezze elettriche e magnetiche”, “Sistemi a tre grandezze fondamentali”, “Il sistema tecnico”, “Sistemi a quattro grandezze fondamentali”, “Il sistema Giorgi non razionalizzato”, “Il sistema Giorgi razionalizzato (definitivo)”, “Campioni delle unità elettriche: unità internazionali ed unità assolute”); b) *Generalità sulle misure, errori* (suddiviso in: “Misure dirette e indirette”, “Sensibilità di una misura”, “Errori di misura”, “Errori sistematici ed errori accidentali”, “Compensazione degli errori accidentali”, “Valutazione del limite superiore dell'errore”, “Esecuzione delle misure”, “Rappresentazione dei risultati delle misure: numero delle cifre significative”, “Rappresentazione grafica dei risultati di misura”).

Il secondo paragrafo *Generalità sulle misure elettriche* è suddiviso nei seguenti due sottoparagrafi (che riguardano i problemi specifici delle misure elettriche): a) *Metodi di misura* (suddiviso in: “Generalità e classificazioni”, “Metodi di deviazione”, “Metodi di riduzione a zero”, “Metodi differenziali”); b) *Tecnica delle misure* (suddiviso in: “Premessa”, “Metodo generale di lavoro”, “Norme ed avvertenze: uso degli strumenti”, “Realizzazione dei circuiti”).

I paragrafi relativi al secondo capitolo MISURE DELLE GRANDEZZE ELETTRICHE sono tre (corrispondenti ai diversi tipi nei quali esse possono essere raggruppate): *Misura di differenza di potenziale e di corrente* (cioè misure di grandezze elettriche); *Misure di resistenza, induttanza e capacità* (cioè misure di componenti); *Misure speciali sulle grandezze alternative*. Il primo paragrafo sulla *Misura di differenza di potenziale e di corrente* è suddiviso nei seguenti due sottoparagrafi con le ulteriori suddivisioni: a) *Misure in corrente continua* (suddivise in: “Uso degli strumenti indicatori”, “Uso dei galvanometri”, “Metodo di opposizione (potenziometrico)”, “Potenziometri per corrente continua”, “Influenza delle f.e.m. termoelettriche: misure di piccole

d.d.p.”, “Potenziometri a resistenza costante”, “Uso delle pile campione: precauzioni e accorgimenti vari”, “Impiego del potenziometro per misure di tensione e di corrente”, “Potenziometro a deflessione”); b) *Misure di corrente alternata* (suddiviso in: “Premessa”, “Considerazioni sulla precisione delle misure in corrente alternata”, “Uso degli strumenti indicatori”, “Uso dell’elettrodinamometro e degli indicatori di zero”, “Metodi di proiezione”, “Sensibilità e precisione dei metodi di proiezione”, “Metodi di opposizione: potenziometri a coordinate polari”, “Potenziometri a coordinate ortogonali”, “Misura del valor medio e del valor massimo”, “Misure sui circuiti elettronici”). Il secondo paragrafo sulle *Misure di resistenza, induttanza e capacità* ha i seguenti sette sottoparagrafi (per brevità non vengono sempre indicate le ulteriori suddivisioni): a) *Misure di resistenza in corrente continua* (suddiviso in: “Premessa”, “Misure di resistenza col potenziometro”, “Ponte di Wheatstone”, “Sensibilità del ponte di Wheatstone”, “Disposizione degli elementi del ponte, precisione, limiti di impiego”, “Misure di piccole resistenze: doppio ponte”, “Misura di resistenze elevate: metodo di confronto”, “Metodo della diminuzione di carica”, “Metodo voltramperometrico”, “Uso degli ohmetri - Ohmetri elettronici”); b) *Metodi balistici per misure di auto e mutue induttanze e di capacità*; c) *Metodi fondamentali per misure in corrente alternata di capacità, auto e mutua induttanza, resistenza effettiva*; d) *Misure di capacità e di angolo di perdita*; e) *Misure di induttanza*; f) *Misure di mutua induttanza*; g) *Misure di resistenza effettiva*. Il terzo paragrafo relativo alle *Misure speciali delle grandezze alternative* ha i seguenti tre sottoparagrafi (anche in questo caso non vengono indicate per brevità le ulteriori suddivisioni): a) *Misure di frequenza*; b) *Studio della forma di una grandezza alternativa*; c) *Misure di differenza di fase*.

I paragrafi relativi al terzo capitolo MISURE SUI CIRCUITI ELETTRICI sono tre: *Premessa*; *Misure di controllo*; *Misure di esercizio*. Il secondo paragrafo *Misure di controllo* ha i seguenti quattro sottoparagrafi (anche in questo caso non vengono indicate per brevità le ulteriori suddivisioni): a) *Generalità*; b) *Misure sui circuiti a corrente continua*; c) *Misure sui circuiti monofasi a corrente alternata*; d) *Misure sui circuiti a corrente alternata polifase*. Il terzo paragrafo relativo alle *Misure di esercizio* ha i seguenti sottoparagrafi: a) *Generalità*; b) *Metodi di misura dell’energia*; c) *Impiego degli strumenti di misura negli impianti elettrici*.

Il quarto capitolo MISURA DELLE GRANDEZZE MAGNETICHE è costituito dai seguenti tre paragrafi: *Premessa*; *Misura di grandezze costanti*; *Misura di grandezze alternative*. Il secondo paragrafo *Misura di grandezze costanti* ha i seguenti due sottoparagrafi: a) *Metodo balistico*; b) *Altri metodi*. Il paragrafo *Misura delle grandezze alternative* ha i seguenti due sottoparagrafi: a) *Relazioni tra grandezze alternative magnetiche ed elettriche*; b) *Misura delle grandezze magnetiche alternative*.

I paragrafi relativi al quinto capitolo PROVE SUI MATERIALI sono quattro: *Generalità*; *Prove sui materiali conduttori*; *Prove sui dielettrici*; *Prove sui materiali magnetici*. Il primo paragrafo *Generalità* ha i seguenti tre sottoparagrafi: a) *Premessa e classificazione*; b) *Campioni*; c) *Generalità sui metodi di prova*. Il secondo paragrafo *Prove sui materiali conduttori* ha i seguenti due sottoparagrafi: a) *Prove sui conduttori solidi*; b) *Prove sui conduttori liquidi*. Il terzo paragrafo *Prove sui dielettrici* ha

i seguenti cinque sottoparagrafi: a) *Generalità*; b) *Misure di resistività*; c) *Costante dielettrica e perdite dielettriche*; d) *Prove di rigidità dielettrica*; e) *Cenno ad alcune prove particolari*. Il paragrafo *Prove sui materiali magnetici* ha i seguenti tre sottoparagrafi: a) *Generalità*; b) *Prove in corrente continua*; c) *Prove in corrente alternata*.

I paragrafi relativi al sesto capitolo TARATURA DEGLI STRUMENTI ELETTRICI SONO quattro: *Premessa*; *Taratura delle apparecchiature di laboratorio*; *Taratura degli strumenti di misura*; *Taratura dei trasformatori di misura*. Il primo paragrafo *Premessa* ha i seguenti due sottoparagrafi: a) *Generalità*; b) *Misure assolute*. Il secondo paragrafo *Taratura delle apparecchiature di laboratorio* ha i seguenti sottoparagrafi: a) *Taratura delle pile campione*; b) *Taratura degli "elementi di circuito"*. Il terzo paragrafo *Taratura degli strumenti di misura* ha i seguenti due sottoparagrafi: a) *Taratura degli strumenti indicatori e registratori*; b) *Taratura dei contatori*. Il quarto paragrafo *Taratura dei trasformatori di misura* ha i seguenti tre sottoparagrafi: a) *Generalità*; b) *Metodi assoluti*; c) *Metodi di confronto*.

Infine, i paragrafi del settimo capitolo CENNI SU ALCUNE MISURE SPECIALI SONO due: *Misure della "resistenza di terra"*; *Localizzazione dei guasti sulle linee*.

Dalla lettura dell'indice risulta evidente che le Misure Elettriche sono nate come parte dell'area culturale dell'Elettrotecnica e questo libro si propone descrivere le misure che consentono di soddisfarne tutte le relative esigenze sperimentali. Caratteristica distintiva di questo testo è la classificazione sia degli strumenti sia dei metodi di misura al fine di distinguere gli elementi comuni a ciascun tipo di strumento o metodo. È particolarmente interessante notare che per ognuno dei principali elementi di circuito dell'elettrotecnica vengano illustrati in dettaglio tutti i possibili metodi di misura (si vedano ad esempio i sottoparagrafi relativi alle misure di resistenza, induttanza e capacità). La trattazione complessiva è particolarmente ampia e dettagliata e viene sviluppata in quattrocento pagine; ogni singolo argomento viene trattato con una ampia, dettagliata e complessa articolazione fino a presentare tutte le sue particolari applicazioni. La stessa lettura dell'indice è in questo senso veramente esplicativa e per questo motivo è stata riportata quasi integralmente.

Le misure sono nel frattempo cambiate profondamente. La teoria dei segnali ha consentito di costruire gli strumenti in maniera completamente diversa e di aumentare notevolmente il numero delle grandezze che si possono misurare direttamente, rendendo inoltre perfettamente equivalenti il dominio del tempo e quello della frequenza. La nascita dell'elettronica ha anche ampliato enormemente il campo di applicazione delle misure elettriche e il problema della determinazione dell'incertezza di misura ha trovato ora una sua codificazione internazionale. Pertanto il libro, così esauriente quando è stato pubblicato, ha ora le caratteristiche di un libro storico, anche se può stimolare ancora un diverso modo di affrontare le misure, volto a sottolineare soprattutto i concetti fondamentali e a mostrare quali sono i problemi che nascono quando si vuole affrontare ogni particolare tipo di misura; viene così messo in evidenza che il libro è stato scritto da persone per le quali la sperimentazione rappresentava l'obiettivo fondamentale.

*Domenico Mirri*

Dino Zanobetti, Mario Pezzi

***Lezioni di Impianti elettrici***

Ed. Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna, 1981 –  
408 pagine

*Lezioni di Impianti elettrici* di Dino Zanobetti e Mario Pezzi è un testo del 1981, edito dalla Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna, scritto per gli studenti del corso di laurea in Ingegneria Elettrotecnica. Sono passati 38 anni dalla prima edizione, e se da un lato è vero che in questi quasi quarant'anni gli impianti ed i sistemi elettrici hanno subito notevoli innovazioni tecnologiche e concettuali in ogni paese del mondo, soprattutto con riferimento all'ultimo decennio, dall'altro è altrettanto vero che la base del funzionamento di tali sistemi, pur tenendo conto delle summenzionate innovazioni, rimane ancora compiutamente descrivibile e comprensibile con gli strumenti che questo testo fornisce.

Il testo si sviluppa in cinque capitoli più una Appendice dedicata alla spiegazione delle grandezze in valore relativo ed al loro impiego, appendice che mantiene la sua completa attualità anche oggi. I cinque capitoli sono dedicati nell'ordine alla generalità sugli impianti elettrici, ai sistemi di distribuzione, alle linee elettriche, alle reti elettriche, ed alle apparecchiature di manovra e protezione.

Più in particolare, il primo capitolo tratta degli aspetti essenziali della configurazione di un sistema di energia e della costituzione degli impianti elettrici. Le origini dei sistemi di energia elettrica, la scelta dei sistemi di distribuzione, di trasporto, la scelta della tensione di distribuzione, i vantaggi della corrente alternata, i pro ed i contro della distribuzione in serie ed in derivazione, la descrizione dei sistemi di distribuzione, i sistemi monofasi e trifasi in bassa tensione ed i trifasi in media ed alta tensione, gli effetti fisiopatologici della corrente elettrica sul corpo umano, la normativa relativa alla sicurezza degli impianti elettrici, sono trattati con chiarezza ed esaustività non comuni, al punto che lo scrivente ancora oggi utilizza ampiamente tali capitoli nel quadro dei propri insegnamenti per la esposizione degli argomenti in essi trattati.

Il secondo capitolo è dedicato ai sistemi di distribuzione; quasi profeticamente il testo insiste su questa parte del sistema elettrico, la distribuzione appunto, che oggi assume un rilievo di eccezionale importanza dato che quando si parla di *smart grid* è in buona parte al sistema di distribuzione che si fa riferimento. È ad essa infatti che è connessa la maggior parte degli impianti fotovoltaici presenti nel nostro paese, che, data la aleatorietà e la distribuzione capillare che li contraddistingue, richiede un crescente diffusione di "intelligenza", cioè di tecnologia ICT. Al punto tale che oggi alla parola rete viene premesso l'aggettivo "intelligente": la *smart grid*.

Al funzionamento in regime permanente delle linee elettriche è dedicato il terzo capitolo. È convinzione di chi scrive che la trattazione approfondita del funzionamento delle linee elettriche costituisca la base indispensabile per agevolare la com-

preensione del funzionamento della rete elettrica nel proprio complesso. In tal senso, il terzo capitolo fornisce tali elementi grazie ad una chiarissima trattazione matematica ancora straordinariamente attuale, facendo ampio impiego di illustrazioni e schemi didatticamente molto efficaci. Parte dalla descrizione dei componenti che costituiscono tali linee, i conduttori, gli isolatori e le funi di guardia, le linee in cavo, i relativi dielettrici, e tratta anche di alcuni fenomeni come l'effetto corona e le conseguenze di esso sul dimensionamento delle linee. In tale capitolo sono poi trattati anche i parametri primari e secondari delle linee, strumentali per la introduzione della teoria che consente di introdurre i concetti di impedenza e potenza caratteristica, teoria che viene poi estesa alla trattazione della linea modellizzata come un doppio bipolo, utile per lo studio delle reti. Se da un lato i diagrammi circolari delle potenze possono ritenersi in parte superati dai modelli su cui si basa la trattazione più moderna dei sistemi elettrici per l'energia, dall'altro la trattazione del diagramma di Perryne-Baum conserva ancora estrema attualità, consentendo di introdurre chiaramente alcuni concetti chiave relativi alla gestione dei flussi di potenza nelle reti di trasmissione – e in particolare lo stretto legame tra la regolazione della frequenza ed i flussi di potenza attiva, e quello tra la regolazione della tensione ed i flussi di potenza reattiva – e del loro rifasamento.

Ed è appunto alle reti che è dedicato il quarto capitolo, capitolo in cui dopo la trattazione della analisi nodale della rete viene trattato il problema della ripartizione dei flussi di potenza (nel testo viene preferita la dizione “ripartizione dei carichi”), che nella letteratura anglosassone è denominato il problema del *load flow*. Sono forniti alcuni esempi di risoluzione del problema del *load flow* sia con il metodo di Gauss-Seidel sia con l'approssimazione in corrente continua, esempi che costituiscono uno straordinario strumento didattico per la comprensione di tale problema.

Il testo termina con un capitolo, il quinto, dedicato al fenomeno dell'arco elettrico, alla interruzione della corrente continua ed alternata, e alle apparecchiature di manovra e protezione di cui ancora molte parti conservano attualità, nonostante la rapida evoluzione tecnologica che ha interessato gli interruttori automatici e gli scaricatori negli ultimi anni.

Il testo non tratta degli argomenti più classicamente legati alla teoria dei Sistemi elettrici per l'energia, quali ad esempio la regolazione della tensione, la regolazione della frequenza, la stabilità, ma fornisce una base di straordinaria chiarezza e completezza per potere poi apprenderne agevolmente i concetti fondamentali. Contrariamente alla maggior parte dei testi in lingua italiana, lo Zanobetti-Pezzi è dotato di una serie di esercizi risolti che consentono di fissare le idee in modo molto efficace. Le illustrazioni sono particolarmente chiare e dettagliate; il testo è volutamente didascalico, i riferimenti bibliografici sono essenziali e consigliati anche a chi si avvicinasse oggi allo studio della disciplina degli Impianti elettrici per apprenderne il funzionamento e cimentarsi nella loro modellazione. A quasi quarant'anni dalla uscita, il testo conserva quindi una freschezza e una validità non comuni. L'unica nota per certi versi negativa è il rammarico di non avere a

disposizione un testo da parte degli Autori sui Sistemi elettrici per l'energia, comprendente quindi gli argomenti dianzi menzionati riguardo la stabilità, ed il controllo della tensione e della frequenza, nonché lo studio dei corti circuiti in regime dissimmetrico ed i transistori elettromagnetici.

*Carlo Alberto Nucci*

Franco P. Foraboschi

***Principi di Ingegneria chimica***

UTET, 1973 – XXIV + 707 pagine

Il testo del professor Foraboschi è non soltanto un ottimo testo universitario per un corso biennale di Principi di Ingegneria chimica, ma anche un'opera che offre materia di meditazione agli specialisti del settore, e che cristallizza in una esposizione organica l'evoluzione che i fondamenti dell'Ingegneria chimica hanno subito nell'ultimo decennio. Pertanto, la recensione di tale testo deve svolgersi su due livelli, che ne commentino da un lato il significato culturale, e dall'altro la utilità didattica.

Il commento a livello culturale può forse impostarsi nel migliore dei modi in una prospettiva storica. I primi testi dal titolo «Principi di Ingegneria chimica» furono pubblicati nel decennio 1930-40, e il loro contenuto era ciò che oggi va sotto il nome di Unità fondamentali (distillazione, assorbimento, ecc.). Culturalmente, il significato di tali testi si ritrova nella identificazione delle Unità fondamentali – comuni ai più svariati processi chimici – come l'elemento di base della Ingegneria chimica. Si ha cioè la cristallizzazione della evoluzione culturale svoltasi nel primo trentennio del secolo, per cui l'attenzione dell'Ingegneria chimica si era spostata dall'analisi dei singoli processi chimici (tipica della Chimica industriale) a quella degli elementi comuni a più processi.

Tale tendenza culturale alla unificazione continuò negli anni successivi, in cui man mano l'attenzione si spostò dalle molte unità fondamentali ai pochi fenomeni il cui svolgersi determina il funzionamento delle unità fondamentali: e precisamente i fenomeni di trasporto di quantità di moto, di materia e di energia. Negli anni a cavallo dei 1960 tale evoluzione trovò nuovamente la sua cristallizzazione nella pubblicazione dei testi di Kramers e di Bird, Stewart e Lightfoot. È interessante notare come la seconda svolta evolutiva sia in essenza della stessa natura della prima, sia cioè una svolta di unificazione e di essenzializzazione dei fondamenti della Ingegneria chimica.



Naturalmente, l'evoluzione culturale non si è arrestata nel 1960, ed è solo la vicinanza nel tempo che non permette prospettiva sufficiente a capire appieno in quale direzione tale evoluzione si svolge. Peraltro, trattasi senz'altro ancora di una evoluzione volta alla unificazione e alla essenzializzazione. La unificazione si avverte particolarmente nella più approfondita comprensione della connessione esistente fra termodinamica e fenomeni di trasporto: la essenzializzazione nella tendenza ad analizzare piuttosto la struttura logica e il significato globale delle equazioni fondamentali e delle equazioni costitutive, che non le tecniche matematiche per l'ottenimento di soluzioni particolari delle stesse sotto assegnate condizioni ai limiti. Ed è appunto questa più moderna prospettiva che traspare chiaramente dalla impostazione del testo di Foraboschi, nel quale la soluzione di problemi specifici è ristretta al solo capitolo VII; ed è questo a mio avviso il principale significato culturale di tale testo. Mirabile è poi che nel testo stesso tale nuova prospettiva culturale venga offerta senza togliere nulla al valore didattico dell'opera; il che mostra come la prospettiva stessa sia così profondamente recepita dall'A. da permettergli di offrirla direttamente e spontaneamente alla attenzione degli allievi.

Le considerazioni, necessariamente generiche, fin qui svolte, sono comprovabili con numerosi esempi. Questo recensore ha ad esempio apprezzato particolarmente le osservazioni d) a pag. 348 e a) a pag. 349, che in poche e semplici parole pongono nella giusta prospettiva i cosiddetti «teoremi» di Onsager e di Curie; la esposizione in pochissime ma chiarissime parole del perché i fluidi macromolecolari fanno categoria a sé, data subito a piè della pagina 1; la limpida esposizione nella sezione I-5 della seconda legge della termodinamica; l'ottima introduzione matematica al capitolo IV nelle sezioni IV-2, 3 e 4; e così via con numerosi altri casi.

A livello poi di impostazione delle grandi linee del testo, è importantissima la presenza di due capitoli separati (su un totale di dieci) dedicati l'uno alle equazioni di *bilancio*, l'altro alle equazioni *costitutive*; la distinzione tra i due tipi di equazioni è così posta nel giusto contrastato rilievo, a differenza di quanto fatto comunemente nei vari testi preesistenti. Tra l'altro ciò permette all'A. (fine della sezione VI-2) di introdurre elegantemente l'equazione costitutiva di un mezzo elastico lineare isotropo e omogeneo, indicando all'allievo la connessione esistente tra la materia trattata e la scienza delle costruzioni. Ottima poi la chiarezza con cui nel capitolo sulle equazioni costitutive sono indicate le limitazioni imposte dalla seconda legge della termodinamica, e dai principi di invarianza [l'osservazione b) a pag. 292 chiarisce appieno un punto su cui c'è ancora molta confusione anche nella letteratura altamente specializzata]. In generale, lo studio del capitolo VI di questo testo dovrebbe essere raccomandato, prima ancora che agli allievi, a tutti gli specialisti di Ingegneria chimica che desiderino acquisire, verso l'insieme degli argomenti caratteristici del loro campo di specializzazione, una prospettiva globale.

Sempre a livello della impostazione delle linee generali, di particolare interesse è la suddivisione dell'opera nelle sue due parti, sul cui significato tornerò a proposito del valore didattico dell'opera; l'accento dato al concetto di *modellazione*, sia nell'intera prima parte che nell'ultimo capitolo; e l'inclusione degli elementi di *dinamica* dei

processi chimici, giustamente visti come parte essenziale dei Principi della Ingegneria chimica.

In conclusione di questa prima parte del commento, riguardante il significato culturale dell'opera, può dirsi che il testo stesso è un modello di ciò che un nuovo libro su un argomento ampio e avente una abbastanza lunga tradizione dovrebbe essere. Se qualche lieve imperfezione può riscontrarsi, questo recensore ne avverte solo due. La prima va ricercata in una certa forse eccessiva modestia dell'A., il cui stile talora, nel non volere assolutamente apparire protervo o cattedratico, diviene quasi sommerso, sì che al lettore può occasionalmente sfuggire l'importanza di qualche punto. La seconda è nella bibliografia, eccessivamente scarna nel numero di lavori citati, se non nel loro peso (si tratta in maggioranza di opere di ampio respiro, ognuna delle quali richiede uno studio approfondito). L'A. ha chiaramente imposto a se stesso tale scelta, ma le giustificazioni per essa fornite nella prefazione non sembrano sufficienti, e la mancanza di una bibliografia ampia e dettagliata spiace a chi conosce la perfetta conoscenza della letteratura scientifica del professor Foraboschi.

Il commento a livello didattico dell'opera va impostato nel contesto del fatto che l'opera stessa è costruita per un corso *biennale* di Principi di Ingegneria chimica. In tale sequenza biennale, il corso di primo anno è visto come un corso istituzionale che, a livello relativamente semplice, fornisca tutti gli elementi essenziali della materia; il corso di secondo anno è visto invece come un corso non necessariamente obbligatorio per tutti gli allievi, in cui la materia venga trattata a un livello elevato e occasionalmente anche sofisticato. Tale impostazione biennale è, ad avviso di questo recensore, l'unica compiutamente corretta; in Università anglosassoni, il corso di primo anno sarebbe visto come corso «undegraduate»; l'altro come corso «graduate». Tale impostazione, purtroppo, è realizzata nei fatti in Italia solo nella Università di Bologna, dove appunto svolge la sua opera il professor Foraboschi; e per tale struttura di corsi il testo può definirsi perfetto. Più difficile, ma certo non impossibile, l'utilizzazione del testo come base didattica per un corso di un solo anno; e la sua adozione diffusa come testo universitario subirà purtroppo una ulteriore remora nel prezzo piuttosto elevato (l'edizione per studenti del testo di Bird, Stewart e Lightfoot è di gran lunga meno costosa). Se, come è auspicabile, il testo verrà tradotto in lingua inglese, l'ampio mercato che potrà aprirglisi permetterà certamente una edizione di prezzo più accessibile agli allievi.

In conclusione, il testo del professor Foraboschi ha raccomandato a tutti i cultori di Ingegneria chimica. Non è un testo che possa essere *letto*, ma un testo che deve essere *studiato*; e studiarlo è un lavoro a dir poco di alcuni mesi. È opinione di questo recensore che difficilmente un ingegnere chimico può trovare un modo più utile di impiegare un lavoro di qualche mese.

*Gianni Astarita*

Paolo Chiorboli

***Fondamenti di Chimica***

UTET, 1975 – XX + 1129 pagine

Il volume, apparso per la prima volta nel 1975, nel tempo è stato oggetto di più edizioni ed ha trovato largo apprezzamento da parte degli studenti e dei Docenti di molte Sedi Universitarie. Esso è stato il frutto di un'esperienza ventennale d'insegnamento della Chimica Generale e della Chimica Fisica dell'Autore nella Facoltà di Scienze e di Ingegneria, che ha portato ad una fondamentale Opera di carattere formativo e di approfondimento culturale.

L'Autore è stato guidato dal convincimento che fin dall'inizio dell'insegnamento della Chimica a livello universitario, l'impostazione e lo sviluppo dei suoi temi più significativi dovessero essere improntati ai criteri rigorosi della Chimica Fisica, in modo da abituare lo studente ad affrontare in modo razionale lo studio dei fatti di interesse chimico. È proprio in questo che sta la modernità e l'importanza dell'Opera, basata su un approccio oggi condiviso da praticamente tutta la Comunità dei Docenti di Chimica di base dei Corsi di Laurea in Ingegneria e non solo. Ciò è tanto più notevole, se si considera che, al tempo della prima uscita del volume, non era purtroppo infrequente la tendenza a presentare la Chimica come un insieme d'un gran numero di fatti frammentari, spesso senza alcuno sforzo di mostrarne il logico collegamento, sebbene alla base di essi stia un numero limitato di leggi fondamentali. Queste ultime sono inquadrabili nelle grandi tematiche che hanno segnato le linee di sviluppo del pensiero chimico nel XX secolo, in particolare quelle della meccanica quantistica, della meccanica statistica e della termodinamica.

In quest'ottica si imponeva la necessità di seguire un metodo coerente che desse un'immagine fedele della materia, evidenziandone l'armonica struttura piuttosto che i singoli elementi disgiunti, accostati gli uni agli altri in ordine sparso, in modo da evitare il disorientamento degli studenti, soprattutto quelli che si avvicinano per la prima volta alla Chimica nei corsi universitari di base.

Di qui lo schema seguito nell'ordinare una materia così vasta in due parti distinte, nettamente differenziate l'una dall'altra: la prima dedicata alla struttura della materia e in gran parte improntata ai metodi e ai risultati della meccanica quantistica applicata allo studio della configurazione elettronica degli atomi e della struttura degli aggregati poliatomici, molecole singole e cristalli, con una particolare attenzione alla teoria del legame chimico; la seconda relativa alle reazioni chimiche, nei loro aspetti stechiometrici prima, poi nella loro complessa problematica termodinamica e cinetica, con un ruolo preponderante giocato dalla termodinamica, a causa dell'importanza e vastità delle questioni di interesse chimico che sono governate dalle sue leggi.

La mole, alquanto ampia, del volume, i cui contenuti vanno notevolmente al di là dei limiti piuttosto ristretti imposti ad un corso annuale di Chimica di base (anche per quei tempi ormai lontani), è giustificata dall'obbiettivo che l'Autore si era propo-

sto ed ha sicuramente raggiunto. Cioè quello di fornire ai più giovani studenti uno strumento formativo atto a introdurli razionalmente ai temi e alle metodiche delle più importanti teorie chimiche moderne, dando loro inoltre la possibilità di approfondire, con diversi gradi di complessità, le tematiche più congeniali, stimolandoli anche ad un approfondimento autonomo.

In quest'ottica, chiude il volume una nota bibliografica, che rappresenta un invito ad ulteriori letture e ad uno studio più approfondito: in essa, accanto ad opere di facile comprensione, ne sono riportate altre meno semplici e anche piuttosto impegnative, alle quali i più preparati potevano (e possono) rivolgersi per approfondire i temi di maggiore interesse per ognuno, insieme con alcuni testi riconosciuti come fondamentali nella letteratura chimico-fisica del tempo.

Per finire, occorre ricordare che molti di noi, all'inizio della loro avventura universitaria, a Bologna come in altre Sedi, si sono accostati a questo libro e ne hanno fatto propria l'impostazione della materia, non disdegnando in seguito di consultarlo quando qualche questione un po' delicata si profilava all'orizzonte, con profonda gratitudine nei confronti dell'Autore.

*Andrea Munari*

Rino A. Michelin, Andrea Munari

### ***Fondamenti di Chimica***

WKI-CEDAM, 2016 – XII + 562 pagine

Il volume, apparso per la prima volta nel 1992, nel tempo è stato oggetto di numerose edizioni, sino all'ultima del 2016, cambiando talvolta il titolo, nel continuo sforzo di revisione da parte degli Autori e con riferimenti sempre nuovi alle più comuni e moderne applicazioni.

Esso è nato nella consapevolezza che i più limitati spazi lasciati alle materie di base, a causa della Riforma Universitaria che ha introdotto la Laurea Triennale e poi quella Specialistica (diventata poi Laurea Magistrale), ed alla Chimica in particolare, non permettevano uno svolgimento della didattica della Chimica di base nel modo, seppur molto apprezzato, adottato sino ad allora. Occorreva quindi da parte dei Docenti uno sforzo non tanto di riassumere tutti gli argomenti che un tempo venivano svolti in circa 100 ore di lezione, ma di operare delle scelte per focalizzarsi su quelli da ritenersi fondamentali e quelli di interesse specifico per il singolo corso di Laurea.

Il libro va proprio in questa direzione, mantenendo comunque l'impostazione che nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna si era consolidata nel tem-

po, cioè un'impostazione chimico-fisica, per indirizzare lo studente ad uno studio razionale dei fatti di interesse chimico, rinunciando definitivamente alla vecchia tendenza a presentare la Chimica di base come un insieme d'un gran numero di fatti frammentari, spesso senza alcuno sforzo di mostrarne il collegamento logico, con conseguente rischio da parte del giovane studente ad un apprendimento mnemonico, in netto contrasto con il percorso di studio idoneo alla formazione della figura di ingegnere. Un esempio estremamente calzante è rappresentato dal calcolo di pH di soluzioni acquose che, diversamente dall'applicazione diretta della idonea formula, viene trattato con una impostazione matematica rigorosa di carattere generale e pertanto utilizzabile in casi anche molto complessi, in cui le difficoltà di tipo matematico possono essere significativamente ridotte introducendo, caso per caso, le appropriate ipotesi semplificative. Tale approccio richiede da parte dello studente una comprensione dei concetti di acido e base e soprattutto di equilibrio chimico e dei fattori che ne influenzano la posizione.

Permane nell'opera l'ormai consolidato schema che suddivide la Chimica di base in due parti distinte, nettamente differenziate l'una dall'altra: la prima dedicata alla struttura della materia e per lo più improntata ai metodi e ai risultati della meccanica quantistica applicata allo studio della configurazione elettronica degli atomi e della struttura delle molecole e dei cristalli, con particolare attenzione alla teoria del legame chimico; la seconda relativa alle reazioni chimiche, la stechiometria prima, poi la termodinamica e la cinetica chimica.

La scelta degli Autori è stata innanzitutto quella di dar vita ad un'Opera agile, ma con un alto grado di completezza, che la rende adatta ai diversi Corsi di Laurea dell'Ingegneria. Nella tuttavia necessaria semplificazione, gli Autori hanno mantenuto una trattazione rigorosa per alcuni argomenti, quali la termodinamica e la cinetica chimica, mentre in altri casi, per evitare inutili appesantimenti, sono stati riportati i risultati e le conseguenze della teoria considerata, pur indicando con chiarezza il punto di partenza e le ipotesi alla base di essa.

Importante è la Sezione di Approfondimenti, presente nella maggior parte dei Capitoli, introdotta nelle ultime edizioni, in cui, oltre a parti del Corso più approfondite e quindi da considerarsi utili o meno a seconda degli obiettivi formativi del Corso stesso (diversi a seconda dello specifico Corso di Laurea), sono stati inseriti argomenti di grande interesse ed attualità, quali ad es. l'Effetto Serra, il "buco" dell'Ozono, I Laser, I Fullereni ed i Nanotubi di Carbonio, ecc., in cui l'aspetto chimico gioca un ruolo fondamentale.

È da sottolineare che l'Opera deriva dall'apporto di due Autori molto diversi per formazione, Chimico l'uno ed Ingegnere l'altro, che si sono trovati in assoluta armonia nel portare avanti il volume secondo la filosofia indicata in precedenza, con un confronto continuo, spesso esaminando le problematiche da due punti di vista molto diversi, ma fortemente complementari, quello basato sulla trattazione fenomenologica, cara ai Chimici, e quello più razionale e nel contempo concreto degli Ingegneri.

*Nadia Lotti*

Filippo Ciampolini

***La Didattica breve***

il Mulino, 1993 – 264 pagine

«Di fronte ad uno sviluppo simile a una lepre che si era messa a correre più velocemente che nel passato [...] non restava che provare a correre con velocità molto prossima a quella della lepre...»

Sulla base di questa constatazione il professor Filippo Ciampolini, docente di Elettrotecnica all'Università di Bologna, negli anni Ottanta ha iniziato un'attività di ricerca con l'obiettivo di individuare metodologie didattiche disciplinari che, nel rispetto del rigore scientifico e dei contenuti, riducessero drasticamente il tempo di insegnamento ed apprendimento delle materie scientifiche: DIDATTICA BREVE per fare posto al "nuovo".

«Didattica Breve (DB) non è una didattica frettolosa [...] è una didattica giocata tutta sulla pulizia dei ragionamenti e sulla loro essenzialità».

Le metodologie DB applicate ad insegnamenti universitari possono ridurre il tempo fino al 50%, ma risultano efficaci solo se le Scuole Secondarie «insegnano agli studenti a esprimersi e ragionare correttamente»; purtroppo gran parte degli studenti non possiede una solida preparazione metodologica, non ha le capacità logico-espressive adatte ad affrontare con efficacia discipline universitarie di carattere scientifico e spesso anche umanistico. Ne consegue la forte dispersione scolastica a cui ancora oggi assistiamo.

Questa realtà, ancora attuale, ha spinto il professor Ciampolini a dedicarsi anche alla ricerca di nuovi strumenti didattici, strategie organizzative dell'insegnamento e tecniche di valutazione degli studenti per supportare i docenti delle Scuole Secondarie al fine di migliorare le capacità logico-espressive degli studenti. Ha sperimentato i risultati della sua ricerca in Italia ed anche all'estero (America latina) incontrando migliaia di studenti dell'Università e delle Scuole Secondarie e centinaia di docenti, portando entusiasmo ed ottimismo.

In generale i risultati delle sperimentazioni sono stati di grande soddisfazione per docenti e studenti e la conclusione è che per applicare efficacemente e con continuità le metodologie e gli strumenti individuati, è necessario che:

1. la didattica interna all' università non sia «subordinata anche psicologicamente all'attività di ricerca»;
2. il docente «non si identifichi in una sorta di talent-scout, che a tutti i costi vuol dare della sua materia un'immagine frizzante»;
3. si crei un coordinamento fra docenti per analizzare e sperimentare metodologie didattiche affini;
4. si valorizzi la formazione e l'aggiornamento dei docenti, per insegnare ad insegnare.

Il testo *La Didattica Breve* è un importante condensato, un vademecum per il docente-ricercatore, che comprende metodologie, strumenti, suggerimenti e consigli per migliorare l'insegnamento e lo studio di materie scientifiche. È rivolto a ricercatori, docenti e, in parti specifiche a studenti.

Si parte dalla Ricerca Metodologica Disciplinare (RMD) con importanti teoremi e metodi nati dalla ricerca ed analisi di "ragionamenti-tipo" nel campo dell'elettromagnetismo, ma che risultano di amplissima generalità e interdisciplinarietà cambiando le grandezze in gioco: Metodo Sommatoria Ciclica Nulla, Teorema Lavoro-Flusso<sup>8</sup>, Metodo delle Interdizioni, Metodo delle Riflessioni, Metodo degli Osservatori e Metodo Mj<sup>9</sup>, Metodo Cinematico.

Tutti teoremi e metodi che consentono di «ricostruire con alto rigore metodologico» la disciplina senza fuorvianti ripetizioni di contenuti e con notevole risparmio di tempo.

Si tratta di "ricostruire" perché l'analisi dei "ragionamenti-tipo" parte da una fase di disgregazione dei contenuti della disciplina attraverso una serie di strumenti metodologici dettagliatamente riportati nel testo quali: Distillazione Verticale, Distillazione Orizzontale e Trapezio-Logico.

Il testo comprende inoltre un insieme di suggerimenti per l'esposizione della disciplina quali: sequenze espositive (storica, inversa, a rampa rapida, a testa di ponte, iterativa) e insegnamento a "carte scoperte" (schemi a blocchi per macrologiche, separazione degli "ingredienti", visualizzazione iniziale delle leggi fondamentali).

Infine include consigli su modalità di interazione docente-studente (cattedratica, tutoriale e valutativa) e consigli per lo studente nello studio personale (come capire se si è capito, i rischi dell'intuizione, allenamento allo studio, auto-controllo nello studio, miglioramento delle capacità espositive, preparazione alla prova scritta e alla prova orale, riduzione dell'emotività).

Ho conosciuto il professor Ciampolini nel 2002, ho collaborato con lui dal 2002 al 2006 all'interno di vari progetti di Orientamento Formativo per i potenziali studenti di Ingegneria presso l'Università di Siena.

A lui, che amava le sigle per sintetizzare in poche "lavagne espositive" le sue lezioni, associo con profonda ammirazione a livello umano e scientifico un semplice acronimo: MRG (Modesto, Rigoroso, Generoso).

*Santina Rocchi*

---

<sup>8</sup> F. Ciampolini, *Elettrotecnica Generale*, Calderini, Bologna, 1984.

<sup>9</sup> F. Ciampolini, R. Troili, *Macchine elettriche*, Calderini, Bologna, 1985.

Giuseppe Basile, Giovanni Marro

***Controlled and Conditioned Invariants in Linear System Theory***

Prentice Hall, 1992 – 464 pagine

La nascita della Teoria dei Sistemi come disciplina indipendente e, per sua natura, trasversale a molti altri settori viene tradizionalmente associata alla introduzione delle rappresentazioni nello spazio degli stati e delle relative proprietà di controllabilità ed osservabilità per lo stato di un sistema. In tali rappresentazioni, tutte le informazioni sulla storia passata di un sistema necessarie, in un certo istante, per determinare la sua evoluzione futura, sono riassunte dallo stato cioè da un punto di uno spazio vettoriale. Si tratta quindi di rappresentazioni intrinsecamente geometriche e di natura alquanto diversa, ad esempio, dalle funzioni di trasferimento, essenzialmente algebriche e meno dotate della capacità di visualizzare in maniera diretta l'evoluzione di un sistema dinamico in quanto basate (nel caso continuo) sulle proprietà delle trasformate di Laplace. Le formulazioni geometriche dei problemi consentono non solo una più chiara ed immediata visualizzazione degli stessi ma aiutano in maniera rilevante anche nella formulazione delle relative soluzioni. Purtroppo le grandi potenzialità concettuali e pratiche dei modelli nello spazio degli stati non sono state sempre sfruttate a pieno quando tali modelli sono stati studiati ed utilizzati in contesti di tipo essenzialmente algebrico.

Si deve agli Autori di questo libro l'introduzione di nuove tecniche di tipo geometrico nell'affrontare i problemi di analisi e sintesi dei sistemi dinamici lineari. Tali tecniche, attualmente indicate nella letteratura come "Approccio Geometrico", consentono la descrizione delle proprietà e la formulazione dei problemi in termini di concetti molto semplici e agevolmente rappresentabili, eliminando la maschera imposta da formulazioni matematiche formalmente onerose e, in definitiva, fuorvianti.

L'Approccio Geometrico parte dalla constatazione della grande rilevanza che, nella Teoria dei Sistemi, assumono alcuni sottospazi invarianti rispetto alla trasformazione lineare operata, nello spazio degli stati, dai sistemi lineari ed introduce rilevanti generalizzazioni di tali sottospazi, gli "invarianti controllati" e gli "invarianti condizionati" (che danno il titolo al volume). Su tali basi viene poi rivisitata la Teoria dei Sistemi e del Controllo. Il riconoscimento, da parte della comunità scientifica internazionale, della generalità ed importanza di tale approccio ha poi portato vari altri ricercatori ad utilizzarlo ed a contribuire al suo sviluppo e ad applicazioni; tra questi W.M. Wonham, A.S. Morse, J.C. Willems e J.M.H. Schumacher.

Non meno importante l'aspetto didattico dell'Approccio Geometrico; in effetti la presentazione trae vantaggio dalla ampia esperienza didattica degli Autori presso l'Università di Bologna e l'Università della Florida.

I contenuti sono organizzati come segue. Il capitolo I introduce le definizioni di base, le proprietà ed i problemi tipici della Teoria dei Sistemi. Il capitolo II analizza le conseguenze della linearità ponendo in evidenza come l'introduzione di tale ipotesi



consenta di formulare proprietà e risultati in una forma particolarmente semplice che porta anche a procedure di calcolo facilmente implementabili. Sono presenti in questi due capitoli tutti gli argomenti di base come stabilità, controllabilità ed osservabilità; il background matematico necessario è riportato nella Appendice A del libro. Il contenuto di questi primi capitoli copre le esigenze di un corso introduttivo alla Teoria dei Sistemi.

Dopo questa sezione introduttiva, il libro entra nel vivo dell'Approccio Geometrico. Il capitolo III rivisita, sotto l'aspetto geometrico, le fondamentali proprietà di controllabilità ed osservabilità ed introduce, in forma sintetica, rappresentazioni canoniche e procedure di realizzazione. Sempre in tale capitolo vengono descritti problemi di base relativi alla sintesi come il feedback dallo stato, l'assegnazione dei poli ed il progetto di un osservatore asintotico dello stato. Il capitolo IV, utilizzando come strumenti gli invarianti controllati e condizionati, esamina i problemi della controllabilità funzionale dell'uscita, della controllabilità vincolata, della invertibilità e degli zeri invarianti. Il capitolo V affronta problemi di sintesi più generali quali il progetto di regolatori dinamici basati sul feedback della sola uscita e fornisce soluzioni, incluse quelle di ordine ridotto, basate sugli strumenti dell'Approccio Geometrico e sul concetto di zeri invarianti.

Il capitolo VI descrive, nell'ambito di un esteso contesto multivariabile, metodi che consentono di estendere l'Approccio Geometrico a sistemi non stazionari per i quali lo schema di controllo adottato deve presentare caratteristiche di robustezza rispetto alle variazioni delle caratteristiche del sistema; è questo un caso di notevole rilevanza pratica. L'Appendice B, infine, descrive una base computazionale e software utile per la soluzione dei problemi trattati e degli esercizi proposti.

Si tratta, in definitiva, di un'opera sostanzialmente unica nel pur vasto contesto della Teoria dei Sistemi e con valenze che spaziano dal mondo della didattica avanzata a quello della ricerca.

*Roberto Guidorzi*

Giovanni Marro

### ***Controlli Automatici***

Zanichelli, 2005 – 496 pagine

Questo testo si inserisce nella ricca serie di volumi dedicati ai Controlli Automatici seguendo un approccio che potremmo definire "classico" cioè basato sulle tradizionali rappresentazioni costituite dalle funzioni di trasferimento il cui legame con le

caratteristiche fisiche dei sistemi rappresentati è prevalentemente considerato come espresso dalla risposta frequenziale.

Per meglio descrivere le caratteristiche peculiari di questo testo, può essere opportuno elencarne dapprima i contenuti che sono organizzati nel modo seguente.

Il primo Capitolo, di carattere introduttivo, riguarda la terminologia necessaria, le definizioni di base e la differenza tra i controlli ad azione diretta e quelli in retroazione. Descrive anche le rappresentazioni grafiche comunemente utilizzate, quali schemi a blocchi e grafi di flusso, e riporta vari esempi di controlli in retroazione.

Il secondo Capitolo è dedicato alla analisi dei sistemi nel dominio dei tempi, alla trasformata di Laplace, alla risposta impulsiva, ai teoremi di convoluzione ed alle proprietà di base dei sistemi del primo e del second'ordine.

Il terzo capitolo riguarda l'analisi nel dominio delle frequenze. Viene qui definita la funzione di risposta armonica e ne vengono descritte le relative rappresentazioni grafiche mediante i diagrammi di Bode, di Nyquist e di Nichols. Vengono anche sottolineate le proprietà, prese poi come riferimento nei metodi di sintesi per tentativi.

Nel quarto Capitolo vengono considerati, in un contesto dinamico, le proprietà da assegnare nel progetto di un sistema in retroazione: insensibilità ai disturbi, robustezza rispetto alle variazioni parametriche, larghezza di banda, caratteristiche asintotiche e stabilità. Per quest'ultima vengono analizzati in maniera dettagliata i criteri di Routh e di Nyquist e vengono introdotti i margini di stabilità.

Il quinto Capitolo è interamente dedicato ad una approfondita analisi dei metodi del luogo e del contorno delle radici.

Il sesto Capitolo è dedicato ai principali procedimenti di sintesi nel dominio delle frequenze con particolare riferimento ai diversi tipi di reti correttive delle quali vengono confrontate caratteristiche e contesti di utilizzazione.

Il settimo Capitolo riguarda i metodi di sintesi e la allocazione dei poli, analizzando i criteri di selezione del modello di riferimento considerando le proprietà dei filtri di Butterworth e di Bessel e fornendo indicazioni anche per sistemi controllati instabili o a fase non minima.

Nell'ottavo Capitolo, dedicato alla retroazione nei sistemi non lineari, vengono introdotti il metodo della funzione descrittiva, i criteri di stabilità di Popov e del cerchio, i metodi analitici e grafici per l'analisi dei sistemi a relè ed il procedimento di linearizzazione per trascinamento di frequenza.

Il nono Capitolo riguarda i sistemi a dati campionati: loro rappresentazione, proprietà dei relativi modelli, realizzazione delle funzioni di trasferimento dei sistemi a tempo discreto e progetto dei sistemi in retroazione nel dominio delle frequenze e per sintesi diretta.

Raramente presente in testi di questo tipo il contenuto del decimo Capitolo che offre ai lettori una rassegna dei più importanti componenti dei sistemi di controllo quali amplificatori operazionali, sincro, resolver, inductosyn, tachimetri, amplificatori rotanti, motori in corrente continua e alternata e relativi azionamenti. Sempre in questo capitolo sono presenti contenuti complementari relativi alle caratteristiche

degli amplificatori operazionali reali, alla realizzazione delle funzioni di trasferimento, ai sistemi fluidodinamici ed anche una raccolta di esercizi.

Le Appendici, infine, contengono tabelle di Trasformate di Laplace e di Z trasformate (anche relative al caso di poli multipli) ed una descrizione di varie unità di misura.

Da questa elencazione, peraltro ancora non completa, si può subito dedurre come non si tratti di un testo legato ad uno specifico corso di Controlli Automatici ma piuttosto di un completo e ben armonizzato percorso nell'area dei Controlli Automatici dal quale risulta possibile estrarre percorsi più limitati, anche molto diversi tra loro, che rispecchino le esigenze specifiche (ed i limiti) dei corsi di Controlli Automatici inseriti nell'attuale architettura dei Corsi di Laurea. Questo è, in effetti, il proposito espresso dall'Autore nella introduzione ed è importante osservare come il lungo elenco riportato rappresenti solo una parte, sia pur fondamentale, di questo progetto.

È infatti disponibile anche un CD-ROM molto ricco di contenuti quali un intero volumetto dedicato alla modellistica e controllo dei sistemi lineari nello spazio degli stati, una raccolta di testi di esame completi del relativo svolgimento ed un ciclo di esercitazioni da svolgere utilizzando il TFI (Transfer Function Interpreter), un pacchetto software per l'ambiente Matlab dotato di una interfaccia utente molto facilitata per l'introduzione delle funzioni di trasferimento. Il TFI contiene efficienti procedure di sintesi per regolatori e costituisce, pertanto, un utile complemento a Simulink, essenzialmente orientato all'analisi.

Quanto riportato sopra evidenzia come questo testo ed i materiali ad esso collegati costituiscano la realizzazione di un progetto portato avanti per molti anni e basato su una vasta esperienza didattica. L'ampio successo editoriale di quest'opera dimostra come quest'opera non possa venire direttamente confrontata con le altre di questo settore e come gli obiettivi perseguiti dall'Autore abbiano risposto a necessità reali molto sentite.

*Roberto Guidorzi*

Giovanni Marro

### ***Fondamenti di Teoria dei Sistemi***

Pàtron, 1979 – 415 pagine

Una osservazione superficiale della data di pubblicazione e del contesto didattico al quale questo testo era rivolto (corso "trasversale" di Teoria dei Sistemi allocato al primo anno del triennio di applicazione nell'allora quinquennale corso di laurea

in ingegneria) potrebbe indurre a pensare che si tratti di materiale datato. La realtà profondamente diversa che struttura e contenuti di questo testo propongono emerge chiaramente dalla elencazione, necessariamente sintetica, dei contenuti.

Il primo Capitolo, a carattere introduttivo, focalizza il concetto di sistema dinamico e delle fondamentali proprietà di controllabilità ed osservabilità. La rigorosa definizione di sistema dinamico come ente matematico è affiancata dal richiamo di alcuni concetti matematici e da esempi significativi di sistemi dinamici reali. Il secondo Capitolo, decisamente inconsueto nei testi di Teoria dei Sistemi, riguarda i sistemi a stati finiti, le loro rappresentazioni, proprietà e gli algoritmi relativi alla riduzione alla forma minima, alla diagnosi, alla osservazione e ricostruzione dello stato e all'incasellamento. L'efficacia didattica della presentazione di tale classe di sistemi nel quadro più vasto dei sistemi dinamici è risultata molto elevata, grazie alla loro intrinseca semplicità strutturale che evidenzia con estrema chiarezza concetti come stato, transizione tra stati, osservabilità e forma minima.

Il Capitolo 3 introduce i sistemi a stato vettore ed i concetti di stabilità, descrivendo anche il metodo diretto di Liapunov. Vengono riportati, in maniera chiara e concisa, i richiami matematici, eventualmente necessari al lettore, sugli spazi vettoriali. Il Capitolo 4 introduce i sistemi lineari e descrive le proprietà indotte dalla linearità. Troviamo qui la descrizione della matrice di transizione, della risposta impulsiva, dei sottospazi di controllabilità e non osservabilità e delle proprietà di stabilità di tale importante classe di sistemi. Presenti anche qui ben calibrati richiami sui concetti e gli strumenti matematici necessari quali trasformazioni lineari, proiezioni, proprietà delle matrici e forme quadratiche.

Il Capitolo 5 considera l'ipotesi di stazionarietà e tratta la categoria di sistemi più rilevante nelle applicazioni, quella dei sistemi lineari stazionari. Vengono considerati i casi continuo e discreto e le relative proprietà di controllabilità ed osservabilità. Il capitolo descrive anche la scomposizione canonica di Kalman, la forma di Jordan ed i metodi di analisi della stabilità. Segue la descrizione delle rappresentazioni di ingresso-uscita, delle forme canoniche per le rappresentazioni nello spazio degli stati, della retroazione stato-ingresso per l'assegnazione degli autovalori ed il progetto degli osservatori asintotici dello stato.

Anche il Capitolo 6 è dedicato ai sistemi lineari stazionari ma è fortemente caratterizzato dai risultati delle ricerche svolte dall'Autore nell'ambito dell'Approccio Geometrico. Dopo una analisi delle proprietà di invarianza dei sottospazi caratteristici relativi a controllabilità ed osservabilità vengono infatti introdotti i concetti di invarianza controllata e condizionata e della stabilità dei sottospazi che godono di tali proprietà. Tali concetti vengono poi utilizzati nella sintesi di regolatori ed estimatori parziali, nella soluzione del problema della noninterazione, nella sintesi di osservatori per sistemi con ingressi non accessibili, di osservatori dell'ingresso e nella sintesi di sistemi inversi.

Il testo contiene anche tre Appendici dedicate rispettivamente agli schemi a blocchi ed ai grafi di flusso, alla valutazione approssimata degli autovalori ed alla determinazione della forma di Jordan di una matrice.

Ritengo questo testo l'espressione di una Scuola che, nel settore della Teoria dei Sistemi, ha raggiunto un livello di eccellenza difficilmente eguagliabile. Tra le caratteristiche riconosciute da quanti lo hanno utilizzato in ambito didattico, la straordinaria efficacia dovuta anche alla scelta di includere la trattazione dei sistemi a stati finiti e ad una comprensibilità dell'intero percorso che, peraltro, nulla concede al rigore con il quale ogni argomento viene trattato. Molto efficace e proposta in modo molto naturale anche la trattazione dei sistemi a tempo discreto. Se si considerano poi i contenuti del sesto Capitolo, la valenza del libro si estende, in maniera tutt'altro che superficiale, al settore della ricerca e dei corsi avanzati di Teoria dei Sistemi e del Controllo. Un unico rammarico: l'assenza di una versione in lingua inglese che assicurerebbe a questo testo il ruolo che merita a livello internazionale.

*Roberto Guidorzi*

Giovanni Marro

### ***Teoria dei sistemi e del controllo***

Zanichelli, 1989 – 472 pagine

Questo testo, straordinariamente ricco di contenuti, può anche essere visto come una evoluzione del testo *Fondamenti di Teoria dei Sistemi* dello stesso Autore. Questo è, almeno in parte, vero; tuttavia le due opere non sono sovrapponibili sia per la diversa architettura sia per la presenza, qui, di molti contenuti che non erano presenti nel volume citato in quanto non allineati con gli obiettivi di tale volume. Quanto sopra traspare in maniera abbastanza evidente dall'esame dei contenuti dei diversi Capitoli.

Il primo Capitolo introduce, utilizzando anche il supporto di vari esempi di sistemi, il concetto di sistema dinamico. Descrive poi le proprietà generali dei sistemi dinamici e quelle fondamentali del controllo e della osservazione dello stato. Viene infine trattata l'interconnessione di più sistemi e vengono descritti i problemi affrontati dalla teoria dei sistemi e del controllo.

Il secondo Capitolo, inusuale nei testi di Teoria dei Sistemi, riguarda i sistemi a stati finiti, le problematiche relative agli stati equivalenti, alla riduzione alla forma minima, alla diagnosi e osservazione dello stato, all'incasellamento ed alla ricostruzione dello stato. Conclude il Capitolo la trattazione dei sistemi a memoria finita.

Il terzo Capitolo passa direttamente ad esaminare le numerose proprietà dei sistemi lineari partendo dalla descrizione della evoluzione dello stato e delle rappresentazioni di ingresso-uscita e ingresso-stato-uscita per arrivare al controllo ed osservazione dello stato ed al passaggio tra modelli continui e discreti.

Il quarto Capitolo è dedicato alla analisi delle proprietà di stabilità dei sistemi mediante il metodo diretto di Liapunov ed allo studio della stabilità dei sistemi lineari non stazionari e stazionari.

Il quinto Capitolo analizza la struttura dei sistemi lineari stazionari mettendo in evidenza le fondamentali proprietà di invarianza dei sottospazi associati alla controllabilità ed alla osservabilità per passare poi alla assegnazione degli autovalori mediante retroazione stato-ingresso ed alla sintesi degli osservatori dello stato. Segue la scomposizione canonica di Kalman e la descrizione della forma di Jordan. Nella sezione dei complementi è poi presente una efficace trattazione delle forme canoniche e degli indici strutturali che caratterizzano tali rappresentazioni.

Il sesto Capitolo si lascia alle spalle i più tradizionali contenuti precedenti per introdurre l'Approccio Geometrico, sviluppato dall'Autore e da Giuseppe Basile. Troviamo quindi le definizioni dei sottospazi invarianti controllati e condizionati e l'utilizzazione di questi concetti nella soluzione di problemi di controllabilità e osservabilità vincolate, di stabilizzabilità e di localizzazione dei disturbi. Si tratta di contenuti originali e non facilmente reperibili in altri testi.

La potenza e flessibilità dell'Approccio Geometrico vengono evidenziate, nel settimo Capitolo, dalla trattazione dei problemi di sintesi dei regolatori, della assegnazione degli autovalori in presenza di vincoli strutturali, della sintesi di osservatori dello stato di ordine ridotto e del progetto di compensatori e regolatori di ordine ridotto. Questo percorso prosegue, nell'ottavo Capitolo, con la trattazione dei problemi della noninterazione, della controllabilità funzionale dell'uscita, degli osservatori per sistemi con ingressi non noti e della risposta armonica generalizzata.

Il Capitolo 9, infine, tratta i controlli in retroazione, la sintesi del regolatore autonomo, ed esamina il problema della robustezza introducendo anche gli invarianti controllati robusti.

Sono poi presenti ben 7 Appendici i cui contenuti spaziano dalla teoria degli insiemi agli spazi vettoriali, dalle proprietà delle matrici alle equazioni differenziali ed alle differenze ed a vari procedimenti computazionali quali l'ortonormalizzazione di Gram-Schmidt, il metodo di eliminazione di Gauss-Jordan e la determinazione dei polinomi caratteristico e minimo di una matrice.

Valgono, per questo volume, tutte le considerazioni già fatte per il testo *Fondamenti di Teoria dei Sistemi* del quale, come si è già detto, può venire considerato una evoluzione e completamento. Va tuttavia aggiunto che la presenza rilevante dell'Approccio Geometrico e della sua applicazione ad una moltitudine di problemi di notevole complessità rende questo testo particolarmente idoneo a corsi di secondo livello nell'ambito di percorsi nel settore dell'automazione e/o a corsi di dottorato. Anche per questo testo, una versione in lingua inglese gli consentirebbe di occupare quella rilevanza, a livello internazionale, che certamente merita.

*Roberto Guidorzi*

Maurelio Boari, Paolo Ancilotti

### ***Programmazione Concorrente e Distribuita***

McGraw-Hill, 2007 – 295 pagine

Questo libro è il frutto della lunga esperienza di ricerca e insegnamento svolta dal professor Boari nel campo della programmazione concorrente e dei sistemi operativi.

Il testo è il primo libro didattico edito in Italia che affronta in modo armonico e completo le tematiche inerenti alla programmazione concorrente e distribuita. Esso sviluppa il tema della concorrenza da due diverse prospettive: quella del sistema operativo, nel quale la concorrenza è lo strumento fondamentale per la sua realizzazione, e quella del programmatore, che può sfruttare la possibilità di esecuzione concorrente o distribuita per lo sviluppo di applicazioni nella quali l'esecuzione non è più sequenziale ma è svolta da più attività contemporanee, sia per ottenere migliori prestazioni, sia per una maggiore aderenza dei programmi alle caratteristiche dei problemi da risolvere.

Il libro, ponendosi come naturale continuazione del testo *Sistemi operativi*, McGraw-Hill, 2004 (pubblicato dagli stessi autori e concepito per corsi di base sui Sistemi Operativi), è particolarmente indicato come testo didattico in corsi di laurea magistrale di ambito informatico.

Il volume è articolato in 10 capitoli, a cui si aggiunge un ultimo capitolo contenente vari esercizi riepilogativi.

I primi tre capitoli introducono i concetti fondamentali alla base della programmazione concorrente e distribuita: i processi e le loro proprietà, le macchine concorrenti, i modelli di interazione tra processi concorrenti. Vengono inoltre introdotte le caratteristiche dei linguaggi per la programmazione concorrente e i tipici costrutti linguistici per lo sviluppo di applicazioni concorrenti, con esemplificazioni relative a linguaggi di ampia diffusione come il *Java* ed il *C* esteso con la libreria *Pthread*. Poiché la possibilità di esecuzione concorrente di più processi è resa possibile dal nucleo della macchina concorrente, il terzo capitolo descrive la realizzazione da parte del nucleo dei principali meccanismi necessari alla gestione dei processi concorrenti, nel caso di architetture sia monoprocesso che multiprocesso.

Nei capitoli 4, 5 e 6 viene approfondito il tema della programmazione concorrente nel modello di interazione a memoria comune. In questo modello, proprio di sistemi in cui più processi concorrenti hanno la possibilità di condividere risorse, la necessità di sincronizzare opportunamente i processi nell'accesso agli oggetti comuni assume un particolare rilievo. A questo scopo, dopo l'introduzione generale fornita dal capitolo 4, nei capitoli 5 e 6 vengono presentati i più diffusi strumenti linguistici per la sincronizzazione tra processi concorrenti nel modello a memoria comune.

In particolare, il capitolo 5 definisce il semaforo come potente strumento per la soluzione di ogni problema di sincronizzazione, descrivendone la semantica ed evi-

denziandone le proprietà formali. A completamento della descrizione del semaforo, viene inoltre fornita una panoramica dei principali casi di uso del semaforo, attraverso la definizione in forma paradigmatica dei protocolli da utilizzare. L'implementazione del meccanismo semaforico, parte integrante del nucleo della macchina concorrente, viene infine presentata con riferimento ad architetture sia monoprocesso che multiprocesso.

Il capitolo 6 descrive il monitor, un costrutto linguistico (di più alto livello rispetto al semaforo) per la programmazione delle interazioni tra processi nel modello a memoria comune, mostrandone caratteristiche sintattiche e semantiche. L'elevato potere espressivo del monitor viene messo in evidenza illustrandone l'impiego per la soluzione di alcuni tipici problemi di sincronizzazione. Viene infine proposta una possibile realizzazione del monitor basata sull'impiego di semafori.

L'ultima parte del libro approfondisce il tema della programmazione distribuita, assumendo come modello di interazione tra i processi quello a scambio di messaggi, proprio di un sistema basato su un insieme di nodi virtuali distinti e interconnessi attraverso una rete di comunicazione. Nel modello adottato la principale forma di interazione è rappresentata dalla comunicazione tra i processi. Pertanto, dopo aver presentato nel capitolo 7 i concetti generali alla base della programmazione distribuita, i capitoli 8, 9 e 10 prendono rispettivamente in esame le principali tipologie di comunicazione: sincrona, asincrona e a sincronizzazione estesa. Per ognuna di esse vengono introdotte le operazioni primitive corrispondenti, descrivendone la semantica, evidenziandone le proprietà e esemplificandone l'utilizzo attraverso la soluzione di alcuni tipici problemi. Per ogni primitiva di comunicazione viene infine proposta una possibile implementazione basata sui meccanismi del nucleo.

Il capitolo finale propone al lettore diversi esercizi per una verifica "sul campo" dei concetti e delle metodologie descritte nei capitoli precedenti; la soluzione di ogni esercizio proposto viene messa a disposizione dei lettori tramite il sito web associato al libro.

Come considerazione conclusiva si osserva che in ogni parte del libro gli Autori mettono in particolare evidenza i concetti e gli aspetti metodologici relativi alle problematiche esaminate mantenendo la trattazione su un piano il più possibile indipendente dai particolari sistemi operativi e dagli specifici linguaggi di programmazione utilizzabili.

Questa caratteristica è uno dei punti di forza del volume, che, proprio per il suo taglio concettuale e in buona misura astratto rispetto alle tecnologie, nonostante sia stato pubblicato nell'ormai lontano 2007, risulta tutt'ora attuale nei contenuti e, per questo motivo, gode ancor oggi di un'ampia diffusione come testo didattico in molti atenei italiani.

*Anna Ciampolini*



Paolo Biscari, Tommaso Ruggeri, Giuseppe Saccomandi,  
Maurizio Vianello

***Meccanica razionale*** (3<sup>a</sup> ed.)

Springer, 2016 – XII + 403 pagine

“Meccanica razionale” is the branch of analytical mechanics devoted to the study of idealized physical mechanisms, such as points and rigid bodies, connected by inextensible wires and perfect springs, sliding and rolling on non-dissipative constraints (the name seems to take origin from “Mécanique rationnelle” introduced by Auguste Comte in his “courses de philosophie positive” around 1840 and it is the standard designation of academic courses about this subject in Italy). The physics is Newton’s dynamics, the mathematical tools are vector calculus, Lagrangian and Hamiltonian mechanics for systems with a finite number of degrees of freedom. The book is in Italian and is intended as textbook for Italian grad-courses in engineering. The content is organized in chapters as follows (the content of each chapter is more or less standard unless explicitly described). 1. Kinematics of the point. 2. Kinematics of the rigid body. 3. Kinematics in different reference frames. 4. Constrained systems; several examples of constrained systems are analysed here, in particular: point on a fixed circular rail, rod with an end on a fixed rail, crankshaft-connecting rod mechanism, point on a moving rail, one-sided and fixed-two-sided constraints, rolling (without sliding) disc, holonomic and nonholonomic constraints are discussed. 5. Geometry of masses (centre of mass, inertia ellipsoids and so on). 6. Forces, work, potential. 7. Laws of mechanics (with an interesting digression about Mach’s approach). 8. Statics; an interesting chapter, opening with the law of Coulomb-Morin, devoted to the equilibrium of rigid bodies with different constraints (including screw-type ones), to the statics of holonomic systems, to the decoupling from constraints. 9. Dynamics of the point. 10. Dynamics of systems. 11. Dynamics of rigid body. 12. Mechanics (and statics) in different reference frames. 13. Lagrangian mechanics; first integrals, Hamiltonian, stability and instability of equilibrium configurations, linearized equations, Rayleigh’s dissipation function, nonholonomic linear constraints. 14. Statics of one-dimensional continuous systems; equilibrium of one-dimensional bodies, Euler’s elastic rod, wires, equilibrium of arches and bridges. Appendix A; Mathematical tools: linear algebra, ODEs. An analytical index is provided. Several examples are worked out into details in each chapter. No exercise is proposed; exercises for grad-courses are usually collected in separate books. Chapters 4, 8 and 14 are particularly interesting and show a peculiar interest of the authors towards a more applicative and multidisciplinary approach to the subject.

*Giovanni Rastelli*

Ingo Müller, Tommaso Ruggeri

***Rational extended thermodynamics*** (2<sup>nd</sup> ed.)

Springer, 1998 – XVI + 396 pagine

This book represents the second edition of *Extended thermodynamics* [Springer, New York, 1993; MR1269783]. During this period many interesting questions have been raised and in part solved in the field of non-equilibrium thermodynamics and plenty of new results fully justify the appearance of this new work.

The matter is presented in a more systematic way and the new title with the inclusion of the adjective “rational” expresses the aim to report only the results obtained as a mathematical consequence of the axioms of Extended Thermodynamics, with procedures typical of deductive science. Therefore the attempts to tackle the non-equilibrium problems presented in the other book which are based on a more phenomenological approach, even if close to the tenets of the authors, are not mentioned.

In the first chapter, missing in the previous version, a brief presentation of the scopes and principles of Extended Thermodynamics is given in a historical perspective.

The chapters devoted to the early version of the theory, to mixtures of Euler fluids, to the analysis of wave phenomena, and to testing the principles of Extended Thermodynamics by sound experiments, are essentially equal to the analogous parts of the previous version. The other chapters are completely new or contain many recent results. The principles on which Extended Thermodynamics is based are discussed in great detail in Chapter Three with the addition of some paragraphs concerning the entropy inequalities for subsystems of systems of hyperbolic partial differential equations.

The relativistic formulation is improved by the analysis for relativistic fluids on the order of magnitude of the bulk viscosity which seems to be more important than was first believed. This could have relevant consequences in the analysis of evolution of the early universe and galaxy formation, in particular for the inflationary models that consider the dynamic pressure as the main mechanism of the inflationary expansion. Another interesting feature of the relativistic formulation is revealed by the application to reacting mixtures in the presence of heat of reaction.

The part devoted to the so-called molecular Extended Thermodynamics has been replaced in this version by a new formulation of the Extended Thermodynamics of moment equations. This approach is suitable when a kinetic formulation is available and explicit calculations are performed as in the case of monatomic gas. Interesting is the proof that the maximum speed of propagation of disturbances increases with the number of moments and tends to infinity in the classical case and to the velocity of light in the relativistic case. A comparison of the method of maximizing the entropy outside of equilibrium and the Extended Thermodynamics of moments is also shown. This question is however discussed only in a formal way and the mathematical problem of whether the introduced quantities are well defined is not mentioned. Perhaps a comparison with other formalizations of the moment closure, e.g. the Levermore theory, could be worthy of inclusion.

The presentation of the use of light scattering for testing Extended Thermodynamics contains the illustration of more cases and more thorough discussions.

The chapter devoted to the analysis of shock waves is one of the most challenging parts from a mathematical point of view. The problem of the regularity of the shock waves in the 13-moment model of Extended Thermodynamics has represented one of the most intriguing questions of the theory. It was almost ignored in the first edition, where only a brief comment on the possibility of the appearance of subshock is reported. In recent years the situation has become clearer. Although a recent result of Ruggeri led to the puzzling conjecture that by increasing the number of moments the critical Mach number, under which a regular shock profile cannot exist, should tend to one, Weiss showed that the hypothesis of that result is not valid for a monatomic gas. Indeed, numerical simulations strongly indicate that the regularity of the shock solution improves when more and more moments are considered. The question deserves further analysis.

The application of Extended Thermodynamics to radiation and phonons is presented by H. Struchtrup. The balance equations for the description of the radiation field are obtained including, at variance with the usual moment method approach, arbitrary power of the frequency. This further degree of freedom improves the results as shown by the analysis of several cases of physical interest. Extended Thermodynamics of phonons is employed to study thermal propagation in solids at low temperature, and the typical phenomena of ballistic phonons, second sound and thermal diffusion are recovered.

A simple demonstration of the application of the theory to the transport of electrons in metal and to viscoelastic fluids is presented in the last two chapters. In particular in the case of second grade fluids the correct signs of the first normal stress coefficient have been found. In both these two concluding parts only partial results are achieved and further efforts are needed for a better understanding.

In conclusion our impression is that the book contains several interesting results and offers hints for new developments in the field of non-equilibrium phenomena.

*Vittorio Romano*

Tommaso Ruggeri, Masaru Sugiyama

***Rational Extended Thermodynamics beyond the Monatomic Gas***

Springer, 2015 – XXIV + 376 pagine

This book presents recent developments in rational extended thermodynamics (RET). It may be considered a follow-up of the book by I. Müller and T. Ruggeri,

*Rational extended thermodynamics*, 2<sup>nd</sup> ed., New York, NY: Springer, 1998, with its validity range restricted to rarefied monatomic gases. RET is a phenomenological field theory which describes nonequilibrium phenomena with steep gradients and rapid changes in space-time out of local equilibrium. It is concerned with polyatomic gases, moderately dense gases, and a mixture of gases with multi-temperature in perfect agreement with the kinetic theory of gases. The basic system of field equations in RET is hyperbolic, which can predict the finite speed of disturbances. In contrast, classical thermodynamics of irreversible processes with its parabolic character leads to the infinite speed of disturbances, which is physically unrealistic and fatal in a relativistic framework. The book deals with three different research areas: thermo-mechanics of continuous media, the kinetic theory of gases, and the hyperbolic systems of balance laws. It consists of eight main parts numbered I-VIII, with seventeen chapters, two additional chapters ("Introduction" at the beginning and "Open problems" at the end), the Author index and the Subject index. An abstract is given in each chapter. The first chapter (pp. 1-32) is devoted to some introductory perspectives in RET starting with a short history of nonequilibrium thermodynamics. In Part I: Mathematical structure and waves, Chapter 2 (pp. 35-53) gives a survey of the mathematical structure of the system of RET, which is strictly related to the mathematical problems of hyperbolic systems in balance form with a convex entropy density, and Chapter 3 (pp. 55-76) presents a short review on the modern theory of wave propagation for hyperbolic systems. In Part II: Survey of rational extended thermodynamics of monatomic gas, Chapter 4 (pp. 79-106) gives a survey of the main results of RET concerning rarefied monatomic gases. In Part III: RET of polyatomic gas and dense gas with 14 fields, Chapter 5 (pp. 109-137) explains the new extended phenomenological thermodynamics (ET) of the rarefied polyatomic gases and dense gases with 14 independent fields, and Chapter 6 (pp. 139-151) deals with the maximum entropy principle for rarefied polyatomic gas. In Part IV: Application of the ET14 theory, Chapter 7 (pp. 155-171) and Chapter 8 (pp. 173-192) are concerned with the linear sound wave and the shock wave structure in a rarefied polyatomic gas, including comparison with experimental data, and Chapter 9 (pp. 193-210) discusses briefly some applications of the ET14 theory: light scattering, stationary heat conduction, and fluctuating hydrodynamics. In Part V: Maximum entropy principle and nesting theories and many moments, Chapter 10 (pp. 213-241) gives a contribution to the development and understanding of the new ET theory of rarefied polyatomic gases for any number of moments. In Part VI: ET6-A Theory of far-from-equilibrium thermodynamics, Chapter 11 (pp. 245-269) studies the nonlinear ET6 and the rate of the dynamic pressure: phenomenological approach including some examples of an ideal polytropic gas. Chapter 12 (pp. 271-278) examines the molecular nonlinear ET6 for rarefied polyatomic gas and Chapter 13 (pp. 279-291) the application of ET6 to shock wave and sub-shock formation, Chapter 14 (pp. 293-298) studies acceleration wave, K-condition, and global existence in ET6, and Chapter 15 (pp. 299-305) describes the non-equilibrium temperature and chemical potential. In Part VII: Mixture of gases with multi-temperature, Chapter 16 (pp. 309-337) presents

a survey on recent results concerning different models of a mixture of compressible fluids, and Chapter 17 (pp. 339-349) studies the shock structure and the temperature overshoot in the macroscopic model of mixtures. In Part VIII: Maxwellian iteration and objectivity, Chapter 18 (pp. 353-361) discusses the parabolic limit of extended thermodynamics. Lastly, Chapter 19 (pp. 363-364) discusses the perspective in the ET theory and states some open problems for forthcoming works. In summary, this research book presents a lucid explanation of rational extended thermodynamics, including most recent developments. The methodology of the book can provide important models for some applications in current advanced technology. The book, which lists up some open problems, will be of interest to applied mathematicians, physicists and engineers, and it will certainly stimulate further research on the subject.

*M. Cengiz Dökmeçi*

Alessandro Freddi, Mario Salomon

***Design Principles and Methodologies***

Springer, 2018 – 284 pagine

Questo volume dichiara il suo contenuto nel sottotitolo: *From Conceptualization to First Prototyping with Examples and Case Studies*. Nel farlo gli autori hanno delimitato perfettamente l'abito del libro che tratta in maniera molto approfondita il progetto concettuale con esempi e casi di studio e si ferma prima della vera e propria ingegnerizzazione di prodotto. I contenuti derivano da una felice contaminazione della lunga esperienza accademica del professor Alessandro Freddi, che per anni ha tenuto i corsi di Principi e Metodologie della Progettazione Meccanica e di Analisi Sperimentale delle Tensioni per allievi Ingegneri Meccanici dell'Ateneo Bolognese, e dell'Ing. Mario Salomon, professionista della ricerca e sviluppo, soprattutto nel campo della progettazione di macchine automatiche.

Il libro è diviso in tre sezioni: *Metodi*, coi capitoli dall'1 al 4, *Argomenti Particolari*, nei capitoli 5-7 e *Casi di Studio*, che comprende i capitoli dall'8 al 10. Segue un'appendice con cenni storici sulla Packaging Valley Bolognese.

Il primo Capitolo introduce concetti molto profondi di Epistemologia della Progettazione in grado di conferire un'impostazione umanistica all'intera opera, che contiene, d'altra parte, sezioni dalla grande valenza tecnico-scientifica. Vengono definiti parallelamente il Progetto Ingegneristico e il Disegno Industriale con i differenti approcci che vanno ad intrecciarsi, ad incontrarsi o scontrarsi nelle attività di progetto. Qui e in buona parte del libro risuonano gli echi dell'esperienza della Scuola di Design di Bertinoro, negli anni a cavallo del 2000.

Il secondo Capitolo tratta dei metodi classici della progettazione concettuale sistematica, a partire dal metodo di Munari, attraverso le direttive VDI (*Verein Deutscher Ingenieure*) fino al metodo di Pahl e Beitz. Al termine del capitolo il processo di progettazione viene inquadrato nel più ampio sistema di gestione Qualità.

Il Capitolo 3 è dedicato alle tecniche codificate di identificazione dei requisiti e della scrittura delle specifiche di progetto. È trattato il metodo QFD (*Quality function Deployment*) e presentata la Casa della Qualità come strumento grafico di sintesi delle varie metodologie esposte. Alcuni esempi pratici contribuiscono a rendere il discorso lineare ed esauriente.

Nel quarto capitolo si trova un'ampia disamina del concetto di Innovazione e del suo rapporto con l'attività inventiva. Uno spazio adeguato è dedicato al *Technological Readiness Level* a partire dalla sua definizione da parte della NASA fino all'esteso utilizzo nel programma Horizon 2020, in particolare per stabilire i punti di partenza e gli obiettivi dei programmi di ricerca industriale.

I capitoli dal cinque al sette fanno parte della sezione *Special Topics* e coprono argomenti che trovano spazio a fatica nei corsi di laurea in ingegneria meccanica. In particolare, il capitolo cinque tratta dei differenti approcci progettuali relativi all'affidabilità di componenti e sistemi. Viene mostrata la differenza tra approccio deterministico, ancora molto utilizzato nelle realtà industriali, e quello probabilistico, più avanzato. Il capitolo termina con la *Failure Mode and Effect Analysis* sia di progetto che di processo.

Il Capitolo 6 tratta del Progetto dell'esperimento, metodologia più nota nella forma inglese di *Design of Experiment*, o più semplicemente DOE. Vengono introdotti i concetti di Piano Fattoriale Completo o meno e di Superficie di Risposta, includendo la base matematica necessaria ed alcuni esempi svolti.

Il capitolo successivo introduce al Metodo di Taguchi e al concetto di Robustezza di un progetto. Vengono mostrate le differenze concettuali col DOE e mostrati, anche attraverso alcuni esempi, la *Quality Loss Function* ed il *Robustness Index*.

La terza parte è dedicata ai casi di studio. Nel capitolo ottavo vi è una disamina dettagliata della progettazione concettuale di un prototipo di una macchina di prova di grandi dimensioni, adatta a tubature per il settore petrolchimico. Nel medesimo capitolo sono accennate altre applicazioni relative alle prove meccaniche, per chiarire volta per volta differenti concetti.

Il nono e il decimo capitolo descrivono, rispettivamente, la progettazione concettuale e lo sviluppo del prototipo di una complessa macchina automatica per il packaging, rivelando l'origine industriale del caso di studio e consentendo di apprezzare l'applicazione non accademica dei concetti generali espressi nel resto del volume. In questo modo il libro ne risulta notevolmente impregiato e sostanzialmente differente da quanto disponibile in letteratura.

La realizzazione di questo libro in lingua inglese lo rende adatto ad un'ampia diffusione internazionale. Cionondimeno, può trovare la sua naturale collocazione all'interno dei corsi di laurea magistrale in ingegneria Meccanica, ogniqualvolta sia necessario adottare un volume che guidi lo studente durante le fasi di progettazione più o meno realistica che vengono solitamente proposte agli allievi ingegneri giunti

quasi al termine del loro percorso di studi. In particolare, la terza parte si presta ad essere svolta come esempio di buona pratica progettuale da cui trarre ispirazione nei corsi di Progettazione di Macchine Automatiche.

*Giangiaco Minak*

Agostino Desalvo, Andrea Munari

***Elementi di Chimica Fisica dei Materiali per l'Elettronica***

Progetto Leonardo, 2010 - IX + 221 pagine

Il testo, rivolto prevalentemente agli studenti dei Corsi di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica o strettamente affini, fornisce, in modo semplice ed utilizzando strumenti matematici non complessi, le nozioni indispensabili per lo studio e l'interpretazione delle *proprietà elettriche* ed *ottiche* dei materiali di largo impiego nel campo dell'elettronica, con particolare riguardo ai semiconduttori. Il volume trova ampia giustificazione dal fatto che la necessità di una sempre maggiore miniaturizzazione dei circuiti e dei dispositivi elettronici non può prescindere dalla piena e corretta comprensione della struttura e proprietà dei materiali di cui sono costituiti, anche tenuto conto che passando dalla *microelettronica* alla *nanoelettronica* si manifestano sempre più rilevanti gli effetti quantistici dei materiali stessi. È quindi necessario che agli studenti, che si troveranno ad affrontare tali problematiche, siano fornite le basi di Chimica e di Fisica che consentano loro innanzitutto di comprendere la struttura di un materiale; a queste devono essere poi aggiunte nozioni più approfondite e specifiche, per collegare questa struttura alle diverse proprietà dei materiali ad iniziare dalle proprietà elettriche ma anche ottiche e magnetiche.

L'Opera nasce dall'esperienza didattica maturata dagli Autori nello svolgimento di un corso di Chimica Fisica dei Materiali rivolto ad allievi del Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica e si articola nel modo seguente. Nel Cap. I vengono richiamate le caratteristiche fondamentali delle onde elettromagnetiche e delle onde di materia, con particolare riferimento a quelle relative agli elettroni, mentre nel Cap. II viene presentata l'equazione di Schrödinger in forma operatoriale e la sua risoluzione in alcuni casi semplici. I due precedenti argomenti sono preliminari alla successiva analisi, svolta nel Cap. III, del legame covalente puro e di quello polarizzato nelle molecole biatomiche, mediante il metodo degli Orbitali Molecolari. Nel Capitolo IV vengono introdotte le nozioni fondamentali di cristallografia, la nozione di reticolo reciproco e sono quindi analizzati i fenomeni di diffrazione dei raggi X e degli elettroni da parte dei reticoli cristallini, con le relative applicazioni allo studio della struttura dei cristalli e alla microscopia elettronica. Nel Cap. V vengono analizzate

le vibrazioni nelle molecole e nei cristalli, con accenni alle tecniche spettroscopiche infrarosse e Raman per l'analisi di queste proprietà nei materiali, mentre nel Cap. VI viene introdotto il legame nei cristalli mediante il modello dell'elettrone "quasi libero" e quello del *tight-binding*. Entrambi i metodi vengono estesi al caso dei semiconduttori ed in particolare viene analizzata la dipendenza del *gap* di energia proibita dalla composizione per i semiconduttori composti. Da sottolineare che la trattazione dei semiconduttori mediante il metodo del *tight-binding*, che mette in evidenza la relazione tra il *gap* di energia proibita e la forza del legame covalente, non si trova comunemente nei testi più diffusi. Tale trattazione è comunque indispensabile per comprendere la struttura a bande dei semiconduttori amorfi, sui quali ha lavorato uno degli Autori (A.D.), che altrimenti non risulta interpretabile utilizzando gli usuali metodi validi per un reticolo periodico. Nel Cap. VII sono poi studiate le proprietà elettriche dei metalli e dei semiconduttori, con particolare attenzione all'effetto della temperatura sul numero dei portatori di carica e sulla loro mobilità, ed infine, nel Capitolo VIII, vengono esaminate le proprietà ottiche dei metalli, dei semiconduttori e degli isolanti nell'infrarosso, nel visibile e nell'ultravioletto alla luce di un semplice modello che viene presentato.

Occorre sottolineare come questo volume, che rappresenta uno dei pochi testi in lingua italiana sull'argomento, evita al contrario di validissimi testi per lo più americani, l'utilizzo di un formalismo matematico pesante e di non facile utilizzo per gli studenti. Pur nel rispetto di questa scelta, gli autori forniscono una trattazione matematica completa almeno per i casi semplici, mentre per quelli più complessi viene riportato il solo risultato finale, comunque ampiamente commentato.

Molto utile risulta la bibliografia, riportata nella prefazione, con indicazione di testi "generalisti" e con suggerimenti di opere adatte anche per studenti di Corsi di Laurea in Ingegneria; mentre testi più approfonditi e dettagliati sono indicati per gli studenti con inclinazioni teoriche e con il gusto per la matematica.

*Maurizio Toselli*

Giorgio Bacarani

### ***Dispositivi MOS***

Edizioni Scientifiche Telettra - Patron Editore, 1982 – 158 pagine

Il volume venne realizzato a seguito di un corso che l'Autore aveva svolto presso i Laboratori della Telettra e contiene sia una trattazione sulla fisica dei dispositivi MOS sia una descrizione dei circuiti elementari utilizzati nelle applicazioni digitali.



Il testo, come scrive l'Autore stesso, offre un «ponte fra due settori tradizionalmente distinti dell'Elettronica: la fisica dei dispositivi da un lato e il progetto dei circuiti logici dall'altro». Questa impostazione era motivata dalla necessità di formare una figura di Ingegnere capace sia nel settore dei dispositivi, sia in quello dei circuiti e dei sistemi, per essere in grado di cogliere a fondo le opportunità offerte dallo sviluppo della densità d'integrazione della tecnologia MOS che si stava manifestando nel 1982, e che l'Autore con grande chiarezza illustra nel primo Capitolo. Questa impostazione ha caratterizzato l'insegnamento dell'Elettronica nella Scuola di Ingegneria dell'Università di Bologna.

Il secondo Capitolo è dedicato allo studio delle proprietà fisiche dell'interfaccia fra ossido di silicio e silicio e all'analisi delle caratteristiche del condensatore MOS. L'analisi è propedeutica alla teoria del transistor MOS che è svolta nel terzo Capitolo: sono individuate le ipotesi semplificative che stanno alla base della teoria monodimensionale del transistor MOS e sono svolti i passaggi che permettono di giungere al modello analitico semplificato della corrente di *drain* in condizioni di forte inversione. È poi sviluppata l'analisi del transistor in condizioni di debole inversione; questa permette di giungere all'espressione della corrente del transistor MOS polarizzato con tensione nulla sul terminale di controllo, corrente responsabile del consumo statico dei circuiti CMOS. Questa analisi è particolarmente originale per gli anni in cui è stata proposta, quando il suo effetto era in genere trascurato, e permette di prevedere come la contrazione delle geometrie e delle tensioni avrebbe reso il suo contributo sempre più importante. È infine ricavato il circuito equivalente del transistor MOS in condizioni stazionarie e dinamiche. La trattazione in questi due capitoli rappresenta ancora oggi la premessa per comprendere il funzionamento dei dispositivi moderni, per i quali non sono più verificate le ipotesi semplificative iniziali.

Nel quarto Capitolo l'Autore analizza il comportamento statico e dinamico dei circuiti che realizzano funzioni logiche elementari partendo dallo studio degli invertitori MOS e CMOS. Il modello della corrente del MOS ricavato nel terzo Capitolo è utilizzato per ricavarne per via analitica la caratteristica statica e il comportamento in transitorio. I vantaggi dello schema CMOS sono chiaramente messi in evidenza in una epoca in cui il maggiore costo dovuto alla complessità del processo tecnologico CMOS ne limitava l'utilizzo. Il Capitolo termina con l'analisi di circuiti rigenerativi.

Il quinto e ultimo Capitolo è dedicato alle memorie a semiconduttore. Sono illustrati gli schemi e il principio di funzionamento delle memorie ad accesso sequenziale, di quelle ad accesso casuale (RAM) sia statiche che dinamiche, e a sola lettura. Infine, è descritto il funzionamento del transistor MOS a doppio gate (*floating gate*) che permette di realizzare memorie a sola lettura programmabili elettronicamente.

La tecnologia CMOS ha rivoluzionato il mondo dei semiconduttori e, dall'anno in cui questo testo è stato pubblicato, la densità di integrazione è cresciuta in modo esponenziale. L'importanza di creare figure d'Ingegneri dotati di cultura microelettronica ad ampio spettro, capaci di progettare circuiti e sistemi integrati conoscendo il funzionamento dei dispositivi elementari, che è alla base di questo testo, è stata di-

mostrata dai fatti. La teoria del transistor MOS fornita nel testo permette di ricavare il modello analitico semplificato della corrente che è tuttora utilizzato nei corsi universitari e costituisce una premessa per comprendere il funzionamento dei dispositivi più avanzati. Gli schemi dei circuiti che realizzano le funzioni logiche elementari nei circuiti digitali moderni utilizzano tutti la tecnologia CMOS, e la metodologia per analizzarne il funzionamento si mantiene quella proposta nel testo.

In conclusione, quale allieva del professor Baccarani, vorrei ringraziare l'Autore per la chiarezza e il rigore della trattazione in questo come in tutti i suoi scritti, e considero il testo un riferimento per l'analisi dei circuiti elementari utilizzati nelle applicazioni digitali.

*Eleonora Franchi Scarselli*

Massimo Rudan

***Physics of Semiconductor Devices*** (2<sup>nd</sup> ed.)

Springer, 2017 – 917 pagine

Il volume *Physics of Semiconductor Devices* di Massimo Rudan rappresenta un trattato molto generale di Fisica Elettronica, che sviluppa con grande approfondimento la Fisica che presiede al funzionamento dei dispositivi elettronici a semiconduttore. La letteratura internazionale su questo argomento è molto ampia e diversificata, ma copre tipicamente solo parte di questa tematica: la fisica dei semiconduttori, trattata per lo più da studiosi di fisica, o la teoria dei dispositivi, che ha un interesse prevalentemente ingegneristico. Questo libro riunisce entrambi gli aspetti della disciplina, e fornisce a studenti e ricercatori ad essa interessati uno strumento completo di studio e di lavoro. L'intento del volume si muove pertanto in un'ottica di continuità con l'opera di Ercole De Castro: *Fondamenti di Elettronica: Fisica Elettronica ed Elementi di Teoria dei Dispositivi*, di cui fa propria la tematica generale nonché l'impostazione rigorosamente deduttiva della trattazione. Se ne differenzia tuttavia non solo per la stesura in lingua Inglese, che ne garantisce una diffusione decisamente più ampia, ma anche per la selezione di alcune differenti tematiche, che ne accrescono la completezza e l'omogeneità dei contenuti.

Il complesso di conoscenze richieste per una comprensione profonda del comportamento dei dispositivi elettronici comprende una larga parte della meccanica quantistica e della fisica dei solidi, discipline queste che non trovano spazio fra i contenuti della laurea triennale di primo livello delle scuole di Ingegneria. Questa circostanza rende difficile perseguire una metodologia di insegnamento interamente deduttiva,

nella quale ogni nozione sia giustificata sulla base di concetti fisici fondamentali. Il numero limitato di ore di lezione, e la necessità di svolgere l'ampio programma dei corsi di Ingegneria, induce molti docenti ad ignorare questo background, e a fare uso di un approccio induttivo, che viene sovente esteso anche ai libri di testo. Così facendo, alcuni concetti fondamentali sono presentati agli studenti in modo intuitivo, nella forma di modelli fisici con un qualche grado di semplificazione e senza alcuna dimostrazione.

L'approccio induttivo può essere utile in certi casi per ragioni pratiche, ma presenta l'inconveniente di nascondere le ipotesi semplificative e le limitazioni del modello. In tal modo, esso produce una insufficiente profondità di comprensione e la mancanza di senso critico sui limiti di validità dei risultati ottenuti. Inoltre, la evoluzione della Microelettronica verso dispositivi a dimensione deca-nanometrica, accresce l'importanza di tali conoscenze di base per l'insorgere di effetti quantistici dovuti al confinamento delle cariche mobili in strutture essenzialmente bidimensionali (buche quantiche) o anche monodimensionali (fili quantici). Infine, la riduzione dimensionale della regione attiva dei dispositivi genera condizioni di funzionamento fortemente discoste dall'equilibrio, e determina modalità di trasporto quasi-balistico, che si differenziano profondamente dal modello classico di trasporto a deriva e diffusione (DD).

Questo trattato è funzionale ad un approccio di insegnamento deduttivo e, come tale, rappresenta uno strumento di grande utilità non solo per gli studenti, ma anche per i ricercatori che vogliano approfondire la natura e le limitazioni dei modelli semiclassici utilizzati a fondamento della teoria dei dispositivi elettronici. Il lettore può infatti trovare nello stesso volume la dimostrazione rigorosa di tali modelli, la discussione delle loro limitazioni, nonché la loro applicazione finalizzata a valutare, almeno qualitativamente, le prestazioni statiche e dinamiche offerte dalle diverse categorie di dispositivi. Esso fornisce inoltre la cultura di base richiesta per lo sviluppo di metodologie di analisi numerica che superino le limitazioni dei modelli analitici, necessariamente semplificati, e conseguentemente non idonei per una previsione quantitativa delle prestazioni fornite dalle diverse strutture rese disponibili dalla tecnologia.

Il volume si suddivide in otto parti ed è articolato in 25 capitoli. La prima parte è formata da cinque capitoli, (1-5) che trattano estensivamente la meccanica analitica e l'elettromagnetismo. L'utilità di questi contenuti trova la sua ragion d'essere nella stretta interconnessione fra la meccanica classica e la meccanica quantistica, i cui operatori sono sempre composti a partire dalle espressioni classiche delle grandezze fisiche da essi rappresentate. Gioca fra queste un ruolo fondamentale la funzione Hamiltoniana relativa ad una particella in moto in un campo conservativo, e la sua estensione al caso del campo elettromagnetico.

La seconda parte introduce i concetti della meccanica statistica e della meccanica quantistica, e si compone ancora di cinque capitoli (6-10). La meccanica statistica è trattata nel sesto e nel settimo capitolo, dove viene definita la funzione di distribuzione nello spazio delle fasi per un sistema di particelle puntiformi supposte identiche. Viene poi impostata l'equazione del trasporto di Boltzmann, a cui segue

la derivazione del teorema H di Boltzmann, che stabilisce una relazione fra entropia e probabilità. Il settimo capitolo tratta su base storica la transizione dalla meccanica classica alla meccanica quantistica, mettendo in evidenza il complesso dei fenomeni fisici che non hanno soluzione all'interno di una interpretazione classica. L'ottavo e il nono capitolo sono dedicati rispettivamente all'equazione di Schrödinger indipendente dal tempo, reinterpretata come una equazione agli autovalori dell'operatore Hamiltoniano, e all'equazione di Schrödinger dipendente dal tempo, da cui discende la continuità del flusso di probabilità e la conservazione della norma. Il decimo capitolo introduce i metodi generali della Meccanica Quantistica, la commutabilità degli operatori e il principio di indeterminazione di Heisenberg.

L'oggetto della terza parte, che si compone di quattro capitoli (11-14), comprende le applicazioni dell'equazione di Schrödinger. Sono trattati i casi del potenziale a gradino, della barriera di potenziale, della buca di potenziale e dell'oscillatore lineare armonico. È poi esaminato il moto di un elettrone in un campo di forze centrali, e sono determinati gli autovalori e le autofunzioni del momento angolare e dell'energia per un potenziale coulombiano. Il capitolo 14 tratta la teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo.

La quarta parte si compone di due capitoli (15-16), dove sono analizzate le proprietà dei sistemi di particelle, con particolare attenzione al caso di particelle identiche; è poi enunciato il principio di esclusione e sono ricavate le statistiche quantiche. Il capitolo 16 sviluppa successivamente l'approssimazione adiabatica e determina le equazioni di Hartree e di Hartree-Fock.

La quinta parte contiene due capitoli (17-18), il primo dei quali enuncia alcune nozioni di geometria dei reticoli cristallini ed introduce gli operatori di traslazione ed il teorema di Bloch. Affronta poi lo studio dell'equazione di Schrödinger in un potenziale periodico. Il capitolo 18 esegue il calcolo delle concentrazioni di elettroni e lacune in un semiconduttore drogato in equilibrio termico. La sesta parte è dedicata ai fenomeni di trasporto nei semiconduttori. Si compone ancora di due capitoli (19-20), il primo dei quali tratta la dinamica degli elettroni nell'approssimazione di bande paraboliche e i fenomeni di collisione elettrone-reticolo. Sono poi ricavati i modelli di trasporto a deriva e diffusione (DD) e il modello idrodinamico (HD) a partire dall'equazione di Boltzmann e dalla sua espansione in momenti di ordine zero, uno e due. Da ultimo, è dedotto il modello matematico della teoria dei dispositivi. Il capitolo 20 tratta invece i fenomeni di generazione e ricombinazione nei semiconduttori e la statistica di Shockley-Read-Hall. Esamina poi i meccanismi di collisione elettrone-fonone ed elettrone-impurezze ionizzate e la mobilità macroscopica dei portatori di carica.

La settima parte comprende i capitoli 21 e 22, dedicati rispettivamente ai dispositivi bipolari e MOS. Dopo una trattazione della giunzione p-n basata sulla teoria di Shockley, il capitolo 21 tratta i fotorelettori, le celle solari e il transistor bipolare, di cui sono ricavate le caratteristiche statiche e il circuito equivalente per piccoli segnali. Il capitolo 22 illustra i dispositivi ad effetto di campo metallo-ossido-semiconduttore (MOSFET). Viene dapprima analizzato il condensatore MOS, di cui è ricavata la

caratteristica capacità-tensione, e successivamente sono introdotti i transistori MOS a canale n e p, che rappresentano oggi i dispositivi elettronici maggiormente utilizzati nei circuiti integrati e nei sistemi elettronici. Anche per il transistore MOS sono ricavate le caratteristiche statiche e i parametri differenziali del circuito equivalente. Segue una trattazione dell'invertitore CMOS. In un paragrafo di complementi sono poi esaminati, fra gli altri argomenti, un modello di secondo ordine del transistore MOS, che tiene conto del contributo diffusivo alla corrente totale e le regole di *scaling* del transistore.

L'ottava parte del volume illustra i processi fondamentali della tecnologia planare, e si compone di tre capitoli (23-25). Sono in particolare esaminati i processi di drogaggio dei semiconduttori per diffusione e impianto ionico, quelli di ossidazione termica, di epitassia e di epitassia molecolare. Il capitolo 25 è dedicato alle tecniche di misura dei parametri di maggior rilievo nei semiconduttori, ivi incluse le misure dei tempi di vita delle cariche mobili, di mobilità e della densità di portatori per effetto Hall. Un'ampia serie di appendici atte ad approfondire svariati dettagli matematici non contenuti nel testo, e la soluzione dei problemi disseminati nei vari capitoli, concludono l'opera.

In conclusione, il volume in esame rappresenta un trattato di straordinaria rilevanza e ricchezza di contenuti, idoneo a svolgere un'azione formativa assai approfondita per studenti e ricercatori interessati alla disciplina di cui è oggetto. La trattazione matematica dei fenomeni fisici descritti si caratterizza per una grande eleganza formale, e una capacità di sintesi che non indulge mai ad eccessi di formalismo. Svariate dimostrazioni presentano aspetti di originalità. Il tema trattato è appassionante, e la selezione degli argomenti è compiuta in modo oculato, con il preciso intendimento di trasmettere contenuti di carattere concettuale e, come tali, non soggetti ad obsolescenza. Lo sforzo dell'Autore merita pertanto un convinto plauso.

*Giorgio Baccarani*

Paolo Bassi, Gaetano Bellanca, Giovanni Tartarini

***Propagazione ottica libera e guidata*** (2<sup>a</sup> ed.)

CLUEB, 1999 – XIV + 427 pagine

Il testo tratta lo studio dei campi elettromagnetici in strutture dielettriche, con una trattazione teorica classica ed elegante molto adatta agli studenti dei corsi di laurea di ingegneria; le soluzioni analitiche sono calcolate in modo lineare e chiaro, matematicamente corretto e con l'obiettivo di rendere facile la lettura e lo studio degli studenti; anche le notazioni e la simbologia sono efficaci e di comprensione immediata.

Nella prima parte del testo vengono descritti i modelli matematici della propagazione in mezzi omogenei isotropi ed anisotropi con i necessari richiami sui tensori e sulle proprietà dei materiali e delle sorgenti ottiche.

Nella seconda parte del testo vengono studiate analiticamente le caratteristiche della propagazione modale in strutture dielettriche planari e cilindriche, considerando anche i limiti pratici connessi alle perdite e alla dispersione del segnale.

Vengono anche presentate la teoria dell'accoppiamento tra i modi di strutture dielettriche e le proprietà di dispositivi con risposta fortemente dipendente dalla frequenza come cavità risonanti e reticoli, elementi costitutivi di fondamentali componenti dei sistemi di comunicazione in fibra ottica come laser, filtri, sensori e accoppiatori.

Oltre ad argomenti classici della propagazione di strutture dielettriche, sono introdotti alcuni argomenti più moderni e sempre più diffusi nei corsi di elettromagnetismo in ambito ingegneristico, come l'olografia, i solitoni e i metodi numerici degli elementi finiti (FEM), delle differenze finite nel dominio della frequenza (FDFD) e del tempo (FDTD) e beam propagation method (BPM); è importante evidenziare come su questi temi gli autori abbiano potuto portare una notevole esperienza personale maturata nell'ambito di temi di ricerca, confermando la necessità per un docente universitario di connubio tra attività didattica e di ricerca e l'utilità per gli studenti di poter usufruire facilmente di questo passaggio "generazionale" di conoscenze e competenze.

La struttura grafica è sobria e perfettamente allineata con lo stile del testo, privo di fronzoli stilistici, ma con l'obiettivo primario di garantire chiarezza espositiva e correttezza formale del contenuto teorico; la bibliografia è completa e suggerisce al lettore quali testi possono essere utili per approfondimenti

Il testo è sicuramente indicato per tutti gli studenti e i docenti interessati a studiare ed ad approfondire la teoria dei campi elettromagnetici a partire dalle equazioni di Maxwell e a comprendere le proprietà che il segnale ottico presenta a causa delle limitazioni del mezzo trasmissivo.

*Andrea Galtarossa*



## 5. IL RUOLO NELLA SOCIETÀ CIVILE DEI DOCENTI

**Cesare Razzaboni** (1827-1893) è stato membro del Consiglio Provinciale di Modena dal 1861 al 1893. È stato deputato nella XIII legislatura (dal 20 novembre 1876 al 2 maggio 1880). Quando nel 1879 si verificò la disastrosa rotta del Po in provincia di Mantova, Razzaboni ebbe importanti incarichi parlamentari dove esplicò le sue conoscenze professionali di idraulico. È stato Direttore della Scuola di Applicazione per Ingegneri dal 1887 al 1893.

**Luigi Donati** (1846-1932) è stato Socio Corrispondente dell'Accademia Nazionale dei Lincei.

**Silvio Canevazzi** (1852-1918) nel 1915 fu eletto membro del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione e nominato dal Ministro membro della Giunta dello stesso Consiglio. È stato anche Consigliere dell'Amministrazione Comunale di Modena e Presidente del Consorzio Idroelettrico di Modena. È stato Direttore della Scuola di Applicazione per ingegneri dal 1910 al 1918.

**Attilio Muggia** (1861-1936) è stato Consigliere Comunale di Bologna. È stato Direttore della Scuola di Applicazione per Ingegneri dal 1923 al 1927.

**Federigo Enriques** (1871-1936) ha iniziato l'insegnamento universitario dalla cattedra di Geometria proiettiva e descrittiva dell'Università di Bologna nel 1896 che tenne fino al 1922, quando si trasferì a quella di Geometria superiore dell'Università di Roma. Nel 1938, in seguito alle leggi razziali, fu allontanato dall'Università. Fu Socio Nazionale dell'Accademia dei Lincei ed appartenne a molte altre accademie nazionali ed estere, tra le quali l'Accademia di Scienze morali e politiche dell'Istituto di Francia: fu nominato da varie università *Dottore honoris causa*. Alla ricerca matematica di carattere costruttivo interpose molti e importanti lavori di critica sui fondamenti della Matematica (geometria, aritmetica e meccanica) e tale campo di indagine è essenzialmente filosofico. Egli lo allargò passando allo studio generale dei problemi della conoscenza, in loro stessi e nel loro sviluppo storico. Così, quantunque essenzialmente matematico, l'Enriques è ampiamente noto nel mondo come filosofo: a ciò contribuì anche il quarto congresso internazionale di filosofia da lui organizzato e presieduto a Bologna nel 1911, che rappresenta il centro del periodo in cui più intensamente l'Enriques fu attratto dalle questioni filosofiche. Le sue idee principali appaiono, oltre che da numerosi articoli, dai suoi libri *Problemi della Scienza; Scienza e razionalismo; Per la Storia della logica; Storia*



*del pensiero scientifico*, in collaborazione quest'ultimo col De Santillana. Alla storia delle Matematiche, e della Scienza in generale, fu condotto da una concezione dinamica del valore della conoscenza, e dall'idea che l'apprendimento di una teoria deve rivivere, sia pure con processo abbreviato, gli stadi percorsi dai predecessori che la teoria stessa costruirono<sup>1</sup>.

**Francesco Balatroni** (1881-1961) è stato insignito della Medaglia d'oro quale Benemerito della Scienza e della Cultura.

**Umberto Puppini** (1884-1946) si iscrisse al Partito Nazionale Fascista (PNF) nel 1923 quando fu eletto nel Consiglio Comunale di Bologna e subito dopo nominato Sindaco, carica che mantenne fino al dicembre 1926. Nel febbraio del 1929 l'Accademia delle Scienze di Bologna, di cui Puppini faceva parte dal 1917 come membro onorario e dal 1924 come accademico, lo candidò alle elezioni politiche (la lista unica nazionale su cui i cittadini erano chiamati a dare il voto era infatti costituita in base a indicazioni che venivano da organi politici, sindacali, corporativi, combattentistici, culturali). Nell'aprile del 1929 fu eletto deputato alla Camera del Regno nella XXVIII legislatura; durante il mandato fu Presidente della Giunta parlamentare per il bilancio (dicembre 1930-luglio 1932). Nel 1930 Puppini ottenne il finanziamento della nuova sede della Facoltà di Ingegneria; su sua proposta e con l'approvazione di Mussolini l'incarico del progetto della nuova sede fu affidato a Giuseppe Vaccaro. Nel 1931-32 fece parte del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Nel luglio del 1932 fu nominato sottosegretario alle finanze (carica che mantenne sino all'aprile 1934). Nel 1934, in occasione delle elezioni per la XXIX legislatura, Puppini fu nuovamente candidato dall'Accademia ed eletto alla Camera dei Deputati. Alla fine dell'aprile del 1934 assunse la carica di ministro delle Comunicazioni: il suo mandato durò però nove mesi. Il 25 gennaio 1935 venne congedato con una lettera personale di Mussolini per poterlo eleggere, tre giorni dopo, Presidente dell'AGIP, una società anonima il cui capitale era interamente di proprietà dello Stato. Nel 1938, quando era Preside della Facoltà di Ingegneria, la Facoltà perse, a causa delle leggi razziali, due ordinari (Giulio Supino ed Emanuele Foà) e tre fra assistenti e liberi docenti. Nel 1945, sottoposto a procedimento di sospensione dalla Commissione di epurazione dell'Università con l'imputazione di "servilismo fascista", Puppini presentò alla Commissione un lungo e dettagliato memoriale, ribadendo, come altri *grand commis*, che era fascista ma che i suoi incarichi pubblici erano stati soltanto di carattere "tecnico". Al memoriale affiancò una serie di lettere di apprezzamento scritte da colleghi e conoscenti, tra i quali Giulio Supino. Reintegrato al termine del procedimento, tornò al ruolo di professore ordinario di Idraulica. Il 21 maggio 1946, mentre si recava a svolgere una lezione, fu colto da infarto e morì poche ore dopo all'ospedale Sant'Orsola di Bologna. È stato Direttore della Scuola di Applicazione

---

<sup>1</sup> O. Chisini, *Necrologio di Federigo Enriques*, "Bollettino dell'Unione Matematica Italiana", serie 3, vol. 1 (1946), n.1.

per Ingegneri dal 1927 al 1932 e Preside della Facoltà di Ingegneria dal 1937 al 1945. Giulio Supino concluse con queste parole il ricordo di Umberto Puppini sul Bollettino della Unione Matematica italiana di cui Puppini era stato tra i fondatori:

Alla memoria di Umberto Puppini va il rimpianto della Sua città che egli servì devotamente e che ne scrive il nome tra quelli dei suoi figli migliori e va il ricordo deferente di tutti gli estimatori e discepoli che perdonano in Lui un maestro, un amico, un consigliere equilibrato cui potevano rivolgersi con la sicurezza di apprendere non solo nel campo degli studi ma nella condotta della vita.

**Odone Belluzzi** (1892-1956) ottenne il premio della Fondazione Alessandro Volta, dato dall'Accademia d'Italia, ed il premio della Fondazione Vallauri.

**Vittorio Gori** (1896-1952) è stato Socio Corrispondente dell'Accademia Nazionale dei Lincei.

**Paolo Dore** (1892-1969) è stato Presidente della Commissione italiana del Comitato internazionale di Geofisica, Presidente della Commissione per la Geodesia e Geofisica del CNR, Accademico dei Lincei, Accademico Benedettino dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna. È stato insignito della Medaglia d'oro dei Benemeriti della Scuola, della Cultura e dell'Arte. È stato Preside della Facoltà di Ingegneria dal 1947 al 1965.

**Guido Corbellini** (1890-1976) è stato Senatore nelle file delle Democrazia Cristiana dal 1948, Ministro dei trasporti nel quarto Governo De Gasperi (1947-50). Nominato Ministro delle Poste e Telecomunicazioni nel maggio 1962 nel quarto Governo Fanfani, nel dicembre 1962 fu nominato Ministro per la Ricerca Scientifica e nel 1963 assunse l'incarico di Ministro dei Trasporti e dell'Aviazione civile nel primo Governo Leone. Al Senato fu Presidente delle Commissioni legislative per i Trasporti, i Lavori Pubblici, la Marina mercantile e le Poste e Telecomunicazioni.

**Aristide Prosciutto** (1895-1954) è stato Socio Benedettino dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna.

**Giulio Supino** (1898-1978) era figlio di Igino Benvenuto Supino, celebre Professore di Storia dell'Arte dell'Università di Bologna e Preside della Facoltà di Lettere e Filosofia. Giulio Supino partecipò con onore alla prima guerra mondiale conseguendo due croci al merito di guerra. Rientrato a Bologna dopo la guerra, si laureò in Ingegneria Civile prima (1921) e Matematica poi (1923). A partire dal 1927 iniziò la sua carriera universitaria a Bologna dove insegnò varie materie: Geometria Proiettiva e Descrittiva dal 1927 al 1931, Meccanica Applicata alle Costruzioni dal 1926, Costruzioni di Ponti dal 1931 al 1934. Nel 1934 vinse il concorso per la cattedra di Costruzioni Idrauliche. Nel 1938 dovette abband-

nare l'insegnamento ufficiale e la direzione dell'Istituto di Costruzioni Idrauliche a seguito della promulgazione delle leggi razziali<sup>2</sup>. Nel periodo dal 1942 al 1943 insegnò Scienza delle Costruzioni nella Università clandestina di Roma voluta da Guido Castelnuovo per la formazione degli studenti ebrei di Roma. Partecipò attivamente alla resistenza nelle fila del Partito d'Azione, che contribuì a fondare a Bologna e ne divenne uno dei responsabili. Nel dopoguerra è stato tra i fondatori dell'Istituto Storico Provinciale della Resistenza in Bologna e ne è stato il primo Presidente. Ha pubblicato un libro sulle sue esperienze come ebreo epurato: *Diario della guerra che non ho combattuto. Un italiano ebreo tra persecuzione e Resistenza*, a cura di Michele Scarfatti, Aska Editore, Firenze, 2014<sup>3</sup>.

Dopo la caduta del fascismo riprese l'insegnamento a Bologna come soprannumerario perché la cattedra di Costruzioni Idrauliche era stata assegnata a Giuseppe Evangekesti, già suo assistente; nel 1946; dopo la morte di Puppini, passò alla Cattedra di Idraulica ed assunse la direzione dell'Istituto di Idraulica, che mantenne fino al collocamento a riposo nel 1973. Dal 1949 al 1952 insegnò anche Meccanica Superiore alla Facoltà di Scienze. Dal 1962 al 1968 fu Prorettore Vicario dell'Università di Bologna e dal 1965 al 1968 Preside della Facoltà di Ingegneria.

Supino ricevette molti riconoscimenti. Oltre ad essere Socio Corrispondente dal 1957 e Socio Nazionale dal 1968 dell'Accademia del Lincei, era membro dell'Accademia delle Scienze di Bologna e di quella di Torino, nonché della Accademia dei Georgofili di Firenze. Fu insignito del titolo di *Dottore honoris causa* della Facoltà di Ingegneria Civile del Politecnico di Monaco di Baviera. Fu tra i fondatori della Unione Matematica Italiana. Nel 1974 venne insignito dell'Archiginnasio d'oro da parte del Comune di Bologna. Fu anche membro esperto del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, del Consiglio Superiore di Sanità e del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione<sup>4</sup>.

**Giuseppe Evangelisti** (1903-1981) è stato Socio Corrispondente dell'Accademia dei Lincei dal 1958 e Socio Nazionale dal 1968, Socio Nazionale dell'Accademia di Agricoltura, Socio Benedettino dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, Socio Corrispondente dell'Istituto Lombardo di Scienze e Lettere e dell'Académie des Sciences di Tolosa, membro onorario dell'Institut Belge de Régulation et d'Automation e della Association Suisse pour l'Automation; mem-

<sup>2</sup> D. Zanobetti: *Giulio Supino e Emanuele Foà*, in D. Mirri, S. Arieti (a cura di), *La cattedra negata. Dal giuramento di fedeltà al fascismo alle leggi razziali nell'Università di Bologna*, Clueb, Bologna, 2002.

<sup>3</sup> Il diario che Giulio Supino appuntò su taccuini nel 1939-1940 e nel 1943-45 (per il periodo intermedio sono conservati fogli sparsi) contiene molte storie, da lui vissute o osservate: la seconda guerra mondiale, la persecuzione antiebraica, l'antifascismo e poi la Resistenza, sempre nelle fila del Partito d'Azione, la partecipazione alla vita sociale, lo studio, la rete amicale, e non ultima la famiglia. Supino dettagliò e annotò tutto questo, giorno dopo giorno, sì che oggi siamo in grado di seguire gran parte di ciò che attirava la sua attenzione o caratterizzava la sua vita. Si tratta di una testimonianza unica e per molti aspetti eccezionale (dalla prefazione del testo citato: G. Supino, *Diario della guerra che non ho combattuto*).

<sup>4</sup> Rif. *Enciclopedia Wikipedia*.

bro del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione (1945-1954), del Consiglio Superiore di Sanità (1964-1969) e dell'Executive Council della International Federation of Automatic Control (1957-1961); fondatore e direttore del Centro di Calcolo e Servomeccanismi della Facoltà di Ingegneria di Bologna dal 1957-1969; membro del Comitato Scientifico del Centro di Calcolo Interuniversitario dell'Italia Nord-Occidentale. Presso il Consiglio Nazionale delle Ricerche ha ricoperto le seguenti cariche: Presidente del Comitato Scientifico del Laboratorio per la Dinamica delle Grandi Masse a Venezia; membro della Commissione per l'Automazione; membro della Commissione per i Calcolatori Elettronici; membro della Commissione per la protezione della Natura. Venne chiamato a far parte del gruppo che nel 1956 fondò l'IFAC (International Federation of Automatic Control), che è tuttora il più importante organismo internazionale che promuove iniziative e congressi nell'ambito dell'Automatica. Ha ottenuto la Medaglia d'oro per i Benemeriti della Scuola, della Cultura e dell'Arte (1966); il Premio "Jona" dell'Associazione Elettrotecnica Italiana (1953); i Premi "Bologna" e "Sacchetti" (1968) del Comune di Bologna; la nomina a *Dottor Ingegnere honoris causa* da parte della Technische Universitaet di Monaco di Baviera. È stato assieme a Lepschy e Ruberti tra i fondatori della disciplina dei Controlli Automatici in Italia.

**Scipione Treves** (1900-1991) era membro del Consiglio Superiore Tecnico delle Telecomunicazioni, membro del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Presidente della Commissione Onde Convogliate del Comitato Elettrotecnico Italiano.

**Ernesto Stagni** (1914-2010) è stato Presidente della Camera di Commercio di Bologna dal 1964 al 1976, poi Presidente regionale di Unioncamere dal 1965 al 1968, quindi Presidente dell'Unione italiana delle Camere di Commercio dal 1967 al 1973, e Consigliere di Amministrazione delle FS dal 1963 al 1969.

**Dino Zanobetti** (1919) aderì al movimento antifascista di Giustizia e Libertà a partire dal 1935. Nel 1943 entrò a far parte del Corpo Volontari della Libertà come membro della Brigata della Città di Bologna del Movimento di Giustizia e Libertà. Nel 1945 venne nominato dal CLNAI Commissario Governativo della Ducati, di cui era capo dell'ufficio tecnico. Dopo un mese venne fatto decadere dal Colonnello americano Tomas, nuovo Governatore di Bologna. Prestò servizio nel corpo del Genio Civile nell'ufficio riparazioni danni di guerra fino al 1948. Dal 1959 al 1966 fu Direttore della Divisione di Ingegneria dell'Unesco a Parigi. Nel frattempo manteneva l'incarico di insegnamento in Impianti Elettrici nella Facoltà di Ingegneria di Bologna. È Socio Benedettino dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna

**Stefano Basile** (1904-1994) è stato Socio Benedettino dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, Socio Corrispondente dell'Accademia delle Scienze, Lettere ed Arti di Modena, Socio Nazionale dell'Accademia Pugliese delle Scienze, Medaglia d'oro dei Benemeriti della Scuola, della Cultura e dell'Arte.

**Piero Pozzati** (1922-2015) è stato nominato nel 1977 “Benemerito della Scuola, della Cultura e dell’Arte” dal Ministero della Pubblica Istruzione. Nel 1981 è diventato Accademico Benedettino della Accademia delle Scienze dell’Istituto di Bologna e dal 1995 è stato anche Accademico corrispondente della “Academia Nacional de Ingeniería” dell’Argentina. Dal novembre 1992 al gennaio 1995 ha ricoperto l’incarico di Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. È stato membro di Commissioni CNR per le normative sulle costruzioni. Nel 2009 l’AICAP (Associazione Italiana di Calcestruzzo Armato e Precompresso) gli ha assegnato la Medaglia di Socio Onorario.

**Filippo Ciampolini** (1926-2016) si è dedicato per molti anni alle tecniche di didattica innovative, ricoprendo anche ruoli istituzionali a livello regionale e nazionale. In particolare, a partire dagli anni Settanta Ciampolini ha svolto attività di ricerca anche sull’innovazione didattica, sperimentando e sviluppando metodologie originali per l’insegnamento. Fra queste, la cosiddetta “Didattica Breve”<sup>5</sup> ha trovato largo impiego per il miglioramento dell’efficienza dell’insegnamento e per il recupero scolastico nei diversi livelli di formazione. Questa metodologia didattica lo metteva in grado di insegnare i contenuti fondamentali delle diverse discipline in modo sintetico ed efficace, riducendo sensibilmente il tempo di insegnamento e di apprendimento. Ha sperimentato questo metodo partendo dalla sua materia (l’elettrotecnica) per poi estendere la sperimentazione a molte delle discipline alla base dell’ingegneria: analisi, fisica, meccanica razionale, fisica tecnica, scienza delle costruzioni, meccanica applicata ecc. Dei risultati di questi esperimenti hanno beneficiato tanti studenti, sia delle scuole superiori (in particolare, nei corsi per maturandi che tenne per diversi anni presso alcuni licei di Bologna), sia universitari, ai quali Ciampolini ha prestato il proprio aiuto in forma totalmente gratuita, proprio perché vedeva queste lezioni come “esperimenti” per verificare sul campo l’efficacia del suo metodo.

Ciampolini ha pubblicato diversi volumi sui temi della ricerca didattica, ed è stato responsabile di numerosi progetti nazionali e regionali. Per queste competenze, ha ricoperto dal 1990 al 1997 l’incarico di Presidente dell’IRRSAE (Istituto Regionale Ricerca Sperimentazione Aggiornamenti Educativi, diventato successivamente IRRE) dell’Emilia-Romagna ed è stato Presidente del gruppo di ricerca di tutti gli IRRSAE nazionali. Ha fatto parte anche di alcune commissioni ministeriali (MIUR) impegnate su temi della didattica nella scuola.

Tra il 1988 e il 1991 ha svolto diversi periodi di insegnamento e ricerca in Sud America, nell’ambito di un progetto di cooperazione internazionale, presso la “Universidad de Cuenca” in Ecuador, dove ha potuto sperimentare sul campo la didattica breve nei corsi universitari, per la formazione dei docenti e il miglioramento dell’efficacia didattica.

Inoltre, si è attivamente impegnato anche sul tema del raccordo scuola-Università, animando gruppi di docenti delle scuole medie superiori e spendendosi per-

---

<sup>5</sup> F. Ciampolini, *La didattica breve*, Il Mulino, Bologna, 1993.

sonalmente nell'insegnamento e nella divulgazione. A partire dalle fine degli anni Settanta, intere generazioni di studenti delle scuole medie superiori bolognesi hanno partecipato agli interventi di preparazione alla maturità e di raccordo verso le facoltà tecnico-scientifiche organizzati e coordinati da Ciampolini; in molti casi questi corsi hanno dato la possibilità ai ragazzi di scoprire la propria "vocazione" verso gli studi scientifici.

**Enzo Belardinelli** (1930-2002) è stato tra i fondatori della Bioingegneria italiana. Nel 1986 ha ricevuto dal Presidente del Consiglio il diploma di prima classe con Medaglia d'oro per i Benemeriti della Scienza e della Cultura.

**Ercole De Castro** (1928-1984) è stato Socio Nazionale dell'Accademia dei Lincei a partire dal 1981 e nello stesso anno gli fu conferita dal Presidente della Repubblica la Medaglia d'oro di Benemerito della Scuola, della Cultura e dell'Arte.

**Vito Antonio Monaco** (1932) dal 1993 al 1999 è stato membro del Consiglio di Presidenza e successivamente Presidente del Comitato di Ingegneria e Architettura del CNR. Nel 1996 ha ricevuto il titolo di *Dottore honoris causa* all'Università di Reims. Nel 1999 è stato nominato Benemerito della Scienza e della Cultura: diploma con Medaglia d'oro conferita dal Capo dello Stato.

**Pier Ugo Calzolari** (1938-2012) è stato Rettore dell'Università di Bologna dal 2000 al 2009. Ha ricevuto dall'Università di Glasgow la laurea ad honorem in Legge, e altre lauree ad honorem dalle Università di San Pietroburgo e di Montréal. È stato membro del Consiglio Scientifico del Centro Internazionale di Scienze e Alta Tecnologia dell'organizzazione delle Nazioni Unite UNIDO, ed è stato Presidente del Consiglio Scientifico dell'Istituto Materiali Speciali per l'Elettronica e Magnetismo del CNR di Parma. Il Consiglio Comunale di Bologna gli ha assegnato alla memoria il Premio Archiginnasio d'oro.

**Alessandro Orlandi** (1927) è stato Consigliere di Amministrazione delle FS dal 1973 al 1976.

**Mario Rinaldi** (1936) nei due trienni 2011-2013 e 2013-2016 è stato Presidente Generale della Associazione Italiana per l'Elettrotecnica, l'Elettronica, l'Informatica e le Telecomunicazioni (AEIT). È stato membro del Comitato Nazionale per le Scienze di Ingegneria ed Architettura del CNR nei quadrienni 1976-80 e 1994-98. È stato Prorettore dell'Università di Bologna dal 1985 al 1996. È stato Presidente del Centro di Calcolo Elettronico Interuniversitario CINECA dal 1994 al gennaio 2011.

**Leonardo Marchetti** (1940) è stato Presidente del Consiglio Comunale di Bologna dal 1999 al 2004 durante la giunta Guazzaloca. Fu Preside della Facoltà di Ingegneria dal 1983 al 1989.

**Enrico Lorenzini** (1940) è stato Consigliere Comunale di Bologna dal 1970 al 1990 e Consigliere Provinciale di Bologna dal 1990 al 1995. È stato Preside della Facoltà di Ingegneria dal 1989 al 1995.

**Carlo Monti** (1940) è stato Consigliere Provinciale di Bologna dal 1985 al 1995.

**Giorgio Baccarani** (1943) è membro benedettino dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna. Nell'anno 2004 è stato insignito dal Presidente della Repubblica della onorificenza di "Benemerito della scuola, della cultura e dell'arte".

**Gabriele Falciasecca** (1946) dal 1997 è Presidente della Fondazione Guglielmo Marconi. Dal 2001 al 2007 è stato nominato Presidente dell'ASTER, l'Agenzia per lo Sviluppo e il Trasferimento Tecnologico della Regione Emilia-Romagna. Dal 2008 al 2013 è stato inoltre Presidente di Lepida SpA che rappresenta lo strumento operativo promosso dalla Regione Emilia-Romagna per la pianificazione, lo sviluppo e la gestione delle infrastrutture di Telecomunicazione di interesse pubblico della Regione, nonché per l'erogazione dei servizi su tali infrastrutture.

**Tommaso Antonio Ruggeri** (1947) è stato eletto all'Accademia dei Lincei nel 1999 ed è Socio Nazionale dal 2016. È Presidente del Comitato Scientifico dell'Istituto Nazionale di Alta Matematica.

**Ezio Mesini** (1956) è Presidente del Comitato nazionale per la Sicurezza delle Operazioni a Mare (nomina del Presidente del Consiglio dei Ministri). È stato Presidente della Scuola di Ingegneria e Architettura di Bologna dal 2015 al 2018. Nel 2018 è stato insignito dal Presidente della Repubblica del titolo di Commendatore all'Ordine al Merito della Repubblica Italiana.

## 6. LA LEGISLAZIONE UNIVERSITARIA

*Paolo Gianni*

(con aggiunte di *Domenico Mirri e Paolo Pupillo*)

Chi fosse interessato ad una accurata descrizione della storia della nostra Università nel secolo appena trascorso può fare riferimento a due scritti di G. Capano<sup>1</sup> e G. Luzzatto<sup>2</sup>.

L'università italiana del periodo successivo alla seconda guerra mondiale era quella ereditata dal periodo fascista. Essa era caratterizzata da:

- solo due figure di docenti di ruolo: professori ordinari (PO) e assistenti (Ass);
- una pluralità di figure non di ruolo: assistenti incaricati, assistenti volontari, professori incaricati e borsisti vari;
- il personale (escluso quello della amministrazione centrale) era incardinato negli istituti, a loro volta facenti parte delle Facoltà. Gli istituti erano mono-cattedra, cioè praticamente ogni professore ordinario aveva il proprio istituto, di cui era il direttore; il direttore godeva di privilegi e *fringe benefits*, non ultima la possibilità – almeno in alcune discipline – di risiedere con la famiglia nell'istituto in un appartamento ammobiliato e sostenuto dall'Università;
- facevano parte dei Consigli di Facoltà i soli professori ordinari e straordinari, che avevano titolo a eleggere il Preside di Facoltà e il Rettore;
- gli organi di governo erano il Rettore, il Senato Accademico (SA, costituito dai Presidi di Facoltà) e il Consiglio di Amministrazione (CdA). I rappresentanti dei docenti in CdA, oltre a Rettore e pro-Rettore, erano tre, scelti dai Presidi;
- i nuovi posti di ruolo venivano richiesti dal Rettore, o anche dai singoli PO, direttamente al Ministero dell'Istruzione. Era importantissimo il rapporto diretto dei singoli PO col Direttore dell'Istruzione Universitaria del Ministero P.I.;
- i concorsi a PO erano gestiti a livello nazionale, con commissioni elette dai PO per ogni singolo settore concorsuale; i concorsi ad Ass erano invece gestiti all'interno degli istituti dai rispettivi Direttori;
- era garantita una certa mobilità tra sedi diverse. I vincitori dei concorsi a PO infatti venivano normalmente chiamati da altre sedi (di solito periferiche) e potevano essere chiamati dalla sede di origine soltanto dopo un triennio.

A parte la gestione all'interno degli istituti, dove il Direttore faceva quello che voleva, fondamentalmente non esisteva alcuna autonomia vuoi all'interno degli atenei che nei rapporti tra questi e il Ministero. Praticamente non c'era democrazia: decideva tutto la sola categoria dei PO.

---

<sup>1</sup> G. Capano, *La politica universitaria*, Il Mulino, 1998.

<sup>2</sup> G. Luzzatto, *I problemi universitari nelle prime otto legislature repubblicane*, in *La Scuola Italiana dal 1945 al 1983*, a cura di M. Gattullo e A. Visalberghi, La Nuova Italia, 1986.



Negli anni 1955-1970 l'aumento della popolazione studentesca e il parallelo aumento del numero di insegnamenti di molti corsi di laurea (vedi ad es. la promozione a corsi autonomi di molte esercitazioni pratiche di laboratorio nelle facoltà scientifiche) spinse gli atenei a creare un numero sempre crescente di "professori incaricati" (chiamati "esterni" quando non avevano una contemporanea posizione di ruolo nell'università e "interni" se l'incarico era attribuito a un PO o un Ass). Il numero così crescente di figure docenti universitarie non di ruolo, prive di qualsivoglia potere o anche semplice rappresentanza, accrebbe il senso di rivolta dei cosiddetti "docenti subalterni" che cominciarono a coordinarsi in associazioni categoriali e a chiedere con forza una riforma globale dell'istituzione universitaria. Nacquero così l'Unione Nazionale degli Assistenti Universitari (UNAU) e l'Associazione Nazionale dei Professori Universitari Incaricati (ANPUI) che dibattevano al loro interno significative proposte di rinnovamento dell'Università e organizzavano scioperi e azioni varie di protesta; esse si riunirono nell'ANRIS insieme ad alcune associazioni locali come quella di Firenze. L'ANRIS fu precorritrice del CNU che si formò in seguito alla confluenza di un minore sindacato "democratico" di ordinari (con Giorgio Spini, Brunello Vigezzi e Camillo Dejak e il futuro Rettore di Pisa Bruno Guerrini fra gli altri), che si era staccato dal sindacato maggiore USPUR, tuttora esistente. Al tempo stesso i docenti "di sinistra" (con alcuni professori da poco nominati nel ruolo di "aggregati", come Paolo Gazzi e Mario Gattullo a Bologna) si staccavano formando una associazione parasindacale chiamata ANDS (Ass. Naz. Docenti Subalterni: una dichiarata "subalternità" rispetto ai baroni ovviamente, ma con riferimento al PCI al quale erano politicamente vicini (e/o ai comunisti eretici del Manifesto); tutti molto polemici verso i "moderati" dell'ANRIS. Insomma il fronte dei docenti "subalterni" era piuttosto diviso. In seguito, ma siamo alle soglie degli anni Ottanta, l'ANDS entrò ufficialmente nella CGIL. Simili tentazioni erano corse anche fra le sinistre interne al CNU, che su proposta di Giorgio Spini valutarono una confluenza nel sindacato "unitario" confederale, sia pure a certe condizioni, ma furono bloccate al congresso di Venezia dall'alleanza della maggioranza delle sedi CNU che optarono per l'autonomia del corpo docente e formarono una nuova maggioranza riformista. Fu in quella occasione che emersero personalità come Paolo Blasi, Leontino Battistin, Francesco Faranda ed Enrico Decleva, capaci di dirigere il CNU in quegli anni decisivi. Come accadeva in quegli anni in tutti i campi, la discussione sulla organizzazione della società italiana era occasione per un ampio dibattito da parte di ampi strati della popolazione, organizzata in associazioni e partiti tutti molto attivi.

Intanto era cominciata l'azione di protesta degli studenti, culminata nel famoso '68. Le forze politiche avevano tentato di dare una risposta a queste esigenze di rinnovamento. Un documento fondamentale fu la relazione, nel 1963, della Commissione parlamentare presieduta dall'On. Ermini. Tale relazione conteneva infatti moltissime delle idee che avrebbero avvicinato l'università italiana a quelle degli altri paesi dell'Europa occidentale: tripartizione dei titoli di studio (diploma, laurea e dottorato di ricerca), liberalizzazione degli accessi e piani di studio individuali, avvio di una certa autonomia dal Ministero dell'Istruzione, superamento degli istituti monocattedra

con creazione di istituti policattedra e dipartimenti, introduzione del pieno impegno per i docenti, la creazione del Consiglio Universitario Nazionale come organo elettivo di rappresentanza. Si manifestò comunque un certo dissenso da tale relazione non solo da parte dei partiti di opposizione ma anche all'interno della stessa Democrazia Cristiana. Fu così che il governo presentò il conseguente disegno di legge soltanto due anni dopo (il DdL 2314, la famosa legge *due pi greco*), che comunque recepiva gran parte dei suggerimenti della Commissione Ermini. Tale DdL fu dapprima supportato dalle associazioni dei docenti e degli studenti ma, successivamente, ostacolato anche da queste perché si pretendeva una *ope legis* per l'ingresso in ruolo (i docenti) e maggiori finanziamenti per il Diritto allo Studio (gli studenti). Di fatto si arrivò alla fine della legislatura, nel 1968, con un nulla di fatto.

Ma le esigenze riformiste non si spengono e nella stessa primavera del 1968 il nuovo Ministro P.I. Ferrari Aggradi presenta in Senato il DdL 612. Il testo del Ministro viene radicalmente modificato dalla Commissione P.I. e alla fine include contenuti veramente innovativi definendo l'Università come sede primaria della ricerca scientifica, attribuendole una ampia autonomia, con un ruolo autorevole del CUN<sup>3</sup>, abolendo le Facoltà e introducendo il ruolo di docente unico a tempo pieno. Purtroppo la forte opposizione parlamentare di buona parte della Democrazia Cristiana allungò parecchio i tempi di discussione e si arrivò alla fine della legislatura con un nulla di fatto.

Visto il fallimento di progetti di riforma generale, negli anni immediatamente successivi si pose mano a provvedimenti di carattere parziale. Sono di questo periodo la legge Codignola (L. 910/69) che estese la possibilità di iscriversi all'Università ai diplomati degli istituti tecnici e i famosi "provvedimenti urgenti" (D.L. 580/73) che si occuparono prevalentemente dello stato giuridico e della immissione di nuovi docenti.

A partire dagli anni settanta aumenta progressivamente il numero delle Università per effetto di iniziative sia di molti parlamentari per creare un ateneo nel loro collegio, sia di potenti raggruppamenti disciplinari per ampliare il numero dei loro docenti. Tutto questo senza che il Ministero tenesse in alcun modo presente sia le esigenze effettive di nuove Università, sia le dimensioni che deve avere una Università affinché si possa considerare tale (non è una scuola secondaria anche perché è richiesto a ciascun docente universitario di fare attività di ricerca e di essere disponibile anche ad assumere un ruolo nella gestione), sia la possibilità da parte dello Stato di ampliare il finanziamento per l'Università. Ad esempio, in Emilia-Romagna, Toscana, Marche esisteva un'unica Facoltà di Ingegneria, quella di Bologna, e tre bienni propedeutici, a Modena, Ferrara, Firenze. Nacquero in Emilia nuove Facoltà di Ingegneria a Modena-Reggio, Parma e Ferrara. L'Università di Bologna creò in Romagna sedi

---

<sup>3</sup> È curioso notare che l'art. 51 del Ddl 612 intendeva creare il Consiglio Nazionale Universitario (CNU), ma quando questo fu effettivamente introdotto (L. 31/1979) venne chiamato Consiglio Universitario Nazionale (CUN) per non confonderlo con la associazione cultural-sindacale Comitato Nazionale Universitario, nata nel 1970.

distaccate a Forlì, Cesena, Rimini e Ravenna e anche in cittadine minori, dando al loro insieme il pomposo nome di Campus Universitario.

Per effetto sia dell'aumento dei corsi nelle sedi tradizionali sia delle nuove Università si ampliò notevolmente il numero di professori incaricati, prima impegnando tutti gli assistenti e poi utilizzando anche persone esterne ritenute idonee per un insegnamento universitario ("incaricati esterni"), spesso per un impegno non superiore a due mezzette giornaliere in due giorni successivi, ma talvolta semplicemente in luogo di un posto di ruolo. In molte delle nuove Facoltà non esisteva alcun professore di ruolo ed esse erano gestite dal cosiddetto Comitato Tecnico, costituito da tre docenti di ruolo provenienti da altre Università. Di fatto erano i docenti incaricati della nuova sede che gestivano la Facoltà. Poiché erano tutti allo stesso livello e provenivano da diverse Università (ad esempio nella Facoltà di Ingegneria di Ancona c'erano docenti provenienti da Milano, Bologna, Roma), si creò tra loro un clima di profonda collaborazione ed anche di curiosità per le diverse esperienze da cui provenivano; il loro modo di gestire la Facoltà era tipicamente una forma di democrazia diretta.

La stagione riformista si conclude con un provvedimento di urgenza, relatore il Ministro Malfatti, denominato Misure Urgenti per l'Università, il cui contenuto si caratterizza soprattutto per l'attenzione riposta sulla docenza universitaria. Vengono stabilizzati i professori incaricati con tre anni di anzianità, con annesso diritto a partecipare ai Consigli di Facoltà; vengono istituiti contratti quadriennali come sbocco per i "precari" di allora e assegni di formazione come nuova forma di reclutamento; vengono infine previste 3 tornate concorsuali di 2.500 posti di professore ordinario ciascuna, di cui però in pratica fu bandita soltanto la prima. Viene infine abolito il ruolo dei "professori aggregati" inquadrando gli stessi a domanda nel ruolo dei professori ordinari: unico caso di vera *ope legis*. Non si faceva cenno degli altri problemi quali i dipartimenti, la titolarità delle cattedre, il dottorato di ricerca e la sperimentazione didattica. Ma soprattutto non c'era la minima attenzione verso i problemi degli studenti, i grandi assenti del progetto riformista.

A fine primavera del 1979 ha inizio la VIII legislatura. Il nuovo Ministro dell'Istruzione è il liberale Valitutti. La sensazione generale è che non ci sono più le condizioni per ritentare una riforma complessiva dell'Università ma alcuni problemi, in primis l'assetto della docenza, non sono più dilazionabili. Il CNU suggerì così di riprendere alcuni contenuti del primo decreto Pedini proponendo la nuova fascia di docenza del professore associato (PA), con le stesse funzioni didattiche e di ricerca del professore ordinario (PO), e una "terza fascia" come ruolo scientifico e di formazione alla docenza. Alla fascia dei professori associati avrebbero potuto accedere incaricati ed assistenti e al ruolo di ricercatore contrattisti ed assegnisti, tutti però a patto di superare un vaglio a numero aperto. Il ministro Valitutti colse l'attimo propizio e propose una legge-delega contenente la creazione di queste nuove figure, cui accedere tramite un giudizio di idoneità, e l'introduzione del tempo pieno, seppure opzionale. Si assumeva implicitamente che tutte le questioni importanti, da quella degli ordinamenti didattici alle nuove strutture,

programmazione dello sviluppo e ai problemi del diritto allo studio avrebbero dovuto trovare sistemazione in provvedimenti successivi. Nella discussione in Parlamenti e partiti socialista e comunista insistono per arricchire il testo di ulteriori contenuti e riescono a far passare l'idea di una sperimentazione di innovazioni strutturali. Per quanto riguarda la terza fascia passa l'idea del ruolo del "ricercatore", in analogia con i ricercatori degli Enti Pubblici di Ricerca, la cui completa connotazione finale viene però rinviata successivamente ad un periodo di sperimentazione di 4 anni. La legge delega viene approvata nel febbraio 1979.

Un fattore positivo di questo periodo è rappresentato dalla presenza di validi referenti politici: gli Uffici Scuola dei partiti. In effetti questi uffici contribuivano efficacemente a determinare gli indirizzi dei partiti in materia di istruzione e, soprattutto, davano la garanzia di una certa continuità di linea politica. È attraverso i contatti con i responsabili di questi uffici che i sindacati e le associazioni in ambito universitario hanno potuto influire sugli indirizzi dei disegni di legge in discussione in parlamento. E proprio grazie a questa collaborazione (e soprattutto alla spinta fornita dal Comitato Nazionale Universitario, CNU, e dai settori universitari dei sindacati confederali) che si pervenne alla legge 28 e al conseguente DPR 382 del 1980. Di fatto questo DPR si preoccupò principalmente di stato giuridico, creando le tre fasce di docenza dei Professori Ordinari, Associati e dei Ricercatori (con fissazione dei relativi obblighi legati alla scelta tra tempo pieno e tempo definito), innovò parecchio nell'ambito dell'offerta formativa attraverso la istituzione del dottorato di ricerca e anche nell'ambito dell'autonomia del sistema universitario permettendo agli atenei di istituire in via sperimentale e facoltativa i dipartimenti. È per questo che, a parere di chi scrive, il DPR 382/80 può a buon diritto essere considerata una vera riforma universitaria.

La legge 382/80 prevedeva due tornate iniziali di concorso a professore associato per soli titoli riservate ai professori incaricati stabilizzati e agli assistenti; per effetto di questa legge si ampliò così di fatto in tutte le Università il Consiglio di ciascuna Facoltà, al quale poteva partecipare anche una rappresentanza dei ricercatori, realizzando in tal modo una forma di democrazia diretta nella gestione della Facoltà. Purtroppo il numero di docenti che partecipavano ai Consigli di Facoltà si è ridotto nel tempo vanificando di fatto questa grande conquista di democrazia che la legge aveva consentito. Questa legge prevedeva che anche un semplice ricercatore potesse diventare responsabile di un progetto di ricerca se lo meritava per la sua attività di ricerca. Questo determinò, specialmente nelle Facoltà scientifiche, un forte aumento dell'attività di ricerca stimolando la partecipazione ai congressi internazionali di maggior rilievo scientifico e favorendo l'impegno a pubblicare i risultati delle ricerche sulle riviste più prestigiose, e non più soltanto in quelle italiane. L'orizzonte culturale della maggior parte delle persone che operavano all'Università diventava così internazionale, consentendo a loro di conoscere tutti i principali ricercatori nel mondo e di capire come operavano, ed inoltre di essere consapevoli dei progressi nelle loro discipline che si manifestavano nel tempo. L'impegno per la ricerca nella Università crebbe in maniera straordinaria per effetto di questa legge.

Furono di rilievo anche il capitolo riservato alla ricerca scientifica che introduceva: il dottorato di ricerca che finalmente rappresentava un canale qualificato di formazione alla ricerca cui attingere – non solo per la docenza universitaria ma anche per i ricercatori degli Enti Pubblici e delle imprese; la predisposizione dei fondi per la ricerca, suddivisi per progetti locali e di interesse nazionale (i famosi 60% e 40%); la sperimentazione organizzativa e didattica, che andava dalle nuove strutture dipartimentali, più adatte al coordinamento della attività di ricerca, alla previsione di nuove modalità didattiche e a una maggiore flessibilità nell'attribuire incarichi di insegnamento, anche sostitutivi di quello di titolarità. Ci sembra che il maggior pregio sia stato quello di cominciare ad abituare gli universitari ai processi di autodeterminazione, un primo allenamento per assaggiare la bellezza (e le difficoltà) dell'esercizio della autonomia. Dirà il Presidente del CNU Francesco Faranda al Congresso di Fiuggi del 1981: «La legge 28 e il DPR 382, non mi stanco di ripetere, non rappresentano la riforma, ma piuttosto indicano il percorso per perseguirla nel tempo».

Seguì un periodo di forte spinta alla sperimentazione delle nuove strutture e dei nuovi organi rappresentativi. E anche se per alcuni anni molti docenti furono impegnati nelle procedure di idoneità per l'ingresso in ruolo, l'entusiasmo di potersi cimentare democraticamente negli spazi di autonomia concessi, accoppiato alla tregua delle rivendicazioni sindacali, garantirono un lungo periodo di tranquillità che permise un buon impegno dei docenti nella loro attività primaria di ricerca scientifica.

Purtroppo però questo atteggiamento portò anche parallelamente ad una minore spinta verso quelle riforme che erano state trascurate dal DPR 382, come quella degli ordinamenti didattici, del diritto allo studio e di una più completa autonomia dell'università come istituzione. Bisognò attendere alcuni anni per arrivare, per iniziativa del Ministro Ruberti, alla legge 168/89 che istituì il Ministero dell'Università e della Ricerca scientifica e tecnologica (MURST) e che, pur rimandando a una riforma generale dell'Università (mai arrivata!), riconobbe di fatto l'autonomia statutaria, amministrativa, finanziaria e didattica dell'Università. E poco tempo dopo vennero approvate la L. 341/90 sugli ordinamenti didattici, che affiancava a Laurea e Dottorato il Diploma di Laurea, attribuisce una maggiore autonomia in campo didattico, attribuendo ai "regolamenti didattici di ateneo" la responsabilità dei corsi di diploma, introdotti per dare una risposta alle richieste di una formazione più vicina al mondo del lavoro. I docenti vengono associati non più a singoli corsi di insegnamento ma a settori scientifico-disciplinari (SSD) che raggruppano più materie affini: ciò permetterà una maggiore flessibilità nell'attribuzione degli incarichi didattici. Con la L. 390/91 vengono delegate alle Regioni e alle istituzioni universitarie l'attuazione della politica del diritto allo studio.

Il merito principale del Ministro Ruberti è stato quello di innescare il processo autonomistico, trasferendo dal centro ai singoli atenei poteri decisionali legati alla offerta didattica, alle politiche della ricerca, allo stesso reclutamento dei docenti. Si favoriva così quella positiva differenziazione degli atenei che, oltre alle classiche funzioni di promuovere la ricerca accademica e formare le classi dirigenti, si trova-

no a dover dare risposte differenziate alle nuove richieste esterne di una più estesa formazione superiore, anche di natura permanente, e di una ricerca più applicata a sostegno delle industrie e delle problematiche sociali sollevate dagli enti territoriali. In realtà la legge 168/1989 non era la vera legge sulla autonomia dell'Università che aveva in mente il Ministro, il quale avrebbe voluto definire successivamente una legge di attuazione dei principi di autonomia che fissasse con poche e chiare norme i limiti entro i quali si potevano muovere i singoli atenei. E, in attesa di questa legge, la 168 prevedeva che gli atenei dovessero sottoporre i propri statuti alle norme nazionali allora in vigore (art. 16 c. 1). Ma probabilmente Ruberti si rendeva conto delle difficoltà di far approvare una simile legge e così, al comma 2 dello stesso art. 16, si prevedeva che «Decorso comunque un anno dalla data di entrata in vigore della presente legge, in mancanza della legge di attuazione dei principi di autonomia, gli statuti delle università sono emanati con decreto del rettore nel rispetto delle norme che regolano il conferimento del valore legale ai titoli di studio e dei principi di autonomia di cui all'articolo 6, secondo le procedure e le modalità ivi previste». Allo scadere di tale tempo molti atenei hanno avviato con entusiasmo l'iter della approvazione degli Statuti tramite i famosi "Senati Accademici Integrati" (SAI).

In realtà è mancata una riflessione sul come coniugare autonomia della struttura universitaria, tipica dei Paesi che hanno prevalentemente Università private come gli Stati Uniti e l'Inghilterra, con la esigenza di mantenere in vita una Università statale, ossia capace di realizzare una uniformità in tutto il territorio della formazione universitaria unita alla possibilità per tutti i giovani di accedere ad essa grazie ai costi di istruzione contenuti. È quello che si può chiamare il Welfare per il diritto allo studio.

Valitutti e Ruberti sono stati fra quei pochi ministri della Pubblica Istruzione che erano nello stesso tempo persone di notevole rilievo sul piano culturale nel mondo accademico e molto impegnate sul piano politico, il primo nel Partito Liberale e il secondo nel Partito Socialista. Ruberti è stato, assieme a Lepschy di Padova ed Evangelisti di Bologna, tra i fondatori della disciplina dei Controlli Automatici in Italia.

Nell'ultimo decennio del secolo scorso si assiste ad una generale caduta di attenzione nei riguardi dell'Università. Mentre gli universitari sono impegnati nella definizione degli statuti di ateneo, i nostri governanti intervengono sull'istituzione non tramite leggi ad essa specificamente dedicate bensì, sporadicamente, nell'ambito di leggi generali dello Stato, in particolare le leggi finanziarie. Cominciava ad essere evidente che l'obiettivo principale non erano tanto le nuove norme organizzative quanto il controllo della spesa. Riveste una certa importanza soltanto la finanziaria 1994 (L. 537/93) che crea il Fondo di Finanziamento Ordinario (FFO), introducendo tra i criteri per la sua distribuzione i "costi standard per studente" e la valutazione della qualità della ricerca scientifica. Istituisce inoltre l'Osservatorio per la Valutazione del Sistema Universitario e i Nuclei di Valutazione di ateneo. Parte qui l'idea di premiare il merito in ambito universitario che, se giusta in linea di principio, diventerà purtroppo un feticcio controproducente, finendo di fatto con l'accentuare

quelle differenze fra atenei e fra settori scientifici che con tale sistema si credeva di ridurre. Ma su questo torneremo alla fine del capitolo.

Soltanto verso la fine del secolo scorso, con l'avvento dei governi di centrosinistra, cresce l'attenzione verso l'istituzione universitaria e vengono approvate alcune leggi specifiche come la L. 127/97 che modifica la disciplina dei *curricula* didattici, ridefinisce le competenze e la composizione del CUN, affida la disciplina dei Corsi di Laurea, di Diploma e delle Scuole di Specializzazione ai singoli atenei, nell'ambito di criteri generali stabiliti con decreti dal Ministero UR, e la L. 210/98 che modifica il reclutamento dei professori passando dai concorsi nazionali a quelli locali. In pratica diventa compito dei singoli atenei di bandire i concorsi per professore suddivisi per SSD. Le commissioni giudicatrici sono costituite da un membro "interno" (nominato dalla Facoltà che istituisce il posto) e 4 membri "esterni" eletti all'interno del SSD. Esse possono indicare una terna di idonei. Tra questi la facoltà può individuare il vincitore e chiamarlo ad occupare il posto bandito; gli altri due idonei possono esser chiamati, entro un triennio, da qualunque altro ateneo. È in questo periodo (giugno 1999) che il ministro Berlinguer assieme ai colleghi europei firma a Bologna la dichiarazione congiunta su "Lo spazio europeo dell'istruzione superiore", che praticamente conferma la validità del cosiddetto "3+2" e del sistema dei crediti. Infine un decreto ministeriale sull'autonomia didattica (D.M. 509/99) detta i criteri generali per l'ordinamento degli studi, fissa la tipologia dei titoli di studio (la laurea, normalmente di tre anni, e la laurea specialistica, di ulteriori due anni dopo la laurea) e introduce i crediti (CFU). Il corso di laurea ha l'obiettivo di assicurare allo studente un'adeguata padronanza di metodi e contenuti scientifici generali, nonché l'acquisizione di specifiche conoscenze professionali. Il corso di laurea specialistica ha l'obiettivo di fornire allo studente una formazione di livello avanzato per l'esercizio di attività di elevata qualificazione in ambiti specifici.

La introduzione del cosiddetto "3+2" fu giustificata come un adeguamento a quanto avveniva nelle Università europee e come impegno a favorire l'inserimento anticipato nel mondo del lavoro. Non ci si pose però il problema del perché era stato introdotto questo ordinamento negli altri paesi europei, cioè con quale logica erano stati organizzati i piani di studio nel caso del 3+2. La laurea unica che esisteva in Italia forniva allo studente inizialmente l'insieme delle nozioni che permettevano di giungere successivamente ad una conoscenza molto approfondita delle principali discipline che caratterizzavano la Facoltà; il 3+2 negli altri paesi europei si basa invece su un progressivo e graduale incremento delle conoscenze da parte dell'allievo, inizialmente con un particolare rilievo alla parte sperimentale, per poi giungere soltanto nella parte finale ad una completa conoscenza: prima di tutte le nozioni propedeutiche e poi delle discipline che caratterizzano la Facoltà. Salvo casi eccezionali invece in Italia si è ridotto semplicemente a tre anni il tradizionale schema a cinque anni realizzando così la laurea breve e completando successivamente con la laurea specialistica la formazione iniziale.

Quando è stato introdotto il 3+2 in Italia è stata trasferita ad ogni singolo corso di studio la responsabilità di preparare il piano di studio, con limitati vincoli a livello

nazionale. Questo ha portato in alcuni casi ad una ulteriore frammentazione dei corsi di laurea (nella assenza più totale di una direttiva del singolo Consiglio di Facoltà), ad esempio a Bologna la ingegneria meccanica ha mantenuto un solo Corso di laurea mentre quella elettronica ha dato origine a quattro corsi di laurea; inoltre ha reso difficile contrastare la tendenza alla prevaricazione delle discipline di maggiore rilievo per accaparrarsi il più elevato numero di insegnamenti per i loro docenti. Rimane il problema di stabilire quanto deve essere ampia l'autonomia di ogni Corso di Laurea in una Università statale, affinché sia possibile garantire una sufficiente e uniforme preparazione in tutto il territorio nazionale.

All'inizio del nuovo secolo si ravvisa l'opportunità di raccogliere in un testo unico<sup>4</sup> la grande quantità (e dispersione) delle leggi che governano l'istituzione universitaria. Purtroppo il testo della relazione della commissione presieduta da Sabino Cassese non ha mai ricevuto l'approvazione finale. E il nuovo governo Berlusconi preferì rinunciare a tale iniziativa per mettere in cantiere quella che sarà la "Riforma Moratti". Questa riforma (L. 230/2005) fu subito molto contestata: ancora una volta si normava principalmente sullo stato giuridico, senza porsi il problema della valorizzazione della ricerca scientifica. Di fatto la legge aumentava i doveri didattici dei docenti (le famose 120 ore frontali) a costo zero, aboliva l'istituto del fuori-ruolo mandando in pensione tutti i professori a 70 anni, aboliva il doppio regime tempo pieno / tempo definito e modificava le regole dei concorsi istituendo una abilitazione scientifica nazionale (a numero programmato) e successive valutazioni comparative locali per la chiamata degli idonei. La determinazione del governo Berlusconi riuscì a portare in porto la riforma, nonostante le forti proteste degli studenti e delle associazioni dei docenti: doveva essere un vessillo che dimostrava il positivo lavoro del governo anche in questo campo. La legge Moratti comunque si è dimostrata di scarsa utilità per l'istituzione universitaria, anche perché molte sue norme sono rimaste inapplicate per la mancata approvazione dei necessari decreti delegati: ad es. non è stato bandito alcun concorso per l'accesso ai ruoli dei professori con le sue regole.

Il successivo governo di centrosinistra ha alternato alcuni interventi negativi (la finanziaria 2007 pone a carico degli atenei anche l'adeguamento ISTAT degli aumenti stipendiali dei docenti, decisi a Roma) ad altri positivi (blocco della istituzione di nuove università telematiche, limiti ai CFU riconoscibili in convenzione e alla creazione di nuove Facoltà e Corsi di Laurea decentrati, e istituzione della Agenzia Nazionale per la Valutazione dell'Università e la Ricerca, ANVUR).

Il successivo governo Berlusconi prende atto della pratica inapplicabilità della Legge Moratti e, dopo alcuni interventi particolari (proroga, e successiva modifica, delle norme della L. 210/98 per far ripartire i concorsi) decide di iniziare il cammino verso una ulteriore riforma dell'Università. Nel frattempo il paese è oppresso purtroppo da una grave crisi economica che il Ministro dell'Economia cerca di fronteggiare con pesanti penalizzazioni del settore del pubblico impiego. Il famoso Decreto Tremonti (D.L. 78/2010) interviene bloccando, a partire dal 2011, e per due anni

<sup>4</sup> Il vecchio testo unico risale al 1933.



(successivamente prorogati fino a tutto il 2014), praticamente tutti i meccanismi di aumento stipendiale dei dipendenti pubblici, dagli scatti di anzianità automatici, ai contratti e agli stessi adeguamenti ISTAT. Purtroppo i docenti universitari risulteranno quelli trattati peggio, in quanto per essi al blocco temporaneo degli aumenti (prolungato solo per loro fino al 2015!) si è sommato il mancato riconoscimento giuridico delle classi stipendiali maturate durante il blocco, con la conseguenza che alla fine del blocco il loro stipendio rimaneva quello maturato al 2010, come se nel quinquennio 2011-2015 non ci fosse stata prestazione di opera lavorativa. E purtroppo questo danno, a carattere non temporaneo ma perenne, non venne riconosciuto neppure da una successiva sentenza della Corte Costituzionale (n. 310/2013). Con un successivo decreto (D.L. 112/2008) si interviene ancora sull'Università introducendo, tra altre cose, pesanti limiti al turnover del personale: max 20% delle cessazioni nel triennio 2009-2011.

Inizia quindi il suo percorso la legge di riforma voluta dal min. Gelmini, accompagnata da una generale campagna denigratoria dell'istituzione universitaria. Nelle intenzioni del ministro tale riforma doveva diminuire lo strapotere dei "baroni universitari" e garantire una generale valorizzazione del "merito". La legge verrà approvata nel dicembre 2010 (L. 240/2010). I principali contenuti sono: ridefinizione degli organi di governo degli atenei trasferendo tutti i poteri al Consiglio di amministrazione (CdA), in cui entrano obbligatoriamente almeno 3 membri esterni; il Rettore ha un mandato di 6 anni non rinnovabile, designa i membri esterni al CdA e, in generale, vede aumentati i propri poteri; sostituzione della figura del Direttore amministrativo con un Direttore Generale; introduzione di un sistema di contabilità economico-patrimoniale e del bilancio unico di ateneo; riorganizzazione dei dipartimenti, imponendo un minimo di 35 membri tra professori e ricercatori, e conferimento a loro di tutte le competenze scientifiche e didattiche e anche dell'incardimento dei docenti, con parallela cancellazione delle Facoltà; vengono introdotte norme per premiare il merito e l'eccellenza, come la valutazione degli atenei sulla base dei criteri stabiliti dall'ANVUR e parallela erogazione di una quota crescente del FFO agli atenei virtuosi, e istituendo un "fondo per il merito" destinato agli studenti; viene istituita la Abilitazione Scientifica Nazionale (ASN) a numero aperto, differenziata per PA e PO, condizione necessaria per accedere, tramite valutazioni comparative locali, alle posizioni di ruolo attivate dai singoli atenei; viene anticipata la messa ad esaurimento dei ricercatori a tempo indeterminato (RTI), già decisa dalla legge Moratti, e si attiva un nuovo reclutamento tramite i ricercatori a tempo determinato (RTD) con contratti triennali di tipo *a* e *b*: quelli di tipo *b*, che presuppongono una precedente fase *a*, costituiscono una specie di *tenure-track* che dà diritto, qualora in possesso della ASN, ad essere valutati con giudizio locale non comparativo per essere chiamati sui posti di PA; modifica della carriera dei docenti trasformando le classi stipendiali da biennali a triennali e subordinandone la maturazione a valutazioni positive delle attività svolte.

Purtroppo questa legge è ben lungi dal realizzare gli scopi che si erano prefissi i suoi sostenitori: di fatto ha rafforzato i poteri dei "baroni", limitato l'autonomia degli

atenei e delle sue strutture, aumentato gli adempimenti burocratici a tutti i livelli e sottoposto la valutazione degli atenei e delle sue strutture alle obiezionabili regole dell'ANVUR. Oltre a ciò, purtroppo, grava sull'Università il forte defianziamento (contrazione del FFO e dei fondi per la ricerca) patito negli anni della recente crisi economica. E purtroppo ciò aggrava ancora di più la cattiva abitudine dei governi di questo periodo di dedicare a scopi premiali non cifre aggiuntive appositamente stanziare ma frazioni gradatamente crescenti del normale finanziamento delle Università. In tal modo si è avuto un anomalo trasferimento di fondi verso pochi atenei giudicati eccellenti da parte di tutti gli altri atenei, che hanno dovuto rinunciare a fondi indispensabili per portare avanti la normale attività didattico-scientifica e il ricambio del personale.

L'abolizione del ruolo dei ricercatori si deve, come sempre, soprattutto all'idea di risparmiare sul personale universitario (e in pratica di ridurlo) ma forse anche ad altre considerazioni, per lo più peregrine. È vero che in molti Paesi non esistono simili figure intermedie, ed è pure vero che l'idea di Paolo Blasi di ricercatori universitari completamente destinati alla ricerca era poco realistica, ma questa abolizione ha segnato un altro tracollo per la ricerca scientifica italiana e la messa su un lungo lastrico di precariato di migliaia di giovani bravi. Che spesso poi arrivano alla assunzione in seconda fascia in età avanzata avendo titoli straripanti. Quanti ricercatori *b* hanno conseguito idoneità nazionali (troppe tornate d'idoneità, fra l'altro) senza possibilità di chiamata? Molto meglio sarebbe stato introdurre un accesso realmente severo ai posti di ricercatore, con un concorso nazionale e un periodo pluriennale di preruolo prima della conferma. Perché il vero problema è sempre stato il concorso locale, troppo soggetto all'italica prassi delle spintarelle! Ma poi non dobbiamo dimenticare che in una sola notte dei primi anni Settanta il ministro Misasi, democristiano calabrese, distribuì fra i presenti alla festa, e meno fra gli assenti, circa 700 cattedre di professore.

La iniziale trasformazione delle Facoltà in Scuole non è stato soltanto un formale cambiamento di nome ma la trasformaziuione della democrazia diretta dei Consigli di Facoltà nella democrazia delegata dei Consigli di Scuola, in quanto formati soltanto da rappresentanti dei Dipartimenti afferenti alla Scuola. Viene così modificata sostanzialmente una delle caratteristiche distintive della 382/80. La prossima scomparsa delle Scuole trasforma le Università da un insieme di Facoltà, normalmente con una loro precisa e definita caratteristica culturale, in un insieme di Dipartimenti, l'uno completamente indipendente dall'altro anche dal punto di vista culturale. Sarebbe forse opportuno domandarsi se, ad esempio, la Facoltà di Ingegneria non avesse una sua precisa connotazione sul piano culturale che la rendeva diversa dalle altre Facoltà di tipo scientifico-tecnico e che ad essa contribuissero tutti i docenti ad essa afferenti anche nel confronto continuo tra loro.

Nel resto della legislatura e anche nella successiva, quella dei governi Letta, Renzi e Gentiloni, non ci sono provvedimenti di rilievo. Si arriva così alla XVIII legislatura, che parte con il governo della cosiddetta III Repubblica, guidato da Giuseppe Conte. Nel "contratto" firmato dai due partiti che sostengono il governo, Cinquestelle e

Lega, c'è poco sull'Università. E il nuovo Ministro della P.I., professore di Educazione fisica, non ha alcuna esperienza in materia. Staremo a vedere!

### **Considerazioni finali**

A questo punto desideriamo fare alcune considerazioni personali sul nostro sistema universitario e sul suo prevedibile futuro.

La prima è relativa alla acritica enfattizzazione, da parte di molti commentatori, delle classifiche dei migliori atenei del mondo redatte da una pluralità di enti o associazioni internazionali. A parte il fatto che ogni singola classifica andrebbe attentamente giudicata in base ai criteri che l'hanno generata, vogliamo osservare che i risultati raggiunti dagli atenei italiani non vanno assolutamente sottovalutati. Se infatti è vero che in tutte le classifiche internazionali si trovano pochi nostri atenei entro i primi 250 posti nel mondo, è però vero che la presenza di Università italiane di buon livello è migliore rispetto a quella di molti altri paesi quando ci si riferisce alle prime 500, tra le quali troviamo ben 20 atenei del nostro paese (OCSE 2015). È opinione di chi scrive che una delle (poche) caratteristiche positive del nostro sistema di istruzione superiore è proprio quella di avere una distribuzione di buone competenze culturali e scientifiche diffusa su tutto il territorio nazionale, senza aver concentrato le competenze migliori in pochi atenei. Ciò ha anche permesso una miglior diffusione del sapere su tutto il territorio nazionale, rimediando parzialmente alle difficoltà di spostamento degli studenti dovute all'insufficiente finanziamento del "diritto allo studio".

La seconda è che, indipendentemente da qualunque possibile proposta di ulteriore riforma strutturale, l'Università necessita di un sensibile aumento dei finanziamenti al fine di avvicinare comunque la spesa generale per l'istruzione superiore del nostro paese a quella degli altri paesi dell'Europa occidentale. E quando si parla di finanziamenti si intendono tutti, da quelli per l'edilizia e la normale gestione amministrativa a quelli per la ricerca scientifica e per il diritto allo studio degli studenti. Un rinnovato impegno finanziario dovrebbe essere accompagnato dal blocco dell'assurdo trasferimento improprio di risorse economiche dal FFO a fondi a carattere "premiare", una prassi assurda che a partire dalla approvazione della Legge Gelmini ha sempre premiato "presunte" eccellenze a spese del finanziamento fisiologico di tutti gli altri. È così che di fatto si è aggravato il divario economico tra il grosso delle sedi universitarie e pochi atenei privilegiati. Tra l'altro tale trasferimento improprio ha generato anche delle antipatiche differenziazioni territoriali in quanto gli atenei premiati erano localizzati prevalentemente nel Nord del nostro paese, così penalizzando ulteriormente molti degli studenti delle regioni del Sud che faticano a reperire i finanziamenti necessari per andare a studiare nelle Università del Centro-Nord.

Ma anche una volta che si fosse rimediato all'assurdo trasferimento di risorse dai poveri ai ricchi, bisognerà porsi il problema di andare a premiare il merito soltanto dove è necessario e di definire più correttamente gli stessi criteri di identificazione di queste eccellenze. Per fare un esempio, ci pare sbagliata la norma della legge di bilancio 2017 (L. 32/2016, art. 1, c. 314-337) che ha previsto di premiare i migliori Dipartimenti, delle entità che possono essere molto disomogenee al loro interno a se-

guito degli accorpamenti che sono stati fatti secondo le norme della Legge Gelmini. Sarebbe senz'altro molto meglio aumentare i fondi del sistematico finanziamento della ricerca, ad es. quelli del classico PRIN, magari affiancando alcuni finanziamenti cospicui, da destinare a pochi gruppi di ricerca validi e più consistenti, al grosso dei finanziamenti che dovrebbero permettere di erogare un minimo vitale alla maggior parte dei progetti presentati. E bisogna anche tenere conto del necessario equilibrio tra le somme destinate alla ricerca e le spese legate alla loro distribuzione. A nostro avviso, ad esempio, non ha senso distribuire piccole cifre, che costituiscono il minimo vitale per il singolo docente-ricercatore, subordinandole ad una verifica del merito del singolo come ha fatto ancora la legge 32/2016 (art. 1, commi 295 ss) per la distribuzione dei fondi FFABR. Finanziamenti minimali di questo ordine di grandezza andrebbero garantiti a tutti indistintamente, con distribuzione gestita a livello di ateneo, come si faceva tempo fa con la distribuzione dei cosiddetti "fondi 60%" istituiti dal DPR 382/1980. E infine andrebbe ridimensionata la esagerata ricerca delle eccellenze, in ispecie tenendo conto che molte volte sono criticabili gli stessi criteri proposti dall'ANVUR per la loro individuazione.

Una volta stabilito tutto questo, si potrà mettere mano a qualche riforma. Ma ci riferiamo a riforme di aspetti parziali, perché la nostra Università ha già faticato fin troppo per digerire le recenti riforme globali del XXI secolo, cioè le riforme dei Ministri Moratti e Gelmini. Gli aspetti parziali cui metteremmo mano sono:

1) Una nuova valorizzazione dell'autonomia universitaria attraverso una basilare semplificazione di tipo amministrativo. Non c'è alcun bisogno di far uscire l'Università dalla Pubblica Amministrazione, come suggeriscono alcuni che probabilmente hanno in mente anche l'eventuale "contrattualizzazione" della categoria dei professori universitari. Sarebbe sufficiente rendere perfettamente operante una norma tuttora in vigore ma sempre trascurata: la norma della Legge Ruberti (L. 168/1989) che all'art. 6, comma 2, recita: «Nel rispetto dei principi di autonomia stabiliti dall'art. 33 della Costituzione e specificati dalla legge, le università sono disciplinate, oltre che dai rispettivi statuti e regolamenti, *esclusivamente da norme legislative che vi operino espresso riferimento*. È esclusa l'applicabilità di disposizioni emanate con circolare». Purtroppo invece il MIUR e il MEF, con l'acquiescenza dei nostri Rettori e Direttori Generali, hanno sempre preteso di applicare automaticamente anche agli atenei tutte le norme stabilite per il pubblico impiego.

2) La valorizzazione del tempo dedicato dai docenti universitari alla didattica e alla ricerca, liberandoli dagli obblighi di compilazione di (inutili) relazioni e tabelle di dati, continuamente richieste dal Ministero e dagli uffici amministrativi locali.

3) La riforma del reclutamento di nuovi docenti, attraverso la definizione di una unica figura di ricercatore a contratto, che possa permettere l'ingresso nel ruolo dei professori al massimo dopo 6 anni dal conseguimento del dottorato di ricerca (quindi poco oltre i 30 anni) così abbassando l'altissima età di ingresso nella fascia dei professori associati (attualmente 46 anni) e quindi l'età media dei nostri professori.

4) Un aumento della mobilità dei docenti, attualmente troppo scarsa. Oltre a prevedere per gli atenei l'obbligo di assunzione di una certa percentuale minima di

professori provenienti da altre sedi, come è già in atto, ci parrebbe utile chiedere tale mobilità già all'inizio della carriera, impedendo l'assunzione come ricercatore di chi ha fatto tutto il proprio percorso (laurea + dottorato) in quella stessa sede.

Con queste poche norme, accompagnate da un finanziamento dell'istituzione nella media UE, le cose migliorerebbero sensibilmente.

Sarebbe forse utile, infine, una ulteriore riflessione sulla qualità generale della Università italiana (o delle Università italiane, per meglio dire). La qualità media è abbastanza buona e lo testimonia, fra l'altro, l'elevata produttività scientifica per euro speso o il successo dei ricercatori italiani in servizio all'estero, compresa la quota di premi ERC che i giovani italiani si guadagnano ogni anno sul campo. La deplorabile mancanza di finanziamenti per la ricerca scientifica è, in senso generale, un grave limite allo sviluppo dell'Università e del Paese nel suo insieme, e va sempre denunciata con chiarezza proprio per questo. La sostanziale carenza di internazionalizzazione del nostro Paese e il suo reale immobilismo universitario, che certo i sindacati non hanno contribuito a mitigare, sarebbe un altro aspetto da prendere in considerazione: sono pochi gli studiosi stranieri ammessi nei nostri atenei, lunghe le carriere, non scomparso il tradizionale familismo e localismo, sebbene forse in calo.

## 7. LE CONFERENZE DI FACOLTÀ

A differenza di quanto accade nelle discipline umanistiche, che vengono sempre presentate nella loro evoluzione storica – perché in ogni periodo storico ciascuna di esse ha sue caratteristiche distintive (anche se la evoluzione nel tempo della storia di ognuna di queste discipline, che dipende dal periodo storico nel quale viene formulata, non viene normalmente messa in particolare evidenza) – le discipline scientifiche e tecniche debbono esser presentate nelle forme finali assunte nel momento in cui vengono insegnate; tali forme finali dipendono ovviamente dall'evoluzione che le singole discipline hanno subito nel tempo, ma esse debbono, invece, essere presentate nelle forme finali assunte, anche nella loro formulazione matematica, e quindi prescindendo da tale evoluzione. Esistono tentativi di presentare da un punto di vista storico le discipline scientifiche e tecniche sul piano didattico; ad esempio una conferenza è stata dedicata alla presentazione dell'analisi matematica da un punto di vista storico proposta da un docente svizzero (si veda la conferenza di Gerhard Wanner su *Analysis by its History*, che è il titolo anche di un suo libro pubblicato di recente). Potrebbe a nostro parere essere utile una riflessione sul ruolo che la presentazione di particolari aspetti dell'evoluzione storica di ogni singola disciplina potrebbe avere per una sua migliore comprensione, mettendo in particolare evidenza le difficoltà che, da un punto di vista di storico, si sono dovute superare per giungere alla sua formulazione attuale. Inoltre, l'approfondimento della storia della scienza e della tecnica consentirebbe di presentare una storia della cultura nel duplice aspetto del mondo umanistico e di quello scientifico mettendone in evidenza gli aspetti unitari. Per quanto riguarda il problema di come affrontare il problema della storia della scienza e della tecnica è particolarmente interessante e stimolante la parte iniziale del saggio di Umberto Meneghetti sulla *Meccanica applicata alle macchine* (riportato nel cap. 2).

Nell'ambito di questa premessa metodologica, in questi ultimi anni, a partire dal maggio 2005, sono state organizzate quasi mensilmente dalla Facoltà di Ingegneria, in collaborazione col Centro Interdipartimentale "Federico Enriques", conferenze che intendevano illustrare aspetti significativi della storia della scienza e della tecnica. Se si scorrono i titoli di queste conferenze, risulta evidente l'ampiezza dell'argomento e la difficoltà di illustrare la molteplicità dei contenuti che le contraddistinguono. Ovviamente, la diversità degli argomenti proposti è dipesa anche dalla disponibilità di persone disposte ad illustrare l'argomento che era oggetto dei loro studi storici. È stata però un'esperienza molto interessante, perché ha permesso di cogliere le carenze che, da un punto di vista storico, derivano dalla tendenza degli umanisti ad escludere il contributo dato alla storia della cultura dallo sviluppo della scienza e della tecnica soprattutto in particolari periodi di tempo, definendoli talvolta periodi di decadenza

soltanto perché nei loro studi fanno riferimento unicamente all'aspetto umanistico. Si vedano ad esempio le conferenze di Lucio Russo su *La rivoluzione dimenticata: scienza e tecnica nel periodo ellenistico* e di Roberto Guidorzi su *Scienza e tecnologia in epoca ellenistica: la macchina di Anticitera*. È anche significativo notare che viene normalmente illustrato dagli umanisti soltanto il contributo di Leibniz alla storia della filosofia (si ricordi il problema della monade) dimenticando completamente che invece egli è stato, assieme (ovvero in competizione) a Newton, il fondatore dell'analisi infinitesimale, che ha avuto un ruolo fondamentale nello straordinario sviluppo della scienza e della tecnica nell'epoca moderna (si veda la conferenza di Niccolò Guicciardini su *La polemica Newton Leibniz sull'invenzione del calcolo*). Il problema delle due culture è stato affrontato, sia pure da un punto di vista umanistico, nella conferenza di Alberto Destro. Di notevole interesse è stata la conferenza di Pier Gabriele Molari sulla *Macchina di sollevamento degli Haterii*; egli infatti si pone l'obiettivo di ricostruire le macchine realizzate nell'antichità utilizzando le immagini scolpite nelle lastre di marmo del relativo periodo per capire come funzionassero e a che cosa servissero. Poiché gli archeologi, che sono tutti di formazioni umanistica, ritengono che debba invece privilegiare la descrizione presente nei testi dell'epoca (vale cioè soltanto la verità testuale), Molari ha dovuto, per difendere il suo diverso modo di procedere, rileggere questi testi scoprendo però grazie, al suo diverso metodo, che le descrizioni esistenti erano state spesso tradotte male perché fatte da persone che non avevano approfondito l'aspetto tecnico della macchina descritta nel testo originario. Di particolare interesse sono anche le conferenze tenute da due relatori contemporaneamente laureati in ingegneria e diplomati in pianoforte, Giovanni Neri diventato professore nella nostra Facoltà e Carlo Mazzoli docente di pianoforte principale nel Conservatorio di Bologna. Neri ha presentato la storia della musica da un'ottica particolare, ma molto interessante e stimolante, ossia dal punto di vista delle relazioni matematiche che in ogni singolo periodo storico hanno i suoni utilizzati dai singoli compositori; si giunge così nel settecento al sistema tonale e alle sue successive modificazioni avvenute nei tempi moderni. Mazzoli, invece, ha illustrato sia da un punto di vista tecnico, sia espressivo l'evoluzione nel tempo dal fortepiano al pianoforte; la comprensione di questo problema è diventata importante a partire dalla seconda metà del secolo scorso perché si è affermata la convinzione che fosse necessario eseguire le singole composizioni con gli strumenti contemporanei al loro compositore. Molti esecutori del nostro tempo hanno quindi dovuto imparare a suonare con gli strumenti delle epoche passate per metterne in evidenza le specifiche caratteristiche. Infine, non sono da trascurare le conferenze sulla storia dell'industria, anche se non è stato possibile sviluppare adeguatamente questo tema. A tale fine, si vedano ad esempio le relazioni di Guido Vannucchi sulla Telettra, di Simone Fubini sull'Olivetti, di Umberto de Julio sull'industria delle telecomunicazioni, di Bruno Murari e di Aldo Romano sulla STMicroelectronics.

Il *PowerPoint* di quasi tutte le conferenze e, talvolta, l'intero testo, si può leggere nel sito della biblioteca Dore della Facoltà di Ingegneria: <http://ingegneria.sba.uni-bo.it/chi-siamo/relazioni-delle-conferenze-di-facolta>.

Infine, è interessante osservare che hanno partecipato a tali conferenze molti colleghi che sono stati allievi della Facoltà e che hanno così ripreso a frequentarla dando spesso un loro contributo anche con proposte di nuovi argomenti.

Nel proseguo, viene riportato il calendario delle oltre novanta Conferenze.

- 1) 3 maggio 2005 - Alessandro FREDDI, *Dall'Ellenismo al Rinascimento: il ruolo della sperimentazione nell'evoluzione delle strutture*
- 2) 13 giugno 2005 - Joel SAKAROVITCH, *La costruzione in pietra tra XVI e XVIII secolo: rapporto tra geometria e architettura*
- 3) 27 ottobre 2005 - Lucio RUSSO, *La rivoluzione dimenticata: scienza e tecnica nel periodo ellenistico*
- 4) 6 dicembre 2005 - Pier Gabriele MOLARI, *Le "Meccaniche" dell'Ubaldo e gli "Ingeniarri" di Urbino*
- 5) 22 marzo 2006 - Raffaella SIMILI, *Federigo Enriques scienziato e filosofo nella cultura italiana dei primi del Novecento*
- 6) 17 maggio 2005 - Silvio BERGIA, *I limiti della conoscibilità del mondo submicroscopico da Heisenberg alla separabilità degli stati intrecciati*
- 7) 7 giugno 2006 - Carlo JACOBONI, *Computazione quantistica – hai visto mai...*
- 8) 28 settembre 2006 - Sigfrido LESCHIUTTA, *Applicazioni tecniche e scientifiche della relatività: il sistema di navigazione satellitare Galileo*
- 9) 12 ottobre 2006 - Gabriele FALCIASECCA, *Guglielmo Marconi tra scienza, impresa e tecnologia*
- 10) 30 novembre 2006 - Carla Maria GALAVOTTI, *La filosofia della scienza: vecchia e nuova*
- 11) 14 dicembre 2006 - Giuliano GRESLERI, *Vienna versus Bologna: dissoluzione e ricostruzione dell'architettura*
- 12) 18 aprile 2007 - Vittorio MARCHIS, *Gli ingegneri delle rivoluzioni: Industria o scienza?*
- 13) 24 maggio 2007 - Danilo CAPECCHI, *La scienza delle costruzioni nell'Ottocento in Italia*
- 14) 19 ottobre 2007 - Arrigo PARESCHI, *L'anello tecnologico e lo sviluppo dell'industria*
- 15) 20 novembre 2007 - Richard J. TUTTLE, *Il sistema delle acque a Bologna nel Rinascimento*



- 16) 24 gennaio 2008 - Piero PELLONI, *Le motrici alternative e a vapore nei trasporti e nell'industria*
- 17) 19 febbraio 2008 - Adriano MORANDO, *Sviluppo dell'elettrotecnica nell'Ottocento e sue applicazioni alle macchine elettriche*
- 18) 27 marzo 2008 - Marco TADDIA, *Alcuni nodi concettuali della chimica nell'evoluzione del pensiero ottocentesco*
- 19) 17 aprile 2008 - Italo PASQUON, *Le applicazioni industriali della chimica dell'Ottocento*
- 20) 29 maggio 2008 - Leonardo CALANDRINO, *Le comunicazioni elettriche dall'Ottocento al Novecento*
- 21) 25 settembre 2008 - Marco CECCARELLI, *Attività e influenza di Francesco Masi in Italia alla fine del XIX secolo*
- 22) 23 ottobre 2008 - Dino ZANOBETTI, *Divisione della luce e nascita dell'industria elettrica*
- 23) 20 novembre 2008 - Sergio SARTORI, *Dalla convenzione del metro (1875) ad oggi: evoluzione della moderna metrologia e sue motivazioni*
- 24) 4 dicembre 2008 - Roberto MAIOCCHI, *La scienza ottocentesca e la parabola del Positivismo*
- 25) 13 gennaio 2009 - Luigi PEPE, *La matematica in Italia nell'Ottocento*
- 26) 26 febbraio 2009 - Franco SANDROLINI, *Dalla chimica docimastica alla scienza dei materiali*
- 27) 1 aprile 2009 - Massimo FERRARI, *La nascita della Filosofia della Scienza*
- 28) 23 aprile 2009 - Claudio BONIVENTO, *Un percorso ragionato nella storia dell'Automatica*
- 29) 6 maggio 2009 - Enrico LATROFA, *Origini e primi sviluppi della Fisica Tecnica nelle Facoltà d'Ingegneria italiane*
- 30) 26 novembre 2009 - Alessandro FREDDI, *Contributo alla storia della fatica dei materiali. Dalle origini della rivoluzione industriale ai primi anni del XX secolo*
- 31) 3 dicembre 2009 - Alessandro COCCHI, *Una rilettura della storia dell'edificio-teatro attraverso le sue caratteristiche acustiche: dalle origini a oggi*
- 32) 28 gennaio 2010 - Paolo FERRARI, *Strade e ferrovie*

- 33) 25 marzo 2010 - Roberto LASCHI, *Calcolatori & Formazione. I primi cinquant'anni*
- 34) 27 aprile 2010 - Emanuele PICCARDO, Giuliana GEMELLI, *La figura e l'opera di Adriano Olivetti (1901-1960)*
- 35) 25 maggio 2010 - Giuseppe PALOMBARINI, *Dal ferro all'acciaio alla moderna metallurgia*
- 36) 14 ottobre 2010 - Carlo MONTUORI, *L'idraulica nella storia e nell'attualità*
- 37) 25 ottobre 2010 - Angelo DI TOMMASO, *Conservazione del patrimonio architettonico storico: canoni del restauro e istanze strutturali*
- 38) 18 novembre 2010 - Guido VANNUCCHI, *Cinquant'anni di telecomunicazioni digitali ed uno sguardo al futuro: la convergenza Informatica-Telecomunicazioni e le nuove architetture di rete fissa*
- 39) 2 dicembre 2010 - Pier Gabriele MOLARI, *La soluzione dell'enigma di Piero della Francesca con la ricostruzione del polittico per la meditazione di Federico da Montefeltro. Inediti sviluppi*
- 40) 10 febbraio 2011 - Eugenio REGAZZINI, *La rinascita della concezione bayesiana della statistica nel secondo dopoguerra*
- 41) 30 marzo 2011 - Aurelio BOARI, *Da Ada Byron ad Android: il cammino evolutivo del software*
- 42) 14 aprile 2011 - Umberto MENEGHETTI, *Applicazioni storiche dei meccanismi a camme. La presenza delle camme nella storia della tecnologia*
- 43) 3 maggio 2011 - Walter BICH, *Il riassetto del sistema internazionale di unità*
- 44) 26 maggio 2011 - Ornella POMPEO FARACOVI, *Federigo Enriques e il IV Congresso internazionale di filosofia (Bologna 2011)*
- 45) 27 ottobre 2011 - Mariano GIAQUINTA, *La forma delle cose (idee e metodi in matematica tra storia e filosofia)*
- 46) 24 novembre 2011 - Tommaso RUGGERI, *Filosofia della natura e modelli matematici*
- 47) 15 dicembre 2011 - Pier Gabriele MOLARI, *Il Corso di Meccanica applicata di Quirico Filopanti tenuto nell'Università di Bologna dal 1848 al 1850 e dal 1862 al 1864*
- 48) 19 gennaio 2012 - Gabriele FALCIASECCA, Giuliano PANCALDI, Giuseppe PELOSI, Guido VANNUCCHI, *Storia delle telecomunicazioni: un libro, una riflessione sulle telecomunicazioni italiane*

- 49) 6 marzo 2012 - Riccardo GULLI, *Nascita ed evoluzione della costruzione in cemento armato. Il contributo della Scuola di Ingegneria di Bologna (1877-1935)*
- 50) 2 aprile 2012 - Luca BOTTURA, *La lunga strada per l'LHC. Un viaggio lungo la storia degli acceleratori superconduttivi*
- 51) 12 aprile 2012 - Bruno MURARI, *Una storia tutta italiana sulla Tecnologia dei Semiconduttori*
- 52) 16 maggio 2012 - Aldo ROMANO, *Alleanze strategiche e innovazione: motori della crescita della STMicroelectronics negli anni '90 e 2000*
- 53) 13 dicembre 2012 - Gerhard WANNER, *Analysis by Its History*
- 54) 31 gennaio 2013 - Enrico MINGOZZI, *L'elettricità nella trazione: breve storia della trazione elettrica*
- 55) 19 marzo 2013 - Piero AZZONI, *La catastrofe di Chernobyl. Una Storia da non dimenticare*
- 56) 21 maggio 2013 - Guido VANNUCCHI, *Telettra: un'impresa, oggi scomparsa, innovatrice nel campo delle telecomunicazioni e delle culture aziendali. Ma è utile ricordare il passato?*
- 57) 6 giugno 2013 - Luciano DE MENNA, *Maxwell e la Nascita della Scienza Moderna*
- 58) 26 settembre 2013 - Roberto GUIDORZI, *Scienza e tecnologia in epoca ellenistica: la macchina di Anticitera*
- 59) 24 ottobre 2013 - Leonardo CHIARIGLIONE, *Prospects of multimedia technologies and applications*
- 60) 19 novembre 2013 - Simone FUBINI, *Novant'anni di storia della Olivetti: una sempre attuale esperienza industriale e sociale*
- 61) 11 dicembre 2013 - Carlo MAZZOLI, *Dal fortepiano al pianoforte: nascita ed evoluzione, tecnica ed espressiva, di una macchina meravigliosa*
- 62) 16 gennaio 2014 - Lucio RUSSO, *Il biennio 146-145 a.c.: uno spartiacque nella storia del mondo mediterraneo*
- 63) 20 febbraio 2014 - Niccolò GUICCIARDINI, *La polemica Newton-Leibniz sull'invenzione del calcolo*
- 64) 10 aprile 2014 - Guido AVANZOLINI, *La Storia della Bioingegneria – Le date, gli uomini, le principali realizzazioni*

- 65) 11 giugno 2014 - Rudolf KALMAN, *The recent history of system theory and new research directions in the 21<sup>st</sup> Century*
- 66) 9 ottobre 2014 - Maria Carla GALAVOTTI, Virginio CANTONI, Viola SCHIAFFONATI, Presentazione del volume (a cura di E. Mesini, D. Mirri): *Scienza e tecnica nel settecento e nell'Ottocento. La Rivoluzione industriale vista dagli ingegneri*
- 67) 6 novembre 2014 - Giovanni NERI, *Musica e matematica: un esempio di "convergenze parallele"*
- 68) 18 novembre 2014 - Sergio BITTANTI, *Zibaldone di pensieri sull'evoluzione della scienza dei sistemi e del controllo, da Maxwell a Kalman, e oltre*
- 69) 11 dicembre 2014 - Alberto BUCCHI, *La storia delle strade*
- 70) 22 gennaio 2015 - Cosmo COLAVITO, *Telegrafi e telegrafisti del Risorgimento*
- 71) 19 febbraio 2015 - Carlo MONTI, *Bologna, un grande avvenire dietro le spalle*
- 72) 12 marzo 2015 - Umberto DE JULIO, *L'industria delle telecomunicazioni dal dopoguerra ad oggi*
- 73) 9 aprile 2015 - Marek GRAJEK, *ENIGMA - decifrare una vittoria: i polacchi al servizio dell'Europa* / Antonio FUCCI, *Le macchine ENIGMA e OMI Nistri: storia sviluppo funzionamento*
- 74) 20 aprile 2015 - Angelo DI TOMMASO, *Evoluzione dell'insegnamento della Scienza delle costruzioni a Bologna (dalla fondazione della Scuola di Applicazione fino al 1975)*
- 75) 21 maggio 2015 - *L'Ingegneria della Grande guerra 1915-1918*. Incontro di studio sugli aspetti tecnologici del primo conflitto mondiale. Contributi di: Leonardo GONI, Vera NEGRI ZAMAGNI, Paolo MACINI e Ezio MESINI, Gabriele BITELLI
- 76) 13 novembre 2015 - Gabriele FALCIASECCA, *Le tre grandi integrazioni nel settore dell' Information Communication Technology: la nascita dell'infosfera*
- 77) 17 dicembre 2015 - Dino ZANOBETTI, *Elettrotecnica e comunicazioni elettriche nella nostra Università: gli inizi*
- 78) 26 gennaio 2016 - Giovanni NERI, *Valute digitali: luci ed ombre*
- 79) 12 aprile 2016 - Alessandro COCCHI, *Il gabinetto di Fisica Tecnica dell'Ateneo bolognese: le origini, la struttura, la ricerca, gli uomini*

- 80) 19 maggio 2016 - Giannino PRAITONI e Federico RUPI, *La disciplina trasporti nella Scuola-facoltà di Ingegneria*
- 81) 28 ottobre 2016 - Umberto MENEGHETTI, *L'insegnamento della Meccanica applicata alle macchine a Bologna*
- 82) 9 febbraio 2017 - Alberto BUCCHI, *Storia dell'insegnamento di Strade nell'Università di Bologna*
- 83) 23 febbraio 2017 - Alessandro FREDDI, *Una riflessione sulla teoria e sulla pratica della progettazione: progettare è solo una scienza tecnica?* / Mario SALMON, *Cinquanta anni di sviluppo di nuovi prodotti: una testimonianza*
- 84) 27 aprile 2017 - Michele GASPARETTO, *Le misure meccaniche e termiche in Italia e nel mondo*
- 85) 14 dicembre 2017 - Alberto DESTRO, *La nascita delle due culture?*
- 86) 11 gennaio 2018 - Alessandro FERRERO, *Dalle misure alle Misure Elettriche ed elettroniche*
- 87) 25 gennaio 2018 - Leonardo CALANDRINO, *Vittorio Gori ed Ercole De Castro, Lincei: esordio e sviluppo della disciplina delle Comunicazioni Elettriche nella facoltà di Ingegneria di Bologna*
- 88) 1 febbraio 2018 - Aurelio BOARI, *Esordio e sviluppo delle discipline e dei servizi informatici nella Facoltà di Ingegneria*
- 89) 9 marzo 2018 - Barbara VALLOTTI, *Il genio Marconi*
- 90) 22 marzo 2018 - Pier Gabriele MOLARI, *La gru degli Haterii*
- 91) 12 aprile 2018 - Francesco SANTARELLI, *L'Ingegneria Chimica a Bologna e... non solo*
- 92) 3 maggio 2018 - Domenico COSTANTINI, *Boltzmann e le statistiche quantiche*
- 93) 17 maggio 2018 - Viola SCHIAFFONATI presenta il volume *Filosofia della Scienza* assieme alle autrici Raffaella CAMPANER e Maria Carla GALAVOTTI
- 94) 31 maggio 2018 - Pier Gabriele MOLARI, *La Costruzione di Macchine nella facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna per gli allievi meccanici (dalle origini fino al 2013)*

Nel 2013 venne pubblicato il volume *Scienza e tecnica nel Settecento e nell'Ottocento. La Rivoluzione industriale vista dagli ingegneri*, a cura di Ezio Mesini e Domenico Mirri. Nel volume sono state raccolti i testi delle conferenze dedicate allo sviluppo

tecnico-scientifico del XVIII e del XIX secolo, a sottolineare l'importanza dei temi relativi allo sviluppo tecnico-scientifico del XVIII e del XIX secolo, in quella che comunemente viene definita *Rivoluzione industriale*.

Il volume nacque dalla consapevolezza che la dimensione storica della scienza e della tecnica è parte integrante dell'evoluzione della nostra civiltà. A questa dimensione andrebbero accompagnati elementi di tipo filosofico ed epistemologico che necessariamente si coniugano al sapere tecnico e scientifico. Nelle società di oggi è però assai facile scorgere schematismi che dividono le due culture e che creano falsi confini laddove invece bisognerebbe individuare continuità. La storia della scienza e della tecnica, e la storia dell'impresa sono altrettanti schemi che tentano di aprire nuovi fronti di ricerca, a fianco delle discipline "classiche".

Hanno collaborato al volume anche alcuni filosofi; l'interesse è comune, perché la consapevolezza dell'influenza reciproca tra la scienza e la filosofia a partire da Galileo è indispensabile per una migliore conoscenza sia dell'una, sia dell'altra. Dopo gli studi storici di Federigo Enriques nella prima metà del secolo scorso riguardanti principalmente le Scienze, in epoca più recente si è manifestato un notevole interesse per la storia degli argomenti specificatamente trattati nei corsi delle Facoltà di Ingegneria.

L'argomento affrontato dal volume è molto ampio e i contributi presenti in esso certamente non lo esauriscono. La Rivoluzione industriale è un fenomeno che riguarda l'intera Europa; i singoli contributi indagano lo sviluppo di una particolare disciplina o in un'ottica europea, o semplicemente italiana, oppure presentano singoli scienziati o tecnologi. Ne risulta un quadro ricco e stimolante di quest'epoca, espressione dell'esistenza di un grande impegno sul piano scientifico e tecnico con una molteplicità di aspetti che meritano di essere indagati da molte angolazioni. Lo straordinario sviluppo della scienza e della tecnica nel Settecento e nell'Ottocento è dovuto sia alla convinzione, a partire da Galileo, che ogni teoria scientifica debba essere convalidata da esperimenti che la giustifichino, sia allo sviluppo straordinario della matematica applicata che, con l'introduzione del calcolo differenziale da parte di Newton e Leibniz, consente di descrivere mediante formule i fenomeni lineari con memoria. Il carattere principale di questo nuovo approccio alla conoscenza era una fiducia illimitata nella ragione e nella validità dell'estensione di metodi matematici in tutte le scienze fisiche e formali e, oltre ad esse, a tutti i campi della conoscenza. La consapevolezza che sia possibile descrivere mediante la matematica ogni fenomeno fisico, e che ogni fenomeno fisico si manifesta sempre secondo la formula matematica che lo descrive, ebbe una profonda influenza nell'intera società.

I contributi presenti nel volume qui ricordato possono essere suddivisi in quattro parti. Nella prima parte vengono riportati contributi che trattano da un punto di vista generale, anche se riferito al solo aspetto scientifico, il problema della Rivoluzione industriale nel Settecento e nell'Ottocento. Nella seconda vengono riportati contributi che illustrano lo sviluppo storico di discipline tipiche delle Facoltà di Ingegneria in una visione europea o italiana. Nella terza parte vengono



riportati contributi orientati a presentare lo sviluppo di una singola disciplina nelle Facoltà di Ingegneria italiane o singoli docenti (con una particolare attenzione per i docenti della scuola bolognese). Viene altresì fornito un significativo contributo relativo alla Storia della Facoltà di Ingegneria di Bologna. Infine, nella quarta e ultima parte viene fornita una riflessione sulla relazione tra filosofia, scienza e tecnica.

## INDICE DEGLI AUTORI

- Andrisano Oreste, 326  
Antonini Ernesto, 831  
Astarita Gianni, 887  
Avanzolini Guido, 594, 671  
Baccarani Giorgio, 551, 913  
Bellini Alberto, 714  
Bertin Antonio, 413  
Bettazzi Maria Beatrice, 499  
Boari Aurelio, 352  
Bucchi Alberto, 145  
Calandrino Leonardo, 574  
Cavina Nicolò, 760  
Ceccarelli Francesco, 95  
Celaschi Flaviano, 817  
Ciampolini Anna, 693, 902  
Cinti Paolo, 368  
Cocchi Alessandro, 125, 862  
Costantini Domenico, 859  
D'Anna Eugenio, 855  
Diotallevi Pier Paolo, 660  
Di Tommaso Angelo, 245  
Dell'Acqua Adolfo Cesare, 514  
Dökmeci M. Cengiz, 906  
Dragoni Giorgio, 368  
Falcisecca Gabriele, 314  
Ferrante Annarita, 521  
Franchi Scarselli Eleonora, 911  
Freddi Alessandro, 441  
Galli Claudio, 519  
Galtarossa Andrea, 916  
Gianni Paolo, 927  
Giulietti Fabrizio, 768  
Gnudi Gianni, 671  
Guardigli Luca, 504  
Guidorzi Roberto, 482, 895, 896, 898, 900  
Guidotti Andrea, 507  
Gulli Riccardo, 494  
Lotti Nadia, 891  
Macini Paolo, 17, 625, 834  
Marconi Lorenzo, 747, 749  
Marro Giovanni, 535, 866  
Masetti Guido, 222  
Mazzotta Francesco, 145  
Melchiorri Claudio, 526  
Meneghetti Umberto, 65, 775, 868  
Mesini Ezio, 17, 625, 834  
Minak Giangiacomo, 908  
Mirri Domenico, 17, 640, 880, 927  
Mochi Giovanni, 517, 821  
Molari Pier Gabriele, 273  
Mostacci Domiziano, 782  
Munari Andrea, 890  
Natali Antonio, 706  
Nucci Carlo Alberto, 729, 885  
Obrecht Enrico, 192, 873  
Pareschi Arrigo, 462  
Pelloni Piero, 289  
Piancastelli Luca, 116  
Praitoni Giannino, 302  
Pupillo Paolo, 927  
Raffaelli Carla, 702  
Rastelli Giovanni, 904  
Reggiani Ugo, 163, 729  
Rivola Alessandro, 844  
Rocchi Santina, 893



Romano Vittorio, 905

Rovatti Riccardo, 757

Rudan Massimo, 684, 871, 876

Ruggeri Tommaso, 213

Rupi Federico, 302

Santarelli Francesco, 613, 798

Scarpi Giambattista, 259, 864

Simone Andrea, 810

Someda Carlo Giacomo, 314

Talamelli Alessandro, 768

Tortora Paolo, 768

Toselli Maurizio, 910

Tralli Antonio Michele, 858

Troiani Enrico, 768

Vannini Gianni, 413

Viroli Mirko, 706

Zanchini Enzo, 788

Zanobetti Dino, 43



Finito di stampare nel mese di settembre 2019  
per i tipi di Bononia University Press