



Università degli Studi di Salerno

Dipartimento di Fisica “E. R. Caianiello” e Dipartimento di Matematica

in convenzione con

Università degli Studi della Campania “Luigi Vanvitelli”

Dipartimento di Matematica e Fisica

Dottorato di Ricerca

Matematica, Fisica e Applicazioni

Curriculum in Fisica

XXIX Ciclo

Tesi di Dottorato

**Metodologie didattiche per l'insegnamento-
apprendimento della Fisica:
studi di caso nella Scuola Secondaria di II grado**

Tutor

Prof.ssa Ileana Rabuffo

Coordinatore

Prof. Sandro Pace

Candidato

Roberto Capone

Matr. 8887800017

Anno Accademico 2015/2016

Abstract

Il presente lavoro è incentrato su studi di caso condotti, dal 2014 al 2016, in Istituti Secondari di II grado del territorio campano in cui si sono state sperimentate nuove metodologie didattiche per l'insegnamento – apprendimento della Fisica. Di tali metodologie si evidenziano meriti e limiti e di ciascun caso, come esempio di buona pratica, viene mostrata la possibile replicabilità in altri contesti. Il lavoro vuole essere un tentativo didattico-epistemologico di affrontare problematiche di insegnamento-apprendimento anche in relazione ai bisogni formativi dei docenti. Gli studi di caso riguardano alcuni temi salienti della fisica, dalla meccanica alla fisica moderna ma replicabili anche in altri contesti e in relazione ad altri argomenti.

Sono state sperimentate le seguenti metodologie: l'apprendimento situato (situated learning), il metodo della classe capovolta (flipped teaching), l'Inquiry Based Science Education (IBSE), il Digital Storytelling, la Robotica educativa, la Ricerca – Azione (Action Research), la metodologia Scrum.

Infine, sono stati condotti, sempre sul territorio campano, corsi di formazione rivolti ai docenti sulla didattica per competenze, nei tre ambiti di conoscenza, la Conoscenza Pedagogica (Pedagogical Knowledge), la Conoscenza di Contenuti disciplinari (Subject Matter Content Knowledge) e la Conoscenza Curricolare (Curricular Knowledge), che comprende programmi, materiali e strumenti didattici, software (Shulman). Sono state mostrate le attività didattiche svolte in questi tre anni per dare spunto ai docenti su come implementare in classe una efficace azione didattica per competenza, come realizzare un prodotto di intervento, come strutturare una prova autentica. Di queste azioni di formazione sono stati raccolti i report e inseriti in questo lavoro.

La metodologia di ricerca attuata rientra nel quadro della Educational Reconstruction, che permette di studiare i fenomeni didattici progettando e realizzando ambienti di apprendimento, artefatti, sequenze di insegnamento/apprendimento che il ricercatore sperimenta, valuta, rielabora e sviluppa in contesti educativi autentici.

Lo studio si contestualizza nel quadro teorico/epistemologico dell'Enattivismo e, in particolare, la teoria cognitiva che viene presa in esame è quella dello sviluppo della conoscenza attraverso la costruzione di modelli.

Ringraziamenti

Ogni uomo prende forma grazie anche alle persone che incontra sulla propria strada e per questo dovrei ringraziare ognuno per aver contribuito a rendermi quello che sono. Ma ci sono segni che rimangono scavati come l'aratro che solca il terreno incolto e questi sono i segni impressi dalle persone speciali che voglio ringraziare. Primi tra tutti ringrazio i miei genitori che hanno sempre creduto in me; grazie ai miei zii Tullio e Tommaso che oggi sarebbero orgogliosi di me.

Grazie a Ileana, donna dal multiforme ingegno, docente dura ed integerrima, mamma amorevole e affettuosa, amica sempre disponibile ad ascoltarmi e incoraggiarmi nel cammino della conoscenza e il cui sorriso è valso più di tante parole non dette.

Nel mondo esiste sempre qualcuno che attende qualcun altro che ci si trovi in un deserto o in una grande città ed è come se ci si stesse aspettando a vicenda: così è stato con molte persone incontrate in questo pezzo di vita.

Grazie al “Dream Team” (Tiziana, Umberto, Cristina, Flora, Laura, Gemma e Titti) perché il cammino percorso in questi anni è stato illuminato dal vostro sorriso, dalle emozioni condivise, dal sostegno reciproco. Grazie a Orazio e Roberto che mi hanno dato spesso consigli preziosi per le mie ricerche. Grazie a Oriana, collega e amica, che mi ha sempre sostenuto e incoraggiato contribuendo alla mia crescita. Grazie a Saverio, amico sincero, a cui mi accomuna il desiderio della conoscenza e lo stimolo dell'impresa.

Concludo con le parole di Nazim Hikmet che spesso mi risuonano come monito di vita: non vivere su questa terra come un inquilino o come un villeggiante stagionale, ricorda! Su questa terra devi vivere saldo, vivere come nella casa di tuo padre!

Pubblicazioni

Contributi accettati e in fase di pubblicazione

R. Capone, P. De Caterina, G. Mazza *Blended Learning, flipped teaching and virtual environment: challenges and opportunities for the 21st century students* (Contributo in atti di convegno EDULEARN, Barcellona 2017)

R. Capone, P. Carlucci, Pasqualina Nappi *La Didattica per Competenze: Percorsi di Ricerca-Azione in una Scuola Primaria Campana* (contributo in atti di convegno Incontri con la Matematica, Castel san Pietro, 2017)

R. Capone, F. Valente, F. Bruni “*Tom e il drone: una esperienza di Digital Storytelling interdisciplinare nella Scuola Primaria*” (contributo in atti di convegno Incontri con la Matematica, Castel san Pietro, 2017)

M. Adesso, R. Capone, M.R. Del Sorbo, O. Fiore *Light the world and change its colour: a case study in Italian Secondary School using IBSE methodology* (contributo in atti di convegno GIREP, Dublino 2017)

R. Capone, M.R. Del Sorbo, F.S. Tortoriello *New Frontiers of Enactive Education: Scrum Methodology as a Way of Overcoming Mathophobia* (Contributo in atti di convegno PME, Singapore 2017)

R. Capone, R. De Luca, O. Faella, O. Fiore, A. Saggese *Measurement of Plank's constant as Modern Physics didactical tool*” (Contributo su atti di convegno GIREP, Dublino, 2017)

Yasmín Moya López, Roberto Capone “*Empleo de recursos en la Escuela Primaria: una experiencia didáctica en Italia*” (Congresso CIBEM, Madrid 2017)

Contributi pubblicati

R. Capone, G. de Majo “*Sport, Inclusione e Matematica: studio di caso in una scuola secondaria di I grado*” (contributo su atti del congresso GRIMED, Siena 2017) Ed. Il Capitello Torino ISBN 9788842691549

R. Capone, P. Pugliese, F.S. Tortoriello, I. Veronesi “*Quando la competizione diventa inclusione: una esperienza didattica con Scrum*” (contributo su atti di Congresso GRIMED, Siena 2017) Ed. Il Capitello Torino ISBN 9788842691549

D'Acunto, R. Capone, R. Vegliante “*L’Inquiry Based Science Education: un caso-studio salernitano*” (Congresso SIRD, Milano 2016)

R. Capone, A. Marzano, F.S. Tortoriello “*La vicarianza dell’esperienza: cultura umanistica e cultura scientifica tra sapere, azione, e riflessione*” (Congresso SIRD , Milano 2016)

R. Capone, M.R. Del Sorbo, R. De Luca, O. Fiore “*Concentrare la luce solare*” (Atti Convegno AIF, Assergi 2016)

R. Capone, I. D'Acunto, R. De Luca, M.R. Del Sorbo, O. Fiore, O. Faella, A. Merinio “*Fisici in campus: la scuola estiva di Fisica all’Università di Salerno*” (Atti Convegno AIF, Assergi 2016)

G. Bolondi, R. Capone, F. Ferretti “*Using technology in Formative Assessment: teachers beliefs and practices*” (Atti Convegno CERME, Dublino)

R. Capone, I. D'Acunto “*A teacher training: Physics Enquiry from University to high school*” (Atti Convegno Internazionale ICERI, Siviglia 2016) ed. IATED, ISBN 9788461758951

R. Capone, F.S. Tortoriello, G. Vincenzi “*Il Liceo Matematico: primo anno di attività e sviluppi futuri*” (Atti Convegno Nazionale Mathesis, Camerino 2016)

R.Capone, R. De Luca, F. Laudano, F.S. Tortoriello, G. Vincenzi “*Math High School: New Perspective in Science Education*” (Atti Convegno EDaSS, La Coruna 2016 – Spain) ISSN 2340-3640

R. Capone, I. D'Acunto, M.R. Del Sorbo, F.S. Tortoriello “*La Fisica del Liceo Matematico*” (Atti Convegno SIF, Padova 2016)

R.Capone, M.R. Del Sorbo, R. De Luca, O. Fiore, F. Serpico “*Matching di colore e luce: un percorso per comprendere l’interazione tra luce e materia attraverso la metodologia IBSE*” (Atti Convegno SIF, Padova 2016)

I.D'Acunto, R. De Luca, R. Capone “*Flipped class – effetti ottici nei templi di Paestum*” (Atti Convegno SIF, Padova 2016)

G. Anatriello, R. Capone, F.S. Tortoriello, G. Vincenzi “*Confini Illimitati: il Teorema di Eulero e la Rappresentazione Decimale Periodica*” (Atti XXX Convegno Nazionale “Incontri con la Matematica” Castel San Pietro)

- R. Capone, F.S. Tortoriello, G. Vincenzi “*Il Liceo Matematico: dalle competenze alla competenza*” (Atti XXX Convegno Nazionale “Incontri con la Matematica” Castel San Pietro)
- R. Capone, M.R. Del Sorbo, O. Fiore “*A flipped experience in Physics education using CLIL methodology*” (Atti Convegno WCPE 2016, Sao Paulo - Brasil).
- R. Capone, I. D'Acunto, M. Giliberti “*Inquiry Based Teaching: an experience with TEMI E.U. Project*” (Atti Convegno WCPE 2016, Sao Paulo - Brasil)
- R. Capone, I. O. Fiore, M.R. Del Sorbo “*Fibonacci numbers and other symmetries*” (Atti Convegno HPM 2016 – Montpellier) ISBN 2-909916-51-0R.
- Capone, G. Carotenuto, C. Coppola, F. Del Regno, L. Lombardi, T. Pacelli, F.S. Tortoriello “*Numero Ergo Sum: a Proposal for the Improvement of Representation Capability*” (Atti Convegno ICME 2016, Amburgo)
- R. Capone, U. Dello Iacono, F.S. Tortoriello, G. Vincenzi “*Math High School: a teaching proposal*” (Atti convegno HPM 2016 – Montpellier) ISBN 2-909916-51-0 R.
- Capone, I. D'Acunto, M.R. Del Sorbo, O. Fiore - “*The light prefers the shortest: Physics and Geometry about shortest path problems from Heron to Fermat*” (Atti convegno HPM 2016 – Montpellier) ISBN 2-909916-51-0
- R. Capone, M.R. Del Sorbo, E. De Masi “*La metodologia della ricerca-azione in Didattica della Fisica: l'esperienza di SKYSEF in Giappone*” (atti convegno AIF 2015 Trento) In “La Fisica nella Scuola” – ISSN 1120-6527 pp.37-40
- R. Capone, I. D'Acunto, R. De Luca, O. Faella, O. Fiore, A. Saggese “*Il laboratorio di Fisica della Scuola Estiva*” (atti convegno AIF 2015 Trento) In “La Fisica nella Scuola” – ISSN 1120-6527 pp. 83-89
- V. Bozza, R. Capone, I. D'Acunto, R. De Luca “*Lezioni stellari: un percorso didattico per la Scuola Secondaria di II grado*” (atti convegno AIF 2015 Trento) In “La Fisica nella Scuola” – ISSN 1120-6527
- R. Capone, U. Dello Iacono, R. De Luca, F.S. Tortoriello – “*Circuiti, solidi platonici e simmetrie con Geogebra: una proposta interdisciplinare per la scuola secondaria di II grado*” – Atti Convegno DIFIMA Torino 2015
- R. Capone, I. D'Acunto, R. De Luca – “*Analogo meccanico di una Giunzione Josephson sovrasmorzata*” atti convegno SIF (Roma 2015)

R. Capone “*A solar powered drone designed by students: a teaching proposal*” – atti convegno Smartphone&scienze – Città della Scienza – Napoli 2015

R. Capone “*Energy from quanta*” – atti convegno SKYSEF 2015 – Shizuoka (Japan)

R. Capone, U. Dello Iacono, L. Lombardi, F.S. Tortoriello, G. Vincenzi “*Il Liceo Matematico: una proposta didattica*” - atti convegno UMI 2015 – Siena 2015

S. Boffa, R. Capone, G. Vitale “*Immaginazione motoria, abilità logiche ed apprendimento della matematica*” - atti convegno UMI 2015 – Siena 2015

R. Capone, I. D'Acunto, R. De Luca “*A teaching proposal: Mechanical analog of an over-damped Josephson junction*” Atti convegno GIREP (Wroclaw 2015)

R. Capone, I. D'Acunto, R. De Luca, O. Faella, O. Fiore, A. Saggese “*The role of symmetry in finding the equivalent resistance of regular networks*” Atti convegno GIREP (Wroclaw 2015)

R. Capone, R. De Luca, O. Faella, O. Fiore – “*Resistenze e simmetrie: dalle reti infinite ai solidi platonici*” – Atti Covegno AIF – Perugia 2014 In “*La Fisica nella Scuola*” ISSN 1120-6527

Libri o parti di libro

R. Capone & C. Coppola “*INVALSI Help Teaching*” in “*I dati INVALSI: uno strumento per la ricerca*” – collana CSE - CLEUP, Padova ISBN (printing)

R. Capone, I. D'Acunto, R. De Luca “*A teaching proposal: Mechanical analog of an over-damped Josephson junction*” in *Key Competences in Physics Teaching and Learning* - Springer ISBN 978-3-319-44886-2

R. Capone, I. D'Acunto, M.R. Del Sorbo, F. Del Regno, F.S. Tortoriello “*Action Research: a New Perspective in Math and Science Education*” – Libreria Universitaria – Firenze ISBN 978-88-6292-705-5

R. Capone, I. D'Acunto, F. Del Regno, U. Dello Iacono – “*Brownian Motion and Symmetries: an Interdisciplinary Teaching Proposal*” – Libreria Universitaria – Firenze ISBN 978-88-6292-705-5

R. Capone – “*Valutare per competenze in Matematica e in Fisica*” – In Iniziative di formazione docenti nella Scuola Secondaria di Secondo Grado nel Piano Lauree Scientifiche in collaborazione con il MIUR – Regione Campania - ISBN 88-8160-271-

Moriani, Nobel, Capone, Masi - "*Da Galileo ad oggi*" – Fratelli Ferraro editore – 2011
ISBN 978-88-7276-879-2

Moriani, Nobel, Capone, Masi - "*Fenomeni e idee*" – voll.1 e 2 – Fratelli Ferraro
editore – 2011 ISBN 978-88-7276-877-8

Moriani, Nobel, Capone, Masi - "*Fisica nucleare e subnucleare*" - Fratelli Ferraro
editore – 2011 ISBN 978-88-7276-916-4

Sommario

1	Introduzione	1
1.1	Organizzazione della Tesi	4
2	Il contesto.....	7
2.1	La riforma Gelmini.....	7
2.2	Il riordino dei Licei e la Fisica Moderna	16
2.3	La formazione docenti e la “buona scuola”	19
2.4	La prova autentica di Fisica.....	20
2.5	Appendice	23
2.5.1	Problema 1.....	23
2.5.2	Problema 2.....	25
2.5.3	Questionario	28
3	Il quadro teorico	31
3.1	La teoria enattiva.....	31
3.2	La Didattica per competenze	41
3.3	Le competenze chiave e il quadro di riferimento OCSE PISA.....	48
3.4	Il Modello dell' Educational Reconstruction (MER) e il Designed-Based- Research (DBR).....	53
3.5	La valutazione delle competenze in fisica	58
3.6	Appendice	65
3.6.1	Schema riassuntivo delle differenze tra Oggettivismo, Costruttivismo e Enattivismo.....	65
4	Gli studi di caso.....	67
4.1	Una esperienza di insegnamento capovolto in Didattica della Fisica usando la metodologia CLIL.....	69
4.2	Dalle reti infinite ai solidi platonici	88
4.3	Robotica educativa e didattica della Fisica: una possibile integrazione?	105
4.4	Il Disco di Newton 3.0: una esperienza didattica con Arduino.....	124
4.5	La luce sceglie il percorso più breve: una attività didattica di Fisica e Geometria sui percorsi minimi da Erone a Fermat.....	134
4.5.1	L'attività didattica	136
4.6	La Fisica può essere narrata: una proposta didattica di Digital Storytelling	

4.7	I moti browniani: una proposta didattica interdisciplinare	162
5	La formazione docenti.....	175
6	Conclusioni.....	185
	Bibliografia.....	187

1 Introduzione

Nel quadro attuale delle recenti riforme del sistema scolastico, la professionalità dell'insegnante riveste un aspetto molto importante. Essa è strettamente connessa con la possibilità di migliorare l'apprendimento degli studenti attraverso un'azione di innovazione didattica e metodologica, basata sugli esiti della ricerca.

Per molti studenti il primo contatto con la fisica non sempre si rivela un felice esordio: le capacità di astrazione non completamente sviluppate, il bagaglio matematico ancora ridotto, lo scarso collegamento tra la realtà quotidiana, pur ricca di stimoli in relazione ai fenomeni fisici e l'attività scolastica, anche di laboratorio, sono fattori che rendono a volte difficoltoso l'approccio.

L'insuccesso degli studenti nell'apprendimento della fisica è un dato verificabile a tutti i livelli di istruzione (dati OCSE PISA – Tabelle internazionali Scienze¹). Appare chiaro, pertanto, che è necessario adottare una didattica orientata a favorire l'acquisizione di competenze, e che non ci si può più limitare alla didattica di tipo trasmissivo (*mastery learning*). (OCSE PISA 2012)

La sfida, ma anche l'urgenza, è, inoltre, quella di fornire un'educazione scientifica agli studenti, che favorisca una cultura di base non più confinata ad un ruolo tecnico, funzionale a specifici ambiti lavorativi (*scientific literacy*).

La recente riforma della scuola secondaria di II grado ha razionalizzato e ridefinito, anche a livello di contenuti specifici, l'insegnamento-apprendimento della fisica.

Lo studio della Fisica nei Licei è avviato fin dal primo anno; all'ultimo anno è stato introdotto lo studio della fisica moderna; sempre più incessantemente si richiede, specialmente al primo biennio, un approccio più sperimentale all'insegnamento della disciplina.

In questo contesto, che vede rinnovati i contenuti, ma non gli strumenti metodologici e didattici, diviene sempre più pressante la necessità di un approccio nuovo

¹ PISA (Programme for International Student Assessment) valuta la misura in cui studenti di 15 anni che si trovano verso la fine della scuola dell'obbligo hanno acquisito conoscenze e competenze chiave, essenziali per la piena partecipazione nelle società moderne. La valutazione si concentra su materie scolastiche fondamentali come Scienze, Lettura e Matematica. Viene anche valutata la performance degli studenti in un dominio innovativo (nel 2015 si tratta del Problem Solving collaborativo). La valutazione non si limita a verificare se gli studenti possono riprodurre conoscenze; esamina anche quanto bene gli studenti siano in grado di estrapolare ciò che hanno imparato a scuola e possano applicare tale conoscenza in contesti non familiari, sia all'interno sia all'esterno della scuola. Questo approccio riflette il fatto che le economie moderne premiano gli individui non per ciò che sanno, ma per ciò che possono fare con ciò che sanno. (fonte OCSE PISA)

all'insegnamento della fisica, rivisitato alla luce dell'introduzione delle nuove tecnologie nella didattica contemporanea che consente un'analisi anche computazionale dei contenuti pedagogici.

L'idea iniziale del lavoro di ricerca era rivolta a sperimentare proposte per migliorare le competenze degli studenti in scientific literacy, proponendo un modo alternativo per affrontare con gli studenti temi di difficile comprensione con particolare riferimento alla Fisica Moderna e proporre software per la didattica della fisica come supporto all'insegnamento-apprendimento della disciplina.

La ricerca, invece si è andata delineando in maniera leggermente diversa.

Infatti, un campione di 112 docenti delle province di Avellino e Salerno è stato sottoposto ad un questionario anonimo dal quale si potessero evincere i bisogni formativi e si potesse mettere in atto una strategia di ricerca-azione per soddisfare tali bisogni. Dal questionario è emerso che i docenti sentono primaria la necessità di essere formati sulla didattica per competenze; in secondo luogo hanno la necessità di aggiornarsi sulle moderne metodologie didattiche per realizzare una efficace didattica per competenze.

Il lavoro è incentrato su studi di caso condotti, dal 2014 al 2016, in Istituti Secondari di II grado del territorio campano in cui si sono state sperimentate nuove metodologie didattiche per l'insegnamento – apprendimento della Fisica. Di tali metodologie si evidenziano meriti e limiti e di ciascun caso, come esempio di buona pratica, viene mostrata la possibile replicabilità in altri contesti. Il lavoro non ha l'ambizione di vestirsi come proposta di miglioramento dell'insegnamento apprendimento della fisica tout court ma vuole essere un tentativo didattico-epistemologico di affrontare problematiche di insegnamento-apprendimento anche in relazione ai bisogni formativi dei docenti. Gli studi di caso riguardano alcuni temi salienti della fisica, dalla meccanica alla fisica moderna ma replicabili anche in altri contesti e in relazione ad altri argomenti.

Sono state sperimentate le seguenti metodologie: l'apprendimento situato (situated learning), il metodo della classe capovolta (flipped teaching), l'Inquiry Based Science Education (IBSE), il Digital Storytelling, la Robotica educativa, la Ricerca – Azione (Action Research), la metodologia Scrum.

In accordo con quanto la ricerca in didattica ha confermato e che vale anche per l'insegnamento-apprendimento della fisica, a fronte di un emittente e di una emissione (messaggio), ogni essere umano è costretto dalla sua stessa natura umana a interpretare tale messaggio; cioè il ricevente non riceve in realtà il messaggio dell'emittente, ma lo trasforma, lo personalizza, lo interpreta. Detto in altre parole: ognuno impara a modo suo, sulla base della sua personalità, della sua esperienza, della sua cultura. Cioè, se in aula ci sono vari studenti, il loro apprendimento non sarà univoco, non sarà banalmente coincidente con quel che l'insegnante ha detto o ha fatto fare, ma ogni apprendimento personale sarà il risultato di un'interpretazione del messaggio iniziale. Dunque, l'idea di un insegnamento univoco, dell'uso di una sola metodologia di insegnamento, con un metodo pre-confezionato, è già in sé stessa un errore didattico. Bisogna usare, saper usare, ciascuno strumento, ciascuna metodologia, e allo stesso tempo diffidarne, conoscerne i limiti, perché questi ci sono sempre, in ogni strumento (D'Amore, 2016). Le sperimentazioni sono state presentate in convegni nazionali e internazionali (AIF Perugia 2014, AIF Trento 2015, AIF Assergi 2016, SIF Roma 2015, SIF Padova 2016, GIREP Wroclaw 2015, DIFIMA Torino 2015, HPM Montpellier 2016, WCPE San Paolo 2016): alcune sono state oggetto di pubblicazione su riviste internazionali o su atti di convegno, altre sono in fase di pubblicazione. Inoltre, alcune attività sperimentali sono state accolte a Città della Scienza come esempio di buone pratiche didattiche, in occasione dei "Tre giorni per la scuola" (2015), e del "Pic nic della scienza" (2016). Una attività è stata presentata al Forum Internazionale SkySEF 2015 a Shimizu in Giappone ricevendo apprezzamenti dalla giuria di docenti esperti dell'Università di Shizuoka.

Infine, sono stati condotti, sempre sul territorio campano, corsi di formazione rivolti ai docenti sulla didattica per competenze, nei tre ambiti di conoscenza, la Conoscenza Pedagogica (Pedagogical Knowledge), la Conoscenza di Contenuti disciplinari (Subject Matter Content Knowledge) e la Conoscenza Curricolare (Curricular Knowledge), che comprende programmi, materiali e strumenti didattici, software (Shulman, 1999). Sono state mostrate le attività didattiche svolte in questi tre anni per dare spunto ai docenti su come implementare in classe una efficace azione didattica per competenza, come realizzare un prodotto di intervento, come strutturare una prova

autentica. Di queste azioni di formazione sono stati raccolti i report e inseriti in questo lavoro.

La metodologia di ricerca attuata rientra nel quadro della Educational Reconstruction (Kattmann et al, 1995), che permette di studiare i fenomeni didattici progettando e realizzando ambienti di apprendimento, artefatti, sequenze di insegnamento/apprendimento che il ricercatore sperimenta, valuta, rielabora e sviluppa in contesti educativi autentici.

Lo studio si contestualizza nel quadro teorico/epistemologico dell'Enattivismo e, in particolare, la teoria cognitiva che viene presa in esame è quella dello sviluppo della conoscenza attraverso la costruzione di modelli (Dewey, 2007)

La ricostruzione didattica è stata sviluppata analizzando il contenuto fisico, la letteratura inerente tale argomento e le rappresentazioni degli studenti, progettando i percorsi didattici (TLS) e sperimentandoli (Teaching Experiment, TE). Le sequenze di didattica sono state sperimentate nei seguenti Istituti: Liceo Scientifico “De Caprariis” di Atripalda (AV), ISIS “L. Da Vinci” di Poggiomarino (NA), Liceo Scientifico “P.S. Mancini” di Avellino.

1.1 Organizzazione della Tesi

In questo lavoro di tesi, verrà inizialmente descritta la situazione dell'insegnamento apprendimento della Fisica alla luce della recente Riforma Gelmini, a regime dal 2015, e della “Buona Scuola” ancora in fase di definitiva attuazione. Per ciascuno studio di caso, sarà definito il quadro di riferimento teorico e metodologico; successivamente verranno illustrate le fasi della progettazione dell'ambiente didattico; ed infine, saranno descritte le fasi della verifica sperimentale delle componenti dell'ambiente didattico progettato, delle scelte, delle strategie e delle soluzioni didattiche messe in atto, delle ipotesi e dei presupposti pedagogici alla base della progettazione.

Più in dettaglio, il primo capitolo è dedicato alle necessità epistemologiche derivanti dall'analisi delle indicazioni nazionali relative all'insegnamento della fisica, degli obiettivi formativi, delle modifiche strutturali dei quadri orario. In questo capitolo, le problematiche dell'insegnamento della fisica saranno, dunque, contestualizzate alla nuova situazione, che si sta progressivamente delineando, della scuola italiana. In particolare, in relazione alle modifiche strutturali, l'insegnamento della fisica nei licei

scientifici è stato esteso al primo biennio, all'ultimo anno è stato introdotto lo studio della fisica moderna, all'esame di stato è stata introdotta la prova scritta di fisica; in relazione alle modifiche didattico-epistemologiche, all'esame di stato gli studenti dovranno affrontare una prova di realtà e questo presuppone una modifica sostanziale dell'approccio didattico alla disciplina anche della valutazione, che dovrà essere una valutazione autentica mediante apposite rubriche valutative.

Il secondo capitolo è destinato ad illustrare la metodologia della ricerca e della progettazione; in particolare, sarà illustrato il modello dell' Educational Reconstruction con riferimento agli strumenti e ai metodi per l'analisi dei dati.

Nel terzo capitolo sono illustrati i seguenti studi di caso:

1. “Una esperienza di insegnamento capovolto in Didattica della Fisica usando la metodologia CLIL” (A flipped experience in Physics education using CLIL methodology). Tale esperienza è stata condotta in due classi quinte Liceo Scientifico dell' ISIS “L. Da Vinci” di Poggiomarino (NA). Le attività realizzate sono state presentate al congresso internazionale di Fisica WCPE tenutosi a San Paolo del Brasile dal 10 al 15 luglio 2016.
2. “Resistenze e Simmetrie: dalle reti infinite ai solidi platonici”. Questa esperienza di Ricerca – Azione è stata condotta con gli alunni delle classi quarte del Liceo Scientifico “De Caprariis” di Atripalda (AV) nell' ambito delle attività PLS ed è stata presentata al convegno nazionale AIF tenutosi a Perugia dal 12 al 15 novembre 2014. La stessa attività, rivisitata con il software di geometria dinamica Geogebra, è stata presentata al congresso nazionale DI.FI.MA tenutosi a Torino dal 7 al 9 ottobre 2015 e al congresso internazionale GIREP tenutosi a Wroclaw, in Polonia, dal 6 al 10 luglio 2015. Una ulteriore esperienza di Ricerca – Azione, “Action research: a new perspective in math and science education”, è stata condotta con gli studenti del Liceo Scientifico “De Caprariis” e del Liceo “L. Da Vinci” di Poggiomarino ed è stata presentata al congresso internazionale “New Perspective in Science Education” tenutasi a Firenze il 20 marzo 2016
3. “Robotica educativa e didattica della Fisica: una possibile integrazione?”. Questa attività è stata realizzata con gli studenti delle classi quinte del Liceo Scientifico “De Caprariis” di Atripalda nell'ambito delle attività PLS. Come

prodotto d'intervento è stato costruito un drone alimentato con celle fotovoltaiche. Tale prodotto d'intervento è stato presentato a Città della Scienza a Napoli in occasione della manifestazione culturale “Tre giorni per la scuola” tenutasi dal 29 al 30 ottobre 2015. Inoltre, il prodotto d'intervento realizzato è stato oggetto di ulteriori studi e approfondimenti e presentato al forum mondiale SKYSEF tenutosi a Shimizu in Giappone dal 3 al 10 agosto 2015.

4. “Il Disco di Newton 3.0: una esperienza didattica con Arduino”. Questa attività è stata condotta con gli studenti della classe prima del Liceo Scientifico “P.S. Mancini” di Avellino utilizzando la metodologia Inquiry. Il prodotto d'intervento realizzato dagli studenti è stato presentato a Città della Scienza in occasione del “Pic nic della Scienza” tenutosi a Napoli dal 19 al 21 ottobre 2016. Le attività realizzate con la metodologia Inquiry sono state presentate al congresso internazionale ICERI tenutosi a Siviglia dal 14 al 16 novembre 2016, al congresso nazionale SIF (Società Italiana di Fisica) tenutosi a Padova dal 26 al 30 settembre 2016 e al congresso nazionale SIRD (Società Italiana di Ricerca in Didattica) tenutosi a Milano dal 1 al 2 dicembre 2016.
5. “The Light prefers the shortest: Physics and Geometry about Shortest Path Problems from Heron to Fermat”. Questa attività è stata realizzata con gli studenti delle classi quarte del Liceo “P.E. Imbriani” di Avellino nel contesto di un percorso interdisciplinare sulla luce. Questa sperimentazione è stata presentata al congresso internazionale HPM (History and Pedagogy of Mathematics) tenutosi a Montpellier dal 18 al 22 luglio 2016.
6. “La Fisica può essere narrata: una proposta didattica di Digital Storytelling”. Tale esperienza didattica è stata condotta con gli studenti delle classi quinte del Liceo Scientifico “De Caprariis” di Atripalda nell'ambito di un percorso di approfondimento di Fisica sulla Relatività.
7. “Brownian motion: an interdisciplinary teaching proposal”. Questa attività interdisciplinare è stata presentata al congresso internazionale “New Perspective in Science Education” tenutosi a Firenze il 20 marzo 2015.

Per ogni sperimentazione è stata trattata la metodologia didattica adottata, il contesto, i contenuti affrontati in riferimento alle indicazioni nazionali, i risultati raggiunti e l'efficacia in termini di replicabilità e diffusione.

2 Il contesto

La scuola italiana sta attraversando rapidi mutamenti: la Riforma Gelmini ormai a regime dall' Anno Scolastico 2015/16 e la Riforma denominata “La Buona Scuola”, che è in piena fase attuativa, stanno delineando un nuovo scenario dei processi di insegnamento – apprendimento. Questi cambiamenti, per l'insegnamento della Fisica sono stati sostanziali.

In questo primo capitolo, vengono analizzate le necessità epistemologiche derivanti dall'introduzione delle nuove Indicazioni Nazionali relative all'insegnamento della fisica, le modifiche strutturali dei quadri orario, i nuovi obiettivi formativi. Si delinearanno, inoltre, le linee essenziali della Didattica per Competenze nell'insegnamento - apprendimento della Fisica. Secondo la Circolare n. 3 del 13 febbraio 2015, infatti, a partire dall'anno scolastico 2016-2017 tutte le scuole dovranno valutare e certificare le competenze dei propri studenti con un modello nazionale unico. Il Consiglio di classe dovrà, dunque, per certificare tali competenze dello studente provvedere alla formulazione di opportune verifiche per la valutazione.

2.1 La riforma Gelmini

In relazione alle modifiche strutturali, l'insegnamento della fisica nei licei scientifici è stato esteso al primo biennio. I contenuti didattici e la progettazione delle attività sono stati così spalmati su cinque anni. Viene inoltre chiarito, nell'allegato A del Regolamento di recente approvazione, la necessità di *“uso costante del laboratorio nell'insegnamento delle discipline scientifiche”*. Questa indicazione viene ribadita con forza nella bozza delle indicazioni nazionali degli obiettivi specifici di apprendimento, ove si raccomanda che, per quanto riguarda le competenze, *“lo studente dovrà anche aver fatto esperienza e avere dimestichezza con i vari aspetti del metodo sperimentale, dove l'esperimento è inteso come interrogazione ragionata dei fenomeni naturali, strumento di controllo di ipotesi interpretative, analisi critica dei dati e dell'affidabilità di un processo di misura”*. Negli obiettivi specifici del primo biennio si ribadisce inoltre che *“nel primo biennio si inizierà a costruire il linguaggio della fisica classica (grandezze fisiche, scalari e vettoriali, unità di misura) con l'obiettivo di portare lo studente a risolvere problemi, abituandolo a semplificare e*

modellizzare situazioni reali”. E ancora “al tempo stesso gli esperimenti di laboratorio consentiranno di definire con chiarezza il campo di indagine della disciplina e di insegnare allo studente come esplorare fenomeni (sviluppare abilità relative alla misura), come descriverli con un linguaggio adeguato (incertezze, cifre significative di una misura, grafici). L'attività sperimentale dovrà accompagnare lo studente lungo tutto l'arco del primo biennio, portandolo a una conoscenza sempre più consapevole della disciplina, mediante anche la scrittura di relazioni che rielaborino in maniera critica ogni esperimento eseguito.”

Da questo punto di vista appare evidente come lo sviluppo della disciplina nel primo biennio del liceo scientifico si discosti sia dagli Istituti Tecnici, ove si esaurisce quasi ovunque nel primo biennio, sia negli altri Licei ove viene introdotta solo nel secondo biennio e nel quinto anno. Per un confronto, nel Liceo Scientifico di Ordinamento la Fisica era disciplina presente solo nel triennio e, solo in alcune sperimentazioni nel biennio.

All'ultimo anno è stato introdotto lo studio della fisica moderna, all'esame di stato è stata introdotta la prova scritta di fisica; nei licei classici, musicali, linguistici e delle scienze umane, l'insegnamento della fisica è stato esteso al triennio (due ore a settimana per tre anni). Di seguito, sono riportati i piani orario, relativi all'insegnamento della Fisica, della Matematica e della Scienze nei vari indirizzi liceali:

Liceo Scientifico – indirizzo tradizionale

Discipline	1° biennio		2° biennio		V
	I	II	III	IV	
Matematica	5	5	4	4	4
Fisica	2	2	3	3	3
Scienze naturali	2	2	3	3	3

Liceo Scientifico – indirizzo scienze applicate

Discipline	1° biennio		2° biennio		V
	I	II	III	IV	
Matematica	5	4	4	4	4

Fisica	2	2	3	3	3
Scienze naturali	3	4	5	5	5

Liceo Scientifico – indirizzo sportivo

Discipline	1° biennio		2° biennio		V
	I	II	III	IV	
Matematica	5	5	4	4	4
Fisica	2	2	3	3	3
Scienze naturali	3	3	3	3	3

Liceo classico, liceo delle scienze umane, liceo linguistico

Discipline	1° biennio		2° biennio		V
	I	II	III	IV	
Matematica	3	3	2	2	2
Fisica			2	2	2
Scienze naturali	2	2	2	2	2

Liceo Musicale e Coreutico

Discipline	1° biennio		2° biennio		V
	I	II	III	IV	
Matematica	3	3	2	2	2
Fisica			2	2	2
Scienze naturali	2	2			

Prima del 2010, nei Licei Classici la Fisica era confinata al quarto e quinto anno, nei licei linguistici solo al quarto anno, nei licei scientifici l'insegnamento della fisica si svolgeva solo nel triennio.

Sono, di seguito, riportati i piani orario, relativi all'insegnamento della Fisica, negli istituti tecnici:

Istituto Tecnico ad Indirizzo economico:

Discipline	1° biennio		2° biennio		V
	I	II	III	IV	
Scienze Integrate (Fisica)	4 (2)	4(0)			

Altri Istituti Tecnici

Discipline	1° biennio		2° biennio		V
	I	II	III	IV	
Scienze Integrate (Fisica)	4 (3)	4 (3)			

Sono, di seguito, riportati i piani orario, relativi all'insegnamento della Fisica, negli istituti professionali:

Istituto Professionale (settore industria e artigianato)

Discipline	1° biennio		2° biennio		V
	I	II	III	IV	
Scienze Integrate (Fisica)	3 (2)	3 (2)	3 (0)		

Istituto Professionale (settore servizi)

Discipline	1° biennio		2° biennio		V
	I	II	III	IV	
Scienze Integrate (Fisica)	2 (2)	2 (2)			

La riforma che ha previsto il riordino dei licei e la riforma degli ordinamenti degli Istituti Tecnici e Professionali, dall'anno scolastico 2015/16, è a regime. Come si evince dalle tabelle, le novità più significative hanno riguardato i Licei, mentre rimangono quasi invariati rispetto al passato le ore destinate all'insegnamento della Fisica negli istituti tecnici e professionali, con l'unica novità che l'insegnamento della fisica fa parte delle Scienze Integrate e quindi *“il docente, nella prospettiva dell'integrazione delle discipline sperimentali, organizza il percorso d'insegnamento-apprendimento con il decisivo supporto di attività laboratoriali per sviluppare l'acquisizione di conoscenze e abilità attraverso un corretto metodo scientifico. Il docente valorizza l'apporto di tutte le discipline relative all'asse scientifico-*

tecnologico, al fine di approfondire argomenti legati alla crescita culturale e civile degli studenti (come il contributo apportato dalla scienza e dalla tecnologia allo sviluppo dei saperi e dei valori, al cambiamento delle condizioni di vita e dei modi di fruizione culturale)”. Nei quadri orario dei Licei volontariamente abbiamo riportato anche i quadri orario relativi all'insegnamento della Matematica e delle Scienze, a sottolineare una peculiarità dell'insegnamento della Fisica in Italia: in Italia esiste una abilitazione all'insegnamento che comprende entrambe le discipline, quindi uno stesso docente può insegnare indistintamente sia matematica che fisica. In Francia e in Spagna, l'abilitazione all'insegnamento della fisica è associata alla chimica, mentre in Germania esistono abilitazioni diverse per le tre discipline. Questo ordinamento se, da un lato, crea e favorisce la didattica interdisciplinare perché tra la fisica e la matematica esistono molte comuni peculiarità, d'altro canto non sempre gli ordinamenti universitari hanno una offerta didattica che favorisce una formazione ai futuri docenti idonea per affrontare in maniera dignitosa l'insegnamento di entrambe le discipline. L'approccio al problem solving, inoltre, è generalmente ipotetico – deduttivo quello del matematico, sperimentale – induttivo quello del fisico con la conseguenza che il matematico poche volte predilige un approccio laboratoriale *strictu sensu* all'insegnamento della fisica, così come invece è fortemente consigliato anche dalle recenti riforme. La formazione dei docenti di fisica in servizio, è divenuta, così, una vera e propria necessità. A questa necessità si aggiunge l'insegnamento della fisica moderna al quinto anno dei licei scientifici. Pochi docenti di fisica che insegnano nei licei scientifici hanno sostenuto esami di fisica moderna; di qui nasce la crescente richiesta di formazione su questa parte della fisica impegnativa sia dal punto di vista epistemologico che dei contenuti.

A proposito dei contenuti disciplinari, contestualmente ai vari decreti del riordino, sono state emanate le Indicazioni Nazionali riguardanti gli Obiettivi specifici di apprendimento per ciascun percorso liceale, all'interno delle quali possiamo trovare delle indicazioni generali e le competenze che gli studenti dovranno acquisire nell'arco dei due bienni e del quinto anno. Le Indicazioni permettono una gestione abbastanza flessibile della scelta dei contenuti da trattare in tutte le classi in quanto non viene riportata una scansione temporale annuale di ciò che bisogna trattare, ma la

distribuzione nell'ambito di ciascun biennio è adattabile alle esigenze dei vari contesti scolastici.

“Al termine del percorso liceale lo studente avrà appreso i concetti fondamentali della fisica, acquisendo consapevolezza del valore culturale della disciplina e della sua evoluzione storica ed epistemologica. In particolare, lo studente avrà acquisito le seguenti competenze:

- *osservare e identificare fenomeni;*
- *affrontare e risolvere semplici problemi di fisica usando gli strumenti matematici adeguati al suo percorso didattico;*
- *avere consapevolezza dei vari aspetti del metodo sperimentale, dove l'esperimento è inteso come interrogazione ragionata dei fenomeni naturali, analisi critica dei dati e dell'affidabilità di un processo di misura, costruzione e/o validazione di modelli;*
- *comprendere e valutare le scelte scientifiche e tecnologiche che interessano la società in cui vive.*

La libertà, la competenza e la sensibilità dell'insegnante – che valuterà di volta in volta il percorso didattico più adeguato alla singola classe e alla tipologia di Liceo all'interno della quale si trova ad operare svolgeranno un ruolo fondamentale nel trovare un raccordo con altri insegnamenti (in particolare con quelli di matematica, scienze naturali, storia e filosofia) e nel promuovere collaborazioni tra la sua Istituzione scolastica e Università, enti di ricerca, musei della scienza e mondo del lavoro, soprattutto a vantaggio degli studenti degli ultimi due anni.”

Per realizzare tale progetto ambizioso bisogna iniziare a dare delle basi solide a partire dal primo biennio del Liceo Scientifico, perché ogni tappa è fondamentale per arrivare alla piena comprensione di molti concetti della fisica moderna. L'insegnamento della fisica moderna, non solo costringe la rivisitazione di alcuni concetti della fisica classica, ma ne facilita anche la comprensione.

Le Indicazioni Nazionali invitano a impiegare il tempo disponibile nel primo biennio alla costruzione del linguaggio della fisica classica, abituando lo studente a semplificare e modellizzare situazioni reali, a risolvere problemi e ad avere consapevolezza critica del proprio operato. Inoltre un taglio nettamente sperimentale deve essere utilizzato per definire con chiarezza il campo di indagine della disciplina e

per permettere allo studente di esplorare fenomeni (sviluppare abilità relative alla misura) e di descriverli con un linguaggio adeguato (incertezze, cifre significative, grafici).

“Si inizierà a costruire il linguaggio della fisica classica (grandezze fisiche scalari e vettoriali e unità di misura), abituando lo studente a semplificare e modellizzare situazioni reali, a risolvere problemi e ad avere consapevolezza critica del proprio operato. Al tempo stesso, anche con un approccio sperimentale, lo studente avrà chiaro il campo di indagine della disciplina ed imparerà ad esplorare fenomeni e a descriverli con un linguaggio adeguato. Lo studio della meccanica riguarderà problemi relativi all'equilibrio dei corpi e dei fluidi e al moto, che sarà affrontato sia dal punto di vista cinematico che dinamico, introducendo le leggi di Newton con una discussione dei sistemi di riferimento inerziali e non inerziali e del principio di relatività di Galilei. Dall'analisi dei fenomeni meccanici, lo studente incomincerà a familiarizzare con i concetti di lavoro, energia e quantità di moto per arrivare a discutere i primi esempi di conservazione di grandezze fisiche. Lo studio della gravitazione, dalle leggi di Keplero alla sintesi newtoniana, consentirà allo studente, anche in rapporto con la storia e la filosofia, di approfondire il dibattito del XVI e XVII secolo sui sistemi cosmologici. Nello studio dei fenomeni termici, lo studente affronterà concetti di base come temperatura, quantità di calore scambiato ed equilibrio termico. Il modello del gas perfetto gli permetterà di comprendere le leggi dei gas e le loro trasformazioni. Lo studio dei principi della termodinamica lo porterà a generalizzare la legge di conservazione dell'energia e a comprendere i limiti intrinseci alle trasformazioni tra forme di energia. L'ottica geometrica permetterà di interpretare i fenomeni della riflessione e della rifrazione della luce e di analizzare le proprietà di lenti e specchi. Lo studio delle onde riguarderà le onde meccaniche, i loro parametri, i fenomeni caratteristici e si concluderà con elementi essenziali di ottica fisica. I temi indicati dovranno essere sviluppati dall'insegnante secondo modalità e con un ordine coerenti con gli strumenti concettuali e con le conoscenze matematiche in possesso degli studenti, anche in modo ricorsivo, al fine di rendere lo studente familiare con il metodo di indagine specifico della fisica.”

Quindi viene focalizzata l'attenzione sull'aspetto sperimentale e si invita esplicitamente alla produzione delle relazioni di laboratorio quali utili strumenti per la riflessione

critica sui fenomeni naturali studiati. Buone esperienze da condurre nel corso del primo biennio sono quelle inerenti all'ottica geometrica e allo studio dei fenomeni termici, in quanto di semplice realizzazione e vicine agli studenti. Altri spunti importanti verranno dalla meccanica, da sviluppare partendo dal concetto di equilibrio (dei corpi e dei fluidi), fino ad arrivare alla trattazione cinematica dei moti e all'introduzione delle leggi della dinamica.

Le Indicazioni Nazionali sottolineano che lo studente al termine del primo biennio, avrà fatto esperienza, in forma elementare ma rigorosa, del metodo di indagine specifico della fisica, nei suoi aspetti sperimentali, teorici e linguistici. Da queste considerazioni è possibile notare l'importanza del lavoro da svolgere nell'ambito del primo biennio, un lavoro che prevede una fase sperimentale, una fase teorica e una fase applicativa. In particolare è importante l'analisi di situazioni problematiche adatte alle conoscenze matematiche possedute e che comporteranno una successiva ritrattazione più approfondita nell'arco del secondo biennio.

Quando, per esempio, un alunno non ha imparato a operare con le potenze di 10 o con le leggi di proporzionalità a partire dal primo anno, saranno immani i danni che si porterà dietro fino al quinto anno. Quanti sono gli studenti del secondo biennio che non presentano alcuna difficoltà con gli elementi di base della disciplina? Quante verifiche scritte nel secondo biennio sono compromesse da errori riconducibili ad abilità da acquisire durante il primo anno del primo biennio?

Nel passaggio al secondo biennio, nell'insegnamento della fisica si dovrà dare maggior rilievo all'impianto teorico (le leggi della fisica) e alla sintesi formale (strumenti e modelli matematici), con l'obiettivo di formulare e risolvere problemi più impegnativi, tratti anche dall'esperienza quotidiana, sottolineando la natura quantitativa e predittiva delle leggi fisiche. Inoltre, l'attività sperimentale consentirà allo studente di discutere e costruire concetti, progettare e condurre osservazioni e misure, confrontare esperimenti e teorie. Sempre nel secondo biennio dovranno essere riprese le leggi del moto, in quanto gli alunni avranno delle competenze matematiche differenti, affiancandole alla discussione dei sistemi di riferimento inerziali e non inerziali e del principio di relatività di Galilei. Il percorso dovrà prevedere quindi la trattazione della conservazione dell'energia, della gravitazione, delle onde, della termodinamica, dell'elettricità e del magnetismo (ad eccezione dell'induzione

elettromagnetica), curando le connessioni con le altre discipline quali la Filosofia e proponendo percorsi storici atti a sottolineare i cambiamenti concettuali avvenuti all'interno della Fisica stessa.

“Lo studio dei fenomeni elettrici e magnetici permetterà allo studente di esaminare criticamente il concetto di interazione a distanza, già incontrato con la legge di gravitazione universale, la necessità del suo superamento e dell'introduzione di interazioni mediate dal campo elettrico, del quale si darà anche una descrizione in termini di energia e potenziale, e dal campo magnetico. Lo studente completerà lo studio dell'elettromagnetismo con l'induzione elettromagnetica; un'analisi intuitiva dei rapporti fra campi elettrici e magnetici variabili lo porterà a comprendere la natura delle onde elettromagnetiche, i loro effetti e le loro applicazioni nelle varie bande di frequenza. La dimensione sperimentale potrà essere ulteriormente approfondita con attività da svolgersi non solo nel laboratorio didattico della scuola, ma anche presso laboratori di Università ed enti di ricerca, aderendo a progetti di orientamento. E' auspicabile che lo studente possa affrontare percorsi di fisica del XX secolo, relativi al microcosmo e/o al macrocosmo, accostando le problematiche che storicamente hanno portato ai nuovi concetti di spazio e tempo, massa e energia. Alla professionalità del docente si deve intendere affidata la responsabilità di declinare in modo coerente alla tipologia del Liceo in cui opera, i percorsi di cui si sono indicate le tappe concettuali essenziali.”

Rispetto alle classi del vecchio ordinamento, si può notare che è previsto l'insegnamento al secondo anno del secondo biennio ciò che prima veniva trattato nei primi quattro o cinque mesi del quinto anno. Di conseguenza è del tutto impensabile proporre al quinto anno dei nuovi licei scientifici gli stessi contenuti che venivano proposti prima perché il modo di fare fisica è totalmente differente anche per la presenza esplicita della componente applicativa. Al quinto anno lo studio si dovrà completare appunto con l'induzione magnetica, già precedentemente trattata nelle stesse classi, per concludersi con le equazioni di Maxwell, spesso grossolanamente trattate per motivi di tempo.

Nel nuovo V anno si potrà e si dovrà quindi dare il giusto peso a queste equazioni, assicurandone una trattazione precisa e puntuale, considerando il successivo studio delle onde elettromagnetiche, della loro produzione e propagazione, dei loro effetti e

delle loro applicazioni nelle varie bande di frequenza. La restante parte dell'anno dovrà essere dedicata interamente allo studio della fisica del XX secolo, avendo cura di utilizzare il formalismo matematico accessibile agli studenti. Grazie a questo riallineamento dei programmi, che finalmente darà spazio alla fisica del Novecento, si dovranno trattare la relatività di Einstein (ristretta e generale), l'affermazione del modello dei quanti di luce e dei vari effetti, le evidenze sperimentali della natura ondulatoria della materia, postulata da De Broglie, ed il principio di indeterminazione di Heisenberg. Inoltre sarà possibile presentare l'applicazione dell'equazione di Schrödinger alle buche di potenziale a pareti infinite.

La conclusione del percorso di fisica potrà prevedere la trattazione di temi quali la fisica nucleare, l'astrofisica o il rapporto tra scienza e tecnologia. Le Indicazioni Nazionali prospettano un insegnamento della fisica diverso e restituiscono alla disciplina la sua netta autonomia e dignità che giustamente merita. Negli anni è stata spesso considerata come una disciplina all'ombra della matematica, alla quale venivano sottratte delle ore per sopperire alla mancanza di tempo per la trattazione di argomenti matematici fondamentali ai fini dell'Esame di Stato.

2.2 Il riordino dei Licei e la Fisica Moderna

Una riflessione a parte merita l'introduzione della Fisica Moderna nelle nuove indicazioni nazionali soprattutto sui possibili approcci metodologici allo studio della Fisica Moderna. D'altro canto, la fisica classica non bastava più a dare risposte soddisfacenti rispetto alle moderne scoperte tecnologiche e a tutti gli sviluppi della Fisica e della Chimica del Novecento. Come già sosteneva Arons in “Guida all'insegnamento della Fisica”, le applicazioni tecnologiche dell'ultimo secolo sono basate su leggi quantistiche. Poiché, in Fisica, teoria e pratica vanno di pari passo, per evitare di scindere questi due aspetti è necessario un approccio anche didattico a questi argomenti. Pochi sanno che grazie alla fisica quantistica è stato possibile realizzare strumenti come il laser e le risonanze magnetiche, sviluppare la tecnologia alla base delle apparecchiature elettroniche, le telecomunicazioni e le reti informatiche. Persino la fotocopiatrice è basata su un fenomeno prettamente quantistico: l'effetto fotoelettrico. Gran parte della tecnologia che utilizziamo quotidianamente è frutto di questa teoria. Il valore culturale e paradigmatico della teoria quantistica, le sue “idee”

base, strutturalmente diverse da quelle della fisica classica, e la possibilità di esplorare i limiti di applicabilità della teoria classica sono tra le motivazioni che anche la letteratura di ricerca ha messo in luce come principali (Pospiech et al. 2008). Un approccio didattico alla fisica moderna costringe a rivedere i fondamenti di molti aspetti della fisica classica, evidenziarne i limiti, cogliere analogie e convergenze con la “nuova fisica”. Questo aspetto è molto positivo perché costringe a rivedere i nodi salienti della didattica della fisica, a ripercorrere sentieri già tracciati o a scoprire strade inusitate. Le difficoltà di un efficiente approccio didattico, d'altro canto, risiedono nelle limitate conoscenze di matematica degli studenti dell'ultimo anno delle scuole secondarie: non si hanno adeguate conoscenze delle equazioni differenziali, dell'analisi complessa, solo per fare qualche esempio. Anche un approccio euristico non sempre è efficace in quanto molti concetti sono lontani dall'esperienza concreta e richiede notevoli capacità di astrazione.

Infine, vorrei far notare come, solo negli ultimi anni, lo studio della meccanica classica viene affrontato attraverso la risoluzione di esercizi, spesso formulati traendo spunto dalla realtà. Proprio la mancanza di riferimenti macroscopici che permettano di visualizzare alcuni fenomeni è una delle maggiori difficoltà di approccio alla risoluzione di problemi di fisica moderna. Altra difficoltà riscontrata è la complessità di alcuni concetti: il concetto di “onda” legato alla quantità di energia trasportata, il concetto di “determinismo” che si snoda attraverso i rudimenti del calcolo probabilistico, il significato intrinseco della relazione di Planck sono solo alcuni esempi più lampanti. L'approccio newtoniano allo studio del moto attraverso l'applicazione del secondo principio è di una eleganza disarmante. Ben più complesso è invece descrivere l'evoluzione spaziale e temporale di una grandezza astratta e non misurabile direttamente attraverso l'equazione di Schroedinger (Moriani et al. , 2011). Per sopperire e cercare di alleggerire il peso di tale difficoltà si ricorre spesso a relazioni semiclassiche che permettono di stimare ordini di grandezza o di studiare un fenomeno dal punto di vista qualitativo più che quantitativo: mi sto riferendo alla relazione del principio di indeterminazione tra coordinate e componente dell'impulso $\Delta p_x \Delta x \geq h$, alla relazione di De Broglie $\lambda = h/p$, alla relazione di Planck $E = h\nu$, dove h è la costante di Plank, p è l'impulso e ν è la frequenza.

Un approccio metodologico allo studio della Fisica Moderna potrebbe essere la suddivisione in tre macronodi didattici:

- la meccanica quantistica
- la relatività
- la fisica nucleare.

L'introduzione a questi tre temi della fisica moderna penso debba essere fatta gradualmente in modo da inserire alcuni concetti da interrogativi non risolti della fisica classica.

Gli approcci didattici, nella pratica attuale, generalmente percorsi, sono:

1. un approccio classico (a volte chiamato storico) che propone lo studio della fisica moderna a partire dalle tappe salienti dello sviluppo della fisica moderna stessa (dalle equazioni di Maxwell al bosone di Higgs)
2. un approccio euristico propone lo studio della fisica moderna attraverso esperienze salienti. A partire dall'esperienza si cerca di costruire l'impalcatura teorica.

Un approccio nuovo e interessante per la didattica della Meccanica Quantistica nella scuola secondaria, che è a metà strada tra i due proposti in precedenza, è il metodo della "somma sui molti cammini" proposto da Feynman. Questo approccio si adatta bene alla progettazione modulare delle unità di apprendimento proposta dalla più recenti teorie pedagogiche.

1. un terzo approccio alternativo mette al centro gli sviluppi del calcolo probabilistico.

A volte, l'approccio storico, che è quello più diffuso, è contestato in letteratura (Fabri, 1996), per diverse ragioni:

- A. quello che viene spesso presentato come approccio storico è, in realtà, solo una ricostruzione col senno di poi, che spesso con la vera storia e i fatti e delle idee ha poco in comune (Feynman, 1999). In particolare, un'analisi accurata dimostra che spesso i cosiddetti "esperimenti cruciali" non hanno avuto affatto quella funzione (un esempio canonico è l'esperimento di Michelson per la relatività)

- B. non è detto che il modo in cui si è arrivati a capire le cose nel tempo sia quello didatticamente più accessibile; può accadere che altre vie portino meglio a cogliere la sostanza delle idee che si vogliono trasmettere senza passare per i tentativi ed errori di cui è piena qualsiasi ricerca viva;

Non sono pienamente d'accordo con questa visione sull'approccio storico, perché spesso lo si confonde con l'approccio cronologico. La storia non è solo un susseguirsi di eventi ma un intreccio di nessi e connessi che, se opportunamente analizzati con senso critico e secondo una visione diacronica e sincronica, possono dare una visione d'insieme delle problematiche anche più complesse.

Indipendentemente dai vari approcci didattici, l'esigenza da parte di molti docenti di formarsi su questa parte della fisica spesso non affrontata neppure nei corsi universitari, è più che mai viva. È quanto emerge da una analisi statistica condotta tra i docenti delle province di Avellino e Salerno utilizzando *Google moduli* che sarà riportato nelle pagine successive. La richiesta di formazione sembra riguardare, più che i contenuti, le metodologie da utilizzare per un corretto approccio didattico non solo all'insegnamento della Fisica moderna ma anche alla Fisica più in generale.

2.3 La formazione docenti e la “buona scuola”

Con la legge 107/2015, denominata la “buona scuola”, inoltre altre novità vengono introdotte nella scuola italiana. È previsto il potenziamento delle competenze linguistiche con l'avvio a regime dell'insegnamento di una disciplina dell'ultimo anno in lingua straniera. È previsto il potenziamento delle competenze digitali per far fronte ai rapidi mutamenti sociali a cui la scuola inevitabilmente deve adeguarsi. Inoltre è prevista la formazione obbligatoria dei docenti, introdotta con il comma 123 della Legge 107/2015, che presto sarà effettiva: sono previste 125 ore da fare ogni triennio. In particolare, viene (re)introdotta la quantificazione della formazione obbligatoria attraverso il seguente meccanismo:

1. viene istituita una nuova unità di misura per quantificare l'impegno in attività di formazione: l'unità formativa;
2. in analogia ai crediti formativi universitari tale unità di misura è pari a 25 ore di impegno;

3. ogni unità può essere costituita da una pluralità di attività;
4. la formazione è in presenza e a distanza;
5. la formazione può avere anche il carattere di sperimentazione didattica e ricerca/azione
6. la formazione può costituire anche attraverso lavori in rete e riguardare approfondimento personale e collegiale;
7. la formazione deve essere documentabile attraverso varie forme di restituzione/rendicontazione, con ricaduta nella scuola.

Di norma, per ogni unità formativa devono essere previste almeno 8 ore per attività in presenza e ciascun docente deve acquisire almeno cinque Unità Formative (UF) nel triennio. In sostanza, l'obbligo della formazione è pari, nel triennio, ad almeno cinque UF pari a 125 ore di impegno, di cui almeno 40 ore devono essere relative ad attività in presenza. Vengono introdotte le unità formative certificate per “itinerari formativi di notevole consistenza”, ad esempio:

- formazione sulle lingue e la metodologia CLIL (Content and Language Integrated Learning)
- coinvolgimento in progetti di rete
- particolare responsabilità in progetti di formazione
- ruoli di tutoraggio per i neoassunti
- animatori digitali e team dell'innovazione
- coordinatori per l'inclusione
- ruoli chiave per l'alternanza scuola-lavoro

Tali UF “potranno essere utilizzati a valere sui riconoscimenti di professionalità previsti dalle norme di legge”.

2.4 La prova autentica di Fisica

In relazione alle modifiche didattico-epistemologiche, all'esame di stato gli studenti dovranno affrontare un compito di realtà e questo presuppone una modifica sostanziale dell'approccio didattico alla disciplina anche della valutazione, che dovrà essere una valutazione autentica mediante apposite rubriche valutative.

Con la dizione generale “compito autentico” (authentic task) si indica un incarico assegnato e/o assunto dagli studenti, il cui scopo è di promuovere e di valutare, insieme a loro, le conoscenze, le abilità e le competenze utilizzate nell'affrontare problemi veri e reali (Glatthorn, 1999). Il compito autentico è stato variamente interpretato: come “compito di realtà” o “compito di vita reale” (real task o real live task), “compito di prestazione” (performance task), “compito esperto” (expert task), “compito professionale” (professional task). In letteratura, c'è chi sottolinea la differenza tra prova e compito (F. Tessaro, 2014). Le prove autentiche o di prestazione sono quelle in cui l'allievo è chiamato ad eseguire qualcosa, a mostrare un'abilità seguendo le regole o i passi di una procedura. Sono prove di prestazione tutte le esercitazioni disciplinari: di matematica (come svolgere un'equazione con dati riferiti ad un campo di gioco), di fisica (proseguire una fase in laboratorio), di informatica (dato un problema, costruire un diagramma di flusso o trasformare un algoritmo in una routine). Con questo tipo di prova l'oggetto specifico della valutazione è la prestazione, sia nello svolgersi della performance, durante l'esecuzione dell'attività, rilevando la regolarità delle procedure, la sequenza corretta dei passi, l'adesione alle norme e alle regole, sia nel risultato e/o nel prodotto finale, verificandone la corrispondenza ai criteri predefiniti. In ambito formativo, le prove di prestazione, se sono impiegate allo scopo di sviluppare e verificare le abilità, possono essere effettuate durante tutto il percorso, se invece sono impiegate, all'interno di compiti autentici, allo scopo di certificare, dovranno essere svolte alla conclusione di percorsi formativi o di periodi scolastici (F. Tessaro, 2014). Le prove, siano esse autentiche o meno, conservano l'impostazione stimolo-risposta di impronta behaviorista²: l'insegnante predispone gli stimoli, le domande o le richieste, conosce preventivamente le risposte o perlomeno i criteri di validità delle risposte o delle prestazioni, e gli allievi dal canto loro sono chiamati ad uniformarsi alle risposte o alle prestazioni attese. I compiti autentici si fondano, invece, sull'impostazione costruttivista secondo cui il soggetto produce la conoscenza nell'agire riflessivo in situazioni di realtà. I compiti sono problemi complessi, aperti, che gli studenti affrontano per apprendere ad usare nel reale di vita e di studio le

² Il comportamentismo (o behaviorismo o psicologia comportamentale) è un approccio alla psicologia, sviluppato dallo psicologo John Watson agli inizi del Novecento, basato sull'assunto che il comportamento esplicito dell'individuo è l'unica unità di analisi scientificamente studiabile della psicologia avvalendosi del metodo stimolo (ambiente) e risposta (comportamento), in quanto direttamente osservabile dallo studioso.

conoscenze, le abilità e le capacità personali, e per dimostrare in tal modo la competenza acquisita (Glatthorn, 1999). Ai fini della valutazione della competenza, la situazione di realtà è un elemento necessario per qualsivoglia tipo di approccio, per prove o per compiti, per problemi o per simulazioni (Alberici e Serreri, 2009). Ma non è sufficiente: ciò che distingue nettamente le prove dai compiti sono i paradigmi della competenza, responsabilità e autonomia, presenti solo nei compiti e non nelle prove. Con i compiti autentici lo studente esercita l'autonomia, si mobilita per costruire il suo sapere; è chiamato a selezionare, a scegliere e a decidere; con la responsabilità è tenuto a farsi carico e a rispondere delle sue decisioni e delle conseguenze che ne derivano. La scelta di inserire la prova scritta di fisica nei licei scientifici ha destato non poche polemiche nella comunità scientifica. Mentre l'alternanza della Matematica e della Fisica nella seconda prova scritta è stata accolta positivamente dalla comunità dei fisici, non tutti i matematici si sono detti d'accordo.

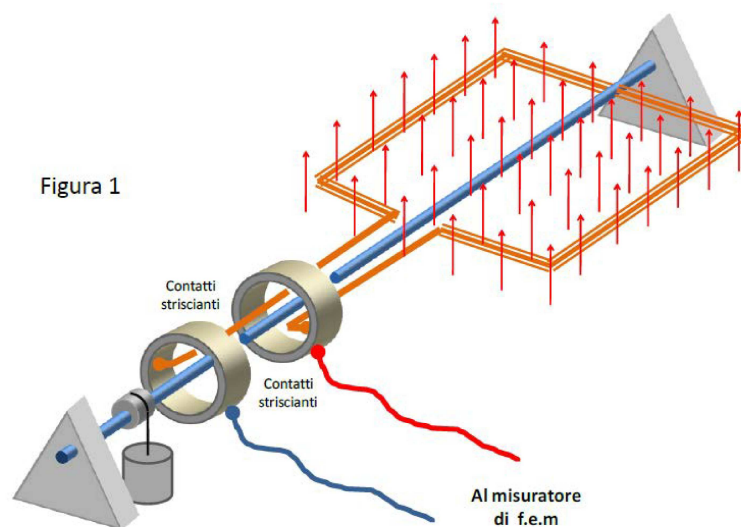
Inoltre, qualche dubbio, anche tra i fisici, ha destato la formulazione di questa seconda prova, almeno da quanto si può evincere dalle simulazioni ministeriali proposte alle scuole. Le seconde prove, infatti, vengono formulate in maniera tale da permettere una "valutazione autentica". Non c'è dubbio che la valutazione autentica è un vero accertamento della prestazione, perché da essa si capisce se gli studenti sono in grado di usare in modo intelligente ciò che hanno appreso. L'obiettivo di questo tipo di valutazione è, chiaramente, l'inserimento degli studenti nella vita reale dove non devono portare cumuli di nozioni bensì competenze ed abilità definite e finalizzate, e quindi è benvenuta questa richiesta. Tuttavia, l'introduzione troppo recente della fisica moderna all'ultimo anno e la prassi ancora poco diffusa della valutazione autentica non permette di affrontare una prova basata sulle competenze in modo sereno. Si riporta, in appendice, la simulazione destinata agli studenti delle classi quinte dei licei scientifici, per la preparazione agli esami di stato. Come si può vedere, si tratta di una prova che ha ben poco di "autentico"; sembra piuttosto che si tratti di una classica prova inserita alquanto artificiosamente in una situazione reale.

La valutazione autentica si colloca nell'ottica di una didattica per competenze, di cui chiariremo gli aspetti essenziali nel capitolo successivo, e non può prescindere, pertanto, prima da un rinnovamento della didattica tradizionale.

2.5 Appendice

2.5.1 Problema 1

In laboratorio è stato preparato il dispositivo rappresentato in Figura 1. La bobina è costituita da 100 spire rettangolari di rame i cui lati misurano 25 cm e 30 cm. La bobina può ruotare con attrito trascurabile intorno al suo asse e durante la rotazione le estremità del filo strisciano su due anelli conduttori, mantenendo con essi un contatto elettrico. La bobina è immersa in un campo magnetico uniforme e costante. Sull'asse della bobina è montato un cilindro intorno al quale è avvolto un filo. All'estremità del filo è sospeso un pesetto. Quando il pesetto viene lasciato libero, esso cade verso il basso mettendo in rotazione la bobina. Alla partenza del pesetto il piano della spira è perpendicolare alla direzione del campo magnetico. Durante la rotazione della bobina, alle sue estremità, che restano aperte in modo che non circoli corrente, si produce una f.e.m. il cui valore viene rilevato da un sistema di acquisizione automatico che acquisisce 1000 valori al secondo. In Figura 2 sono stati riportati i dati sperimentali acquisiti dal sistema. Questo grafico rappresenta in ordinata la f.e.m. prodotta alle estremità della bobina durante la caduta del pesetto ed in ascissa il tempo. La Figura 3 rappresenta lo stesso grafico di Figura 2. In quest'ultimo grafico i punti sperimentali sono stati uniti da segmenti per migliorarne la leggibilità.



- 1) Spiega il fenomeno fisico che produce la f.e.m. alle estremità della bobina e, sulla base di esso, spiega il particolare andamento del grafico sperimentale.
- 2) Utilizza la legge del fenomeno fisico per dedurre teoricamente la funzione matematica che descrive la f.e.m. alle estremità della bobina in funzione del tempo e verifica che la funzione ottenuta, coerentemente con il grafico sperimentale, abbia ampiezza crescente e periodo decrescente. Considera l'intensità del campo magnetico B e l'accelerazione angolare α della bobina come parametri. Considera inoltre aperte le estremità della bobina.
- 3) Deduci dal grafico sperimentale le informazioni quantitative necessarie per determinare il valore dell'accelerazione angolare della bobina e l'intensità del campo magnetico in cui ruota la bobina.
- 4) Spiega qual è il significato fisico dell'area, evidenziata in Figura 3, compresa tra ogni semiperiodo e l'asse dei tempi. Verifica, utilizzando la funzione $y = f(t)$, che queste aree hanno, in modulo, tutte lo stesso valore.

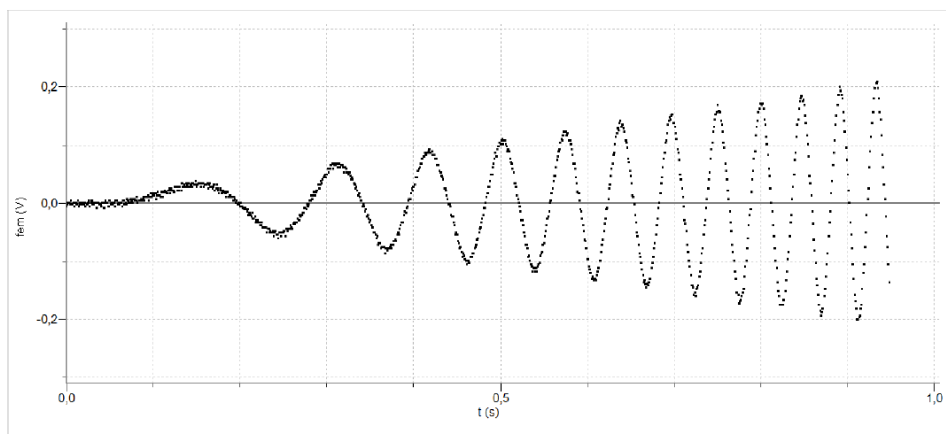


Figura 2

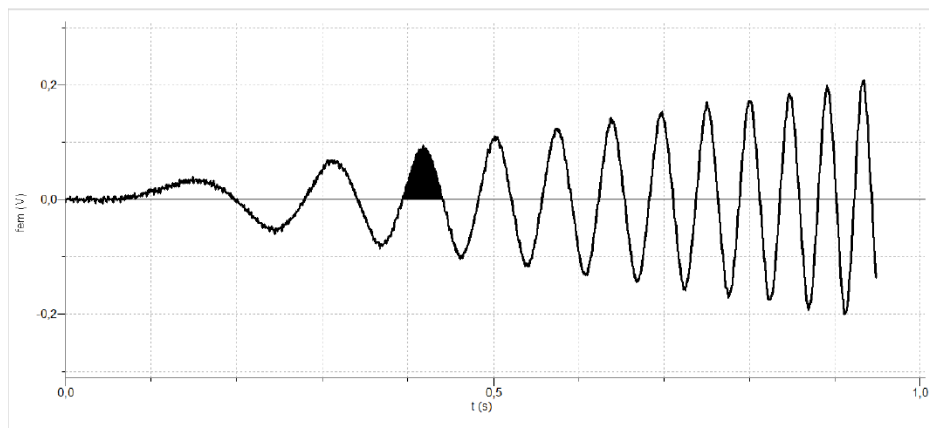


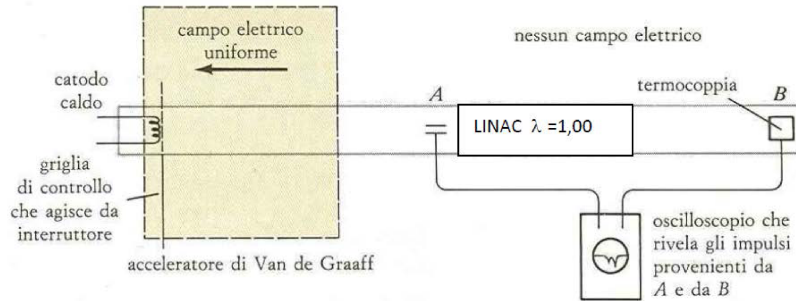
Figura 3

2.5.2 Problema 2

Negli anni 1963-1964 il fisico W. Bertozzi con la sua equipe realizzò un esperimento al MIT di Boston verificando l'esistenza di una velocità limite, pari a quella della luce nel vuoto.

Secondo la fisica classica è possibile accelerare un corpo dalla quiete fino a una velocità qualunque, per quanto grande essa sia, mentre per la relatività questo non è possibile. L'esperimento consiste nell'accelerare elettroni attraverso opportuni campi elettrici prodotti da una un acceleratore di Van de Graaff e da un acceleratore lineare a radiofrequenza (LINAC). Il fascio di elettroni è prodotto da un catodo caldo, sotto forma di impulsi della durata di 3 ns ($3 \cdot 10^{-9}$ s) e viene accelerato dall'acceleratore di Van de Graaff attraverso differenze di potenziale variabili fino a un massimo di 1,5 milioni di volt. Gli elettroni, usciti dall'acceleratore di Van de Graaff, attraversano un tubicino metallico posto in A nel quale inducono un impulso di corrente che viene inviato all'oscilloscopio (vedi Figure 1 e 2). Il tragitto da A e B è lungo 8,40 m ed è privo di aria e di campi elettrici che possano modificare la velocità degli elettroni (l'acceleratore LINAC è spento in una prima fase dell'esperimento e in particolare non è utilizzato nelle prime tre misure di sotto riportate). Arrivati in B gli elettroni urtano un disco di alluminio nel quale provocano un impulso di corrente che viene inviato anch'esso all'oscilloscopio. Sull'oscilloscopio la distanza tra i due impulsi dà la misura del tempo impiegato dagli elettroni per andare da A a B e quindi, nota la distanza AB,

è possibile calcolare la loro velocità. Ogni quadretto del reticolo dell'oscilloscopio (divisione) corrisponde ad un tempo di circa $(0,98 \cdot 10^{-8} s)$.



Fonte: http://giulioannovi.altervista.org/fisica/quinta/Energia_cinetica_relativistica.pdf

Figura 1

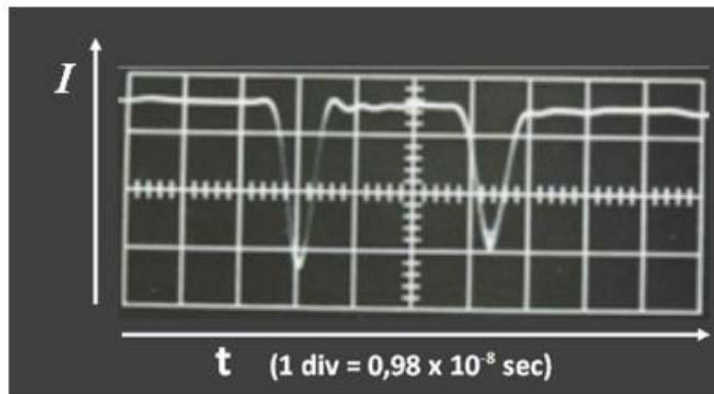


Figura 2 Impulsi provenienti da A e da B

Leggendo sull'oscilloscopio la distanza tra i due impulsi, al variare della differenza di potenziale applicata dall'acceleratore agli elettroni, si ottengono i seguenti valori (Tabella 1).

Differenza Potenziale ($10^6 V$)	0,5	1,0	1,5
N° divisioni tra i due impulsi	3,30	3,10	2,95

Tabella 1

In una seconda fase dell'esperimento, per aumentare ulteriormente l'energia degli elettroni viene utilizzato anche l'acceleratore lineare (LINAC) presente nel primo metro successivo al punto A, nel quale gli elettroni vengono accelerati da ulteriori 3,0 milioni di volt.

Nell'esperimento viene anche misurato il calore prodotto dagli elettroni sul disco B adoperando una termocoppia, e la carica incidente sullo stesso disco B, per mezzo di un misuratore di cariche. I risultati ottenuti per due diversi valori di differenza di potenziale complessiva sono (Tabella 2):

Differenza Potenziale ($10^6 V$)	1,5	4,5
Energia del fascio in B (J)	10,0	29,2
Carica del fascio in B (μC)	6,1	6,1

Tabella 2

Dopo questa breve esposizione, ti viene richiesto di:

- 1) Analizzare l'esperimento descritto e rappresentare in un piano cartesiano l'andamento di $\frac{v^2}{c^2}$, dove v è la velocità degli elettroni nel punto B e c è la velocità della luce nel vuoto, in funzione del lavoro W compiuto dal campo elettrico nell'acceleratore, sia per i valori di velocità previsti dal modello classico che per i valori effettivamente misurati nell'esperimento.
- 2) Individuare il modello fisico più adatto a descrivere la situazione sperimentale, relativamente all'andamento di $\frac{v^2}{c^2}$ in funzione del lavoro W compiuto dal campo elettrico nell'acceleratore.
- 3) Calcolare l'andamento $\frac{v^2}{c^2}$ di atteso in base al modello fisico individuato, confrontandolo con l'andamento sperimentale.
- 4) Verificare, utilizzando i dati di Tabella 2 nei casi di differenza di potenziale 1,5 e 4,5 milioni di volt, che l'energia cinetica posseduta dagli elettroni quando arrivano in B è circa uguale a quella fornita dall'acceleratore, giustificando così la seguente affermazione: "Il fatto che il valore della velocità misurata sia

inferiore a quello previsto dalla fisica classica non è dovuto a perdite di energia nell'apparato”.

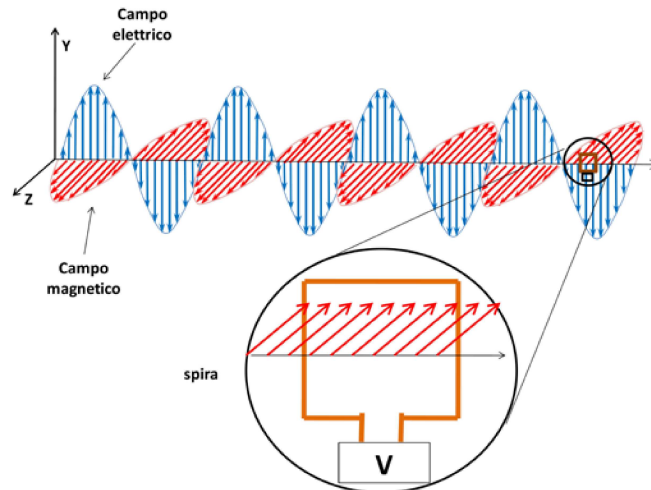
2.5.3 Questionario

- 1) Una lampadina a incandescenza di potenza $P = 100W$ emette luce in maniera isotropa. Se viene posta al centro di una stanza cubica di lato $L = 7m$, quanta energia arriverà in 10 minuti sul soffitto della stanza?
- 2) Un elettrone e un positrone (antiparticella dell'elettrone con la stessa massa dell'elettrone, ma con carica opposta) si muovono uno contro l'altro con la stessa velocità. L'energia posseduta da entrambe le particelle è di $1,51MeV$. Sapendo che la loro massa a riposo è di $0,511 \frac{MeV}{c^2}$, qual è la velocità del positrone nel sistema di riferimento dell'elettrone?
- 3) Un atomo di idrogeno si trova in uno stato eccitato dopo aver assorbito un fotone ultravioletto di lunghezza d'onda $\lambda = 97,2nm$. Questo atomo può riportarsi allo stato fondamentale seguendo diverse transizioni a ognuna delle quali corrisponde la emissione di luce di una particolare lunghezza d'onda. Quante sono le transizioni possibili che provocano emissione di fotoni con lunghezza d'onda diversa da quella del fotone assorbito? Quali tra queste transizioni provocano emissione nel visibile? (*costante di Rydberg: $R = 1,0974 \cdot 10^7 m^{-1}$*)
- 4) Un'antenna ricevente semplificata è costituita da una spira di rame di forma quadrata. Il lato della spira misura 20 cm e le sue estremità sono collegate ad un voltmetro. Quest'ultimo è impostato in modo da fornire il valore efficace della f.e.m. ai capi della spira, ovvero:

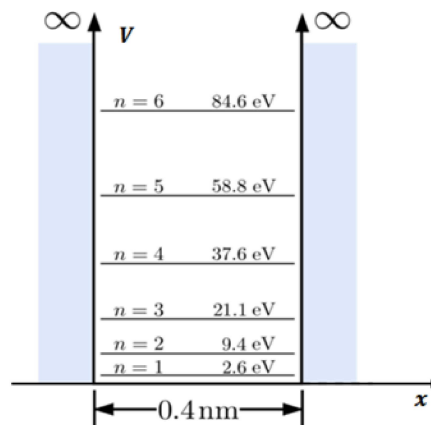
$$(f.e.m.)_{eff} = \frac{(f.e.m.)_{max}}{\sqrt{2}}$$

Queste radio trasmettono ad una frequenza di $27MHz$ e la legge impone loro di trasmettere con una potenza non superiore a $4W$ per non disturbare la ricezione delle trasmissioni radiofoniche e televisive. Talvolta i radioamatori non rispettano questo limite e trasmettono con potenze che possono arrivare a $200W$. Si vuole stabilire se la ricetrasmittente in esame rispetta il limite di

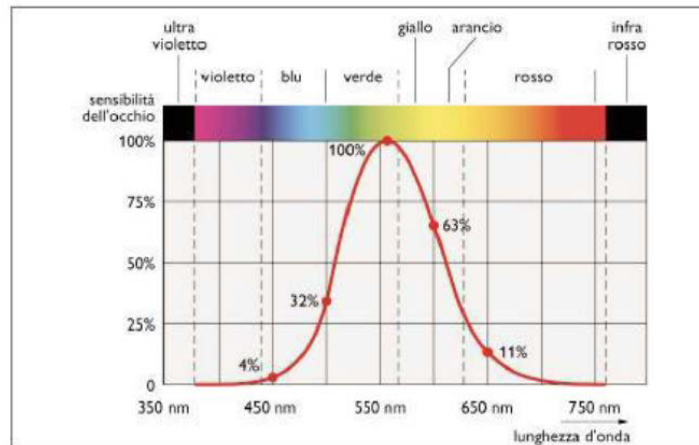
potenza imposto dalla legge. Il nostro voltmetro misura il massimo della f.e.m. quando il piano della spira è parallelo alla direzione di propagazione dell'onda e perpendicolare al campo magnetico, come mostrato in figura. Il valore efficace di questa f.e.m. è di $12,5mV$. Qual è la potenza emessa dall'antenna della ricetrasmittente?



- 5) Nel grafico sono rappresentati i livelli energetici di una particella di massa confinata in una buca di potenziale infinita unidimensionale (detta anche pozzo). Utilizzando il principio di de Broglie e assumendo che la funzione d'onda stazionaria si annulli sui bordi della buca, determina la massa della particella.



- 6) La figura riportata di seguito mostra come varia la sensibilità relativa percentuale del nostro occhio³ al variare della lunghezza d'onda nello spettro visibile. Il massimo della sensibilità (posto pari a 100%) si ha per $\lambda = 555 \text{ nm}$.



Utilizzando i dati del grafico di figura (usa solo le lunghezze d'onda per cui sono riportati i valori della sensibilità relativa percentuale in forma numerica) traccia un grafico approssimativo che indichi di quanto deve aumentare l'intensità della radiazione incidente sulla retina dell'occhio, in modo che l'energia inviata dalla retina al cervello alle varie lunghezze d'onda sia la stessa (si ponga uguale a 1 l'intensità pari alla massima sensibilità relativa).

Determina, inoltre, quanti fotoni a $\lambda=650 \text{ nm}$ devono giungere sulla retina affinché essa invii al cervello la stessa energia che invia quando su di essa giungono 1000 fotoni di lunghezza d'onda $\lambda=555 \text{ nm}$.

³ NOTA: La sensibilità assoluta del nostro occhio per una particolare lunghezza d'onda è definita come il rapporto tra l'energia che viene inviata dalla retina al cervello (ad esempio sotto forma di corrente elettrica) e l'energia dell'onda elettromagnetica incidente sulla retina. La sensibilità relativa percentuale per una particolare lunghezza d'onda è definita come il rapporto tra la sensibilità assoluta a quella lunghezza d'onda e la sensibilità assoluta alla lunghezza d'onda $\lambda=555 \text{ nm}$, il tutto moltiplicato per 100.

3 Il quadro teorico

Il secondo capitolo è destinato ad illustrare il quadro teorico, substrato delle sperimentazioni didattiche realizzate. In particolare, sono enucleati i principi fondamentali della Teoria Enattiva (TE) quale cornice pedagogica del quadro didattico delle attività. Si delineano, inoltre, nei tratti essenziali, le linee della didattica per competenze, se ne chiariscono alcuni aspetti, già introdotti nel capitolo precedente, prima in generale e poi, nello specifico, in relazione all'insegnamento – apprendimento della fisica. È illustrata la metodologia della ricerca e della progettazione: in particolare, è illustrato il Modello della Ricostruzione Educativa (the Model of Educational Reconstruction) denominato con l'acronimo MER con riferimento agli strumenti e ai metodi per l'analisi dei dati e la Ricerca Basata su Progetti (Designed-Based-Research) denominata con l'acronimo DBR. Sono delineati, infine, gli elementi essenziali della valutazione per competenze in fisica.

3.1 La teoria enattiva

La cornice epistemologica della presente ricerca è quella dell'Enattivismo. Tale teoria sostiene che la conoscenza nasce attraverso una interazione dinamica tra un organismo che agisce e il suo ambiente (E.A. Di Paolo e E. Thompson, 2010). Essa sostiene che il nostro ambiente è quello che creiamo selettivamente attraverso le nostre capacità di interagire con il mondo (M. Rowlands, 2010). Gli organismi non ricevono passivamente informazioni dal loro ambiente, che poi si traduce in una rappresentazione interna. Sistemi cognitivi naturali ... partecipano ad una sorta di generazione di significato ... si impegnano in interazioni meramente informative di trasformazione e non, mettono in scena un mondo " (EC. Cuffari, et al., 2015)

Il termine “Enattivismo” deriva da “Enazione” (enaction), definita come "il modo in cui un soggetto fa corrispondere creativamente le proprie azioni alle esigenze della situazione in cui si trova". (J. Protevi, 2006). L'introduzione del termine enaction, in questo contesto, è attribuita a Francisco Varela, Evan Thompson, ed Eleanor Rosch (Varela et al, 1992). che hanno proposto il nome per "sottolineare la crescente convinzione che la cognizione non è la rappresentazione di un mondo pre-determinato ma è piuttosto l'emanazione di un mondo sulla base della varietà di azioni che un essere

compie". Anche se il primo che ha utilizzato questo termine è stato Jerome Bruner (Bruner, 1996). Egli ha introdotto il termine "enaction" come sinonimo dell'espressione "learning by doing" per mettere in evidenza come i bambini imparano facendo, e come possono meglio essere aiutati a imparare. Bruner ha associato l'enazione con altri due modi di organizzazione della conoscenza: iconici e simbolici. "Ogni dominio di conoscenza (o qualsiasi problema all'interno di quel dominio della conoscenza) può essere rappresentato in tre modi: da un insieme di azioni appropriate per ottenere un certo risultato (rappresentazione enattiva), da una serie di immagini di sintesi o grafiche che si distinguono per un concetto senza definirlo completamente (rappresentazione iconica), e da un insieme di proposizioni simboliche o logiche tratte da un sistema simbolico che è governata da regole o le leggi per la formazione e la trasformazione proposizioni (rappresentazione simbolica)" (Bruner, 1966) Questo concetto è stato ulteriormente sviluppato da Thompson (Thompson, 1991), ponendo l'accento sull'idea che l'esperienza del mondo è il risultato di reciproca interazione tra le capacità sensomotorie dell'organismo e del suo ambiente. L'autore Francisco J. Varela, neuro scienziato cileno morto a soli 55 anni nel maggio 2001, fra l'altro, lo usa per designare il proprio approccio in quanto il processo di emanazione di una legge costituisce un'ottima metafora di ciò che più gli sta a cuore, ovvero sottolineare lo stretto rapporto che esiste tra azione e agente nel processo cognitivo, pur nel rispetto dei vincoli posti dall'ambiente.

L'Enattivismo offre una serie di suggestioni molto significative che permettono di ipotizzare una nuova concezione del processo conoscitivo e del ruolo del soggetto in esso. In particolare, assumono una valenza primaria l'idea di una stretta relazione tra mente e corpo, tra artefatto e mondo e che vede il soggetto, immerso nel reale, definire il suo percorso e al contempo subirne i vincoli. La teoria Enattiva sembra rappresentare, per alcuni, una via di mezzo tra il costruttivismo forte e il soggettivismo eccessivo. Per essa, la conoscenza è il processo continuo che modella il nostro mondo mediante il gioco reciproco tra i vincoli esterni e l'attività generata internamente. Con l'Enattivismo il soggetto è immerso nella realtà, non è di fronte al mondo, ma è nel mondo (Varela et al., 1991) e la conoscenza è definita come enazione di un mondo ovvero come produzione ed elaborazione di significati a partire da esperienze e azioni nel mondo e sul mondo rese possibili dal possesso di un corpo che pone in contatto con

l'esterno e con l'altro da sé; la conoscenza non è un insieme di operazioni formali e non è fatta di manipolazioni su simboli astratti. Il soggetto non riceve passivamente informazioni dall'ambiente per poi tradurle in rappresentazioni mentali ma partecipa attivamente a creare i significati per lui rilevanti ai fini del mantenimento della propria identità ed integrità. Inoltre, secondo la teoria Enattiva, c'è il superamento del dualismo cartesiano mente-corpo andando sia oltre il soggettivismo che concepisce la realtà come costruita dal soggetto ma è “altro da sé” sia oltre l'oggettivismo secondo cui la conoscenza è rappresentazione oggettiva della realtà. Diversamente, l'Enattivismo sostiene l'idea che la conoscenza non è un processo soltanto razionale-cognitivo e prettamente individuale, ma è un flusso circolare e continuo di interazioni senso-motorie tra cervello-corpo-ambiente.

Si evince pertanto che il modello enattivo concepisce il processo di apprendimento in maniera piuttosto diversa rispetto al modello cognitivista, attualmente ancora dominante. Uno schema che dà significato a tale differenza può essere il seguente:

	Modello cognitivista egemone	Modello enattivo
Apprendimento	1. Orientato ad obiettivi	Creatore
	2. Rivolto alla soluzione dei problemi	Rivolto alla definizione dei problemi
	3. Astratto, simbolico, universale	Storico, incarnato, contestuale
	4. Centralizzato	Distribuito
	5. Sequenziale, gerarchico	Non-lineare
	6. Fondato su rappresentazioni	Fondato su azioni
	7. Regolato da programmi	Regolato da strategie

In connessione con le attuali teorie dell'azione, l'Enattivismo riconosce all'azione un ruolo fondamentale nel processo conoscitivo: essa diviene il punto di incontro tra

soggetto e oggetto. La conoscenza si produce nell'interazione tra cervello-corpo-ambiente nell'azione stessa, in un processo in cui si conosce il reale mentre lo si trasforma, e lo si trasforma mentre lo si conosce.

Nella teoria enattiva la cognizione viene, dunque, intesa come “azione incarnata” (embodied cognition).

L'azione produce inevitabilmente degli effetti, dei feedback che finiscono per incidere sui fini, ridefinendoli in itinere. L'azione, mentre si svolge, produce una conoscenza che va a modellare e ridefinire il corso, lo stato dei sistemi, nonché il senso dell'azione stessa (Luhmann, 1989).

Nell'azione, la dimensione interattiva si aggancia alla dimensione razionale-cognitiva in un circolo in cui si alimentano l'una nell'altra. Si supera il modello computazionale basato sulla sequenza lineare informazione-elaborazione-decisione-azione, per muoversi verso un modello che riconosce nell'azione la contemporanea presenza del momento conoscitivo e di quello decisionale. Berthoz (Berthoz 2008) evidenzia come la decisione sia sempre interna e connessa all'azione e sia frutto di un continuo confronto tra quanto sta accadendo con le anticipazioni che vengono prodotte in base alle esperienze pregresse. Secondo Berthoz, tre sono gli elementi che concorrono nella presa di decisione. Anzitutto una focalizzazione sull'azione nella sua specificità per identificare quegli elementi da cui trarre suggerimenti per agire in modo coerente con le esigenze della situazione. Il secondo elemento è una conseguente valutazione, rapida e immediata, dei possibili vantaggi e svantaggi derivanti da una o l'altra scelta, con una proiezione dello scenario futuro risultante dalla ipotetica scelta. In questa seconda fase la dimensione temporale ha un peso enorme: la decisione va presa in tempi rapidissimi, dell'ordine di pochi secondi, e ciò richiede di selezionare le numerose informazioni del contesto, attraverso un sistema di supervisione attentiva (Miller, Cohen, 2001). Il terzo elemento è il desiderio di ancorare quanto più possibile il comportamento alla realtà effettiva della situazione, trovare quindi un'azione adeguata al contesto che risponda in modo efficace alle istanze percepite nella specifica situazione. Si potrebbe dire che la decisione *in situ* sviluppa un movimento ciclico di andata e ritorno tra l'intenzione assegnata all'azione e il risultato effettivo in contesto, il quale inevitabilmente conduce a ridefinire in itinere le intenzioni e rimodula il comportamento.

Negli ultimi anni, i contributi delle neuroscienze, in particolare la scoperta dei neuroni specchio (mirror neuron system), hanno contribuito a rafforzare quel concetto di continuum mente-corpo-mondo teorizzato da Varela e dall'Enattivismo. Rifiutando la visione prettamente mentalista dell'intersoggettività, che vede necessaria un'attività inferenziale per comprendere le azioni e intenzioni altrui, Gallese (Gallese, 1996) suppone esista un meccanismo neurofisiologico che si attiva nelle relazioni interpersonali, grazie al quale il soggetto può porsi in maniera immediata in sintonia con l'altro da sé. Secondo questa ipotesi, nel momento in cui un soggetto stabilisce un'interazione con un altro, si attiverebbe un meccanismo neurale di simulazione incarnata, (embodied simulation) grazie all'azione dei neuroni specchio che fungono da meccanismo di risonanza. In breve, quando osserviamo una persona compiere un'azione, in noi stessi si attivano gli stessi meccanismi neurali che si attiverebbero se compissimo noi l'azione. Grazie a questo meccanismo ogni individuo è potenzialmente in grado di entrare nel framing⁴ cognitivo dell'altro, avvicinarsi ai suoi schemi cognitivi, comprenderne immediatamente le azioni, le intenzioni alla base, le emozioni e le concettualizzazioni, senza ricorrere a strategie cognitive, ma, semplicemente, grazie all'attivazione del medesimo meccanismo neurale nel proprio corpo. Secondo Gallese, il meccanismo della simulazione sarebbe attivo ogni volta che siamo coinvolti in qualsiasi forma di relazione interpersonale, poiché permette la comprensione non solo di azioni, ma anche di sensazioni, emozioni, esperienze linguistiche. La sintonizzazione intenzionale con l'altro da sé è il meccanismo fondamentale perché ci sia socialità, l'azione condivisa è tale se i soggetti possono, in un certo senso, accedere agli stati mentali e fisici altrui, per impegnarsi in un'azione di costruzione di senso partecipata che porti all'emergenza di significati condivisi.

L'Enattivismo si presenta oggi come un paradigma alternativo al Costruttivismo, recuperandone certi aspetti ma ponendosi in contrasto rispetto, invece, ad altri.

L'Enattivismo condivide con il Costruttivismo l'assunto che la realtà sia dipendente dal soggetto, sebbene per un differente motivo: il soggetto è inseparabile dal mondo col quale è unito in una relazione di mutua specificazione e co-emergenza. Inoltre, altro

⁴ Il termine framing si riferisce ad un processo inevitabile di influenza selettiva sulla percezione dei significati che un individuo attribuisce a parole o frasi.

elemento fondante ripreso dal Costruttivismo è il ruolo attivo riconosciuto al soggetto conoscente, un soggetto tuttavia non isolato dal mondo ma immerso in esso.

Il vero punto di demarcazione può, invece, individuarsi nell'idea della generazione di un mondo di significati (“bringing forth a world”): la conoscenza non è né rappresentazione mentale di una realtà esterna né tantomeno una costruzione soggettiva, bensì è enazione, estrapolazione di significati e di un mondo nel corso di un'interazione senso-motoria con l'ambiente e con gli altri.

Il Comportamentismo si rivolge all'azione in quanto unica via per poter accedere agli stati mentali e comprendere così i processi cognitivi; diversamente, l'Enattivismo ritiene che l'azione stessa, consapevole e intenzionale, sia conoscenza. Il secondo aspetto riguarda la relazione causale: se nel Comportamentismo è possibile prevedere gli output e, pertanto, manipolare gli input al fine di ottenere specifici effetti, nell'Enattivismo i risultati non sono prevedibili né predeterminati in quanto il sistema evolve continuamente. (J. Proulx, 2004)

La teoria enattiva può apportare molti benefici in ambito educativo (Holton, 2010): la rimozione della dicotomia interno / esterno, ancora presente nel Costruttivismo; una maggiore umanizzazione degli alunni dato il carattere embodied della conoscenza, con una conseguenza rivalutazione degli aspetti non prettamente cognitivi che intervengono nel processo di apprendimento; l'importanza di creare un ambiente che supporti l'utilizzo del corpo e della gestualità per ampliare il dominio di possibilità di azione; una concezione dell'insegnamento quale attività inclusiva non solo di parole, letture e scritture, ma anche di gesti, manualità, movimento, espressioni facciali; una visione dell'apprendimento come attività che deve tendere allo sviluppo della persona considerata nella sua interezza.

Trasposto in ambito didattico, è evidente come il focus si sposti verso una nuova direzione: non più sul polo docente, né su quello studente presi in isolamento, bensì sulla loro interazione in situazione. Lo studente è parte del contesto tanto quanto il docente; questi, più che la fonte della conoscenza, è co-costruttore di conoscenza assieme agli studenti.

Non si può parlare di obiettivi predefiniti, piuttosto essi sono costruiti, modificati, negoziati assieme agli studenti. Ciò non vuol dire che il percorso debba essere goal free: gli obiettivi vanno definiti in modo tale da offrire sufficiente libertà agli studenti

perché ciascuno possa apprendere nel modo che gli è più congeniale. Non è possibile ricercare una singola migliore sequenza di lezione per l'apprendimento (Jonassen, 2001), piuttosto si chiede all'insegnante di creare un ambiente di apprendimento ricco e complesso, che offra molti stimoli tali da permettere al soggetto di porsi come attore, ma presenti, al contempo, sufficienti costrizioni che guidino gli alunni verso i desiderati pattern di coevoluzione. Se l'apprendimento è una continua enazione di significati, l'insegnamento dovrebbe slittare dalla dimensione del trasmettere e del dire, a quella dell'ascolto, della discussione, del guidare l'attenzione verso pattern di evoluzione possibili. Non basta che si dia insegnamento perché avvenga apprendimento: il motore della coevoluzione risiede infatti nella dimensione intersoggettiva, nell'interazione con l'altro da sé, sia materiale che personale.

Nell'interazione si strutturano ed evolvono ruoli e proprietà dei protagonisti; l'autonomia del singolo non è limitata dal contatto con l'altro, anzi la presenza dell'altro è fondamentale poiché amplia le possibilità di azione di ciascuno. Emerge così un terzo polo, non identificabile né nel docente né nello studente ma nel loro incontro. Tra insegnamento e apprendimento si colloca un terzo, l'altro componente della relazione didattica. Esiste un terzo pedagogico che opera in quello spazio di mezzo tra il docente e lo studente, lo spazio-tempo in cui si articola il rapporto tra le due traiettorie di insegnamento e apprendimento (Damiano, 2013)

L'insegnamento non produce apprendimento, né può parlarsi solo di una costruzione di conoscenza in totale autonomia; nel mezzo, c'è una dimensione che risulta essere fondamentale per spiegare la genesi dell'apprendimento, ed è la dimensione relazionale in cui la traiettoria del docente e quella dello studente si incontrano a formare una unità e si volgono verso il medesimo oggetto culturale.

Gli oggetti culturali si impongono nella relazione tra docente e studenti (Latour, 1987): non vanno fruiti passivamente né possono essere attivati in qualsiasi modo indistintamente: essi hanno un proprio modo di funzionamento sono attivabili soltanto seguendo procedure specifiche, impongono agli interlocutori precise modalità di interazione e rendono possibili certe azioni e non altre. La loro natura non cambia, ciò che cambia quando inseriti nel processo è la natura del rapporto che i singoli intrattengono con essi, e l'utilizzo che di essi viene fatto al fine di condurre verso un apprendimento. Di seguito viene riportato un grafico, tratto dal volume “La mediazione

didattica” di Elio Damiano (p.157), in cui è evidenziata la natura complessa dell'interazione docente-studenti.



Il triangolo è ben visibile, (come scrive l'autore, la freccia centrale – quella dell'insegnare – è tenuta a modularsi in direzione della doppia polarità tra alunno e sapere) anche se è stato fatto ruotare di 90°, con l'insegnante collocato sul vertice sinistro per chi guarda: è lui l'operatore centrale della mediazione ed è da lui che si dipartono le due “leve” – una pedagogica, l'altra didattica – che poggiano su due “fulcri” (a1 e a2) per esercitare una duplice forza: quella della tolleranza pedagogica e quella dell'ostinazione didattica (Develay, 1992). Si tratta di due espressioni riprese dae stanno ad indicare, rispettivamente, lo stimolo ad avvicinare il soggetto in apprendimento al sapere e, inversamente, il sapere al soggetto in apprendimento. Mentre la freccia della leva pedagogica traccia un percorso (quello tratteggiato in alto) con doppio verso, la leva didattica attiva una freccia a un solo verso. La differenza sta a segnalare che la leva pedagogica deve essere flessibile, reciproca, solidale e non può essere altrimenti, trattandosi della relazione tra i due soggetti protagonisti dell'azione congiunta I/A; al contrario, l'altra non cessa mai di muoversi nella direzione che dal sapere va in cerca all'alunno. Infine, all'estremità destra della compessa figurazione si evidenzia un riferimento alla zona di apprendimento prossimale (Vjgotskij, 1934), rivolta a disegnare una strategia dell'insegnamento mirata a promuovere lo sviluppo del soggetto investendo su quell'area potenziale, pronta ma non ancora compiuta. (L.

Vjgotskji, 1990). Il triangolo è lo stesso di Houssaye, che riportiamo per chiarezza di idee:



Il cambiamento riguarda le posture: quella che collega, alla base, il sapere all'insegnante, prende il nome di disciplinarista, di didattizzazione; non si tratta di epistemologia perché siamo già dentro la situazione dell'insegnamento. Questa designazione consente di collocare al centro – come asse che sintetizza sia la didattizzazione (con il sapere) che la formazione (la relazione pedagogica tra insegnante e alunno) – il processo di apprendimento che si conferma come attività non delegabile dell'alunno.

L'autore descrive come tale triangolo pone al centro una duplice valenza dell'attività di insegnamento: nell'accompagnare il processo di apprendimento esso si muove tra due polarità, quella del sapere e quella dello studente. L'insegnante si colloca al vertice poiché è da lui che prendono vita le due leve del processo, quella pedagogica e quella didattica. La leva pedagogica si sostanzia nel cercare di avvicinare il soggetto apprendente al sapere, allinearsi ai suoi schemi cognitivi, creare un'intesa a più livelli, porlo in condizioni di poter accedere da solo al sapere. Poiché coinvolge la relazione tra i due soggetti, essa deve necessariamente essere flessibile, sensibile, solidale. Una sorta di tutela.

La leva didattica, diversamente, si volge a cercare di avvicinare il sapere al soggetto.

Si tratta di rendere il sapere accessibile allo studente con le opportune azioni di modulazione sugli oggetti culturali. Nell'azione congiunta con lo studente si può assistere ad un continuo *shift* tra le due dimensioni, quella epistemologica-didattica e quella pedagogica-relazionale, al fine di condurre lo studente verso quella zona di sviluppo prossimale che si reifica grazie all'interazione, e rende possibili avanzamenti nella conoscenza (Vygotskij, 1990)

In conclusione, emerge l'idea di un'azione di insegnamento che si svolge come mediazione, come attività che ponendo più polarità in relazione tra loro necessita di una continua regolazione in funzione dei risultati che via via ottiene.

La cosa importante è che non basta dire che cosa significhi “mediazione” e a chi tocchi (insegnante, esperti vari), con quali mezzi si pratici (attrezzi e macchinari) quale aspetto dell'alunno possa riguardare con frutto (“zone” vigotskiane). La cosa importante è stabilire “come si fa”, ovvero individuare le metodologie di attivazione.

Nel processo di insegnamento - apprendimento della Fisica, la teoria Enattiva pensiamo trovi larga applicabilità e ne costituisca un solido substrato teorico.

Ogni teoria ha bisogno di essere messa a confronto con la realtà dei fenomeni. Se si vuole fare fisica, il ruolo dell'esperimento è fondamentale: l'esperimento infatti, se progettato adeguatamente, è in grado di dar ragione o torto ad un'interpretazione teorica di fatti sperimentali. “Le teorie fisiche tentano di costruire una rappresentazione della realtà e di determinarne i legami con il vasto mondo delle impressioni sensibili. Pertanto le nostre costruzioni mentali si giustificano soltanto se le teorie costituiscono realmente questo tipo di legame e secondo come lo costituiscono.” (Einstein, 1905)

Il lavoro sperimentale è, pertanto, parte integrante dell'insegnamento della fisica, in termini disciplinari: ne costituisce contenuto e riferimento epistemico di base per gli aspetti metodologici (Michelini). Il laboratorio, inteso, non solo come ambiente di apprendimento, assume la valenza di mediatore semiotico nella misura in cui, attraverso esso, l'azione didattica si esplica in un dialogico connubio tra docente – discente – apprendimento (Capone, 2016).

Tutte le attività progettate, dunque, hanno carattere marcatamente laboratoriale e la scelta di tali attività è racchiusa nell'area del triangolo didattico perché si è tenuto conto di esigenze didattiche (sapere), della progettazione curricolare del docente (insegnante)

e delle esigenze educative degli studenti (alunno). In particolare si è tenuto conto dei seguenti fattori (Michellini, 2007):

- Motivazione: interesse culturale degli esperimenti
- Abilità a previsioni quantitative
- Significatività delle statistiche
- Consapevolezza/ comprensione dell'utilità della misura
- Avere occasione / esperienza di progettazione misure
- Acquisire strumenti di gestione di metodi di analisi dati
- Capire il significato della misura e il ruolo dello strumento

Tutte le attività, inoltre, sono state progettate e sviluppate nell'ottica di una didattica per competenze, il cui significato chiariremo nella prossima sezione.

3.2 La Didattica per competenze

In una riflessione estremamente interessante sul senso di fare educazione oggi, Edgar Morin riprende tre ben noti aforismi rispettivamente di Eliot, Pascal e Montaigne:

"Dov'è la conoscenza che perdiamo nell'informazione? Dov'è la saggezza che perdiamo nella conoscenza?"

"Dunque, poiché tutte le cose sono causate e causanti, aiutate ed adiuvanti, mediate ed immediate, e tutte sono legate da un vincolo naturale e insensibile che unisce le più lontanane e le più disparate, ritengo che sia impossibile conoscere le parti senza conoscere il tutto, così come è impossibile conoscere il tutto senza conoscere il tutto?"

"E' meglio una testa ben fatta che una testa ben piena" (Morin 1999)

I nostri studenti sono bombardati da informazioni continue che provengono dai mass-media; a queste spesso dobbiamo aggiungere la mole di informazioni che provengono dalla impostazione nozionistica della vecchia didattica trasmissiva ed enciclopedica che non si riesce a mandare in soffitta. Le stesse tecnologie digitali, da un lato, garantiscono l'opportunità di estendere all'intero sistema formativo dei paesi sviluppati (dalla Scuola Primaria all'Università) un tipo di approccio *learning by doing* (Dewey, 1909) perché le tecnologie digitali naturalmente inducono a un metodo

interattivo e sociale nell'accostarsi alla conoscenza (*point; click and share*⁵); gli alunni e gli studenti nativi digitali praticano spontaneamente fuori da scuola questo tipo di comportamenti attraverso social-network e strumenti di comunicazione istantanea cui accedono attraverso notebook, consolle per video giochi, smartphone. D'altro canto, l'approccio digitale alla conoscenza, se non supportato da una didattica adeguata e veicolato attraverso metodologie al passo coi tempi, rischia di informare e non formare i nostri studenti, che, con un clic, soddisfano la curiosità del momento senza rendersi conto che quella informazione acquisita spesso non si traduce in conoscenza. Ancora più arduo è il passaggio dalla conoscenza a quella che Eliot chiama saggezza e che noi potremmo tradurre col termine competenza.

“Il sostantivo competenza deriva dal verbo competere. Quest'ultimo, di origine latina (*cum-petere*), sta ad indicare un'azione di “andare insieme, far convergere in un medesimo punto”; anche nell'accezione di gareggiare o di mirare ad un medesimo obiettivo. D'altra parte, “competente” è anche colui che ha autorità in un certo ambito. Un soggetto o un'istanza competente è dunque qualcuno considerato adeguato, che ha legittima giurisdizione, che ha facoltà di giudicare qualcosa e che, quindi, “se ne intende” (Cortelazzo e Zolli, 1994). Il concetto di “competenza” ha conosciuto un'interessante evoluzione nel tempo, che possiamo riconoscere in alcune definizioni che gli studiosi hanno elaborato nel corso degli anni, sia riferendosi a contesti strettamente lavorativi sia ad ambiti più ampi. Vediamo qui di seguito questi differenti approcci.

Alcuni studiosi concepiscono la competenza come una somma di parti (conoscenze, abilità, capacità). Secondo Levati e Saraò (Levati, Saraò, 1998) ad esempio, “la competenza [può essere concepita] come un insieme articolato di elementi: le capacità, le conoscenze, le esperienze finalizzate. La capacità in termini generali può essere definita come la dotazione personale che permette di eseguire con successo una determinata prestazione, quindi la possibilità di riuscita nell'esecuzione di un compito o, in termini più vasti, di una prestazione lavorativa. L'esperienza finalizzata consiste nell'aver sperimentato particolari attività lavorative, o anche extralavorative, che hanno

⁵ Punta, clicca e condividi: i tre termini sono entrati a far parte linguaggio della didattica per competenze e indicano la facilità di comunicazione grazie ai supporti informatici.

consentito di esercitare, provare, esprimere le capacità e le conoscenze possedute dalla persona”.

Altri studiosi, preferendo l'approccio britannico, concepiscono la competenza come performance, quindi come un requisito relativo al piano organizzativo e non alla persona, e tendono a costruire “dizionari di competenze” di matrice neo-tayloristica. In questo caso, si parla della competenza come la capacità di mettere in atto, in situazione di lavoro, un comportamento conforme agli standard richiesti. Il concetto di competenza incorpora la padronanza di significative skill e conoscenze tecniche e l'abilità di applicare tali skill e conoscenze al fine di risolvere problemi e rispondere alle contingenze, nonché l'abilità di trasferirle a nuove situazioni nel contesto occupazionale. (Taylor e Thackwray, 2001). La competenza può anche essere vista come “caratteristica intrinseca di un individuo causalmente collegata ad una performance eccellente in una mansione... [La competenza] si compone di motivazioni, tratti, immagine di sé, ruoli sociali, conoscenze e abilità”. (L. Spencer, S. Spencer, 1995).

Infine, c'è la visione di chi concepisce la competenza come l'atto della mobilitazione efficace della persona di fronte a problemi (OCDE, Le Boterf). Secondo tale visione “le competenze sono costituite dall'attitudine individuale e, al limite, soggettiva, di utilizzare le proprie qualificazioni, i propri saper fare e le proprie conoscenze al fine di raggiungere un risultato. Infatti, non esistono competenze “oggettive”, tali da poter essere definite indipendentemente dagli individui nei quali esse si incarnano. Non ci sono le competenze in sé, ci sono soltanto le persone competenti” (OCDE, Paris 1966). Le Boterf (Le Boterf, 1994) sostiene che “la competenza non è uno stato od una conoscenza posseduta. Non è riducibile né a un sapere, né a ciò che si è acquisito con la formazione. [...] La competenza non risiede nelle risorse (conoscenze, capacità) da mobilitare, ma nella mobilitazione stessa di queste risorse. [...]. Qualunque competenza è finalizzata (o funzionale) e contestualizzata: essa non può dunque essere separata dalle proprie condizioni di “messa in opera”. [...] La competenza è un saper agire (o reagire) riconosciuto. Qualunque competenza, per esistere, necessita del giudizio altrui”.

È necessario fare una precisazione sui concetti di conoscenze, abilità e competenze. Le *conoscenze* sono collegate al *sapere* e sono per lo più di natura dichiarativa. Esse

comprendono i fatti e le idee acquisite dal soggetto in modo autonomo attraverso lo studio, la ricerca o l'esperienza. Una conoscenza rappresenta una rielaborazione di uno o più contenuti (Sbaragli, 2011). Potremmo fare una ulteriore precisazione sui termini conoscenza e sapere: “per *saperi* si intendono i dati, i concetti, le procedure, i metodi che esistono al di fuori di ogni soggetto che conosce e che sono generalmente codificati in opere di riferimento, manuali, enciclopedie, dizionari; le *conoscenze* sono indissociabili da un soggetto conoscente; non esiste cioè una conoscenza a personale; una persona che interiorizza un sapere *prendendone coscienza*, trasforma questo sapere in conoscenza” (D'Amore et al, 2009). Le *abilità* sono invece di solito associate al *saper fare* o, come si dice in psicologia, a conoscenze di tipo procedurale. Per quanto riguarda il concetto di competenza, accanto alle definizioni già riportate, ci sembra significativa questa di Pellerey (Pellerey, 2003) che definisce “la competenza come un sistema coordinato di conoscenze e abilità che sono mobilitate dal soggetto in relazione ad uno scopo (un compito, un insieme di compiti o un'azione) che lo interessano e che favoriscono buone disposizioni interne motivazionali e affettive”. Come sostiene D'Amore (D'Amore, 2000): «(Le competenze) non possono ridursi ad una sola disciplina; esse suppongono e creano delle connessioni tra conoscenze e suggeriscono nuovi usi e nuove padronanze, il che significa che “le competenze generano competenze”». La scelta dei contenuti da proporre, deve vertere sull'obiettivo di sviluppare negli allievi quelle competenze di base indispensabili per una formazione culturale del cittadino che rispondono alle necessità etiche e sociali riconosciute e condivise come: porsi e risolvere problemi, progettare e costruire modelli di situazioni reali, esprimere adeguatamente informazioni, intuire e immaginare, creare collegamenti tra conoscenze diverse, ...” L'idea è di fornire dei contenuti spendibili fuori dal mondo della scuola, nella vita quotidiana, da “cittadini” più che da “studenti” (Arzarello, Robutti, 2002): «Le competenze devono costituire un bagaglio (non tanto di nozioni, quanto delle abilità di risolvere situazioni problematiche, sapendo scegliere risorse, strategie e ragionamenti) per il cittadino»; si tratta quindi di individuare degli importanti contenuti che costituiscono il cuore fondante, il nucleo attorno al quale ruotano altri contenuti. Oltre ai contenuti (*saperi*) all'interno della disciplina matematica, occorre saper gestire una loro rielaborazione cosciente e attiva, legata quindi alla motivazione e alla volizione, che ne permettano l'uso e l'interpretazione in

situazioni problematiche e la padronanza di collegamenti tra contenuti diversi. Quando l'allievo osa al di là delle consuetudini della vita d'aula, creando collegamenti tra conoscenze diverse, nasce l'idea del superamento della semplice conoscenza verso la competenza. (Sbaragli, 2011). Le finalità educative assumono, nella scuola delle competenze, una rilevanza sociale: lo studente deve acquisire l'attitudine ad organizzare la conoscenza. Il docente ha la responsabilità non solo di una corretta acquisizione, da parte dello studente, dei saperi disciplinari ma anche quella di "insegnare" coinvolgendo aspetti emozionali e motivazionali. Ha, inoltre, il compito di "educare": e così la scuola diviene insegnamento della condizione umana, apprendistato alla vita, apprendistato all'incertezza, educazione alla cittadinanza europea e planetaria (Morin, 2000). Siamo di fronte a delle sfide educative importanti. La sfida è culturale: si confronta sapere umanistico (che affronta la riflessione sui fondamentali problemi umani e favorisce l'integrazione delle conoscenze) e la cultura tecnico-scientifica (che separa i campi, suscita straordinarie scoperte ma non una riflessione sul destino umano e sul divenire della scienza stessa). La sfida è civica: il sapere è diventato sempre più esoterico (accessibile ai soli specialisti) e anonimo (quantitativo e formalizzato). Si giunge così all'indebolimento del senso di responsabilità (poiché ciascuno tende ad essere responsabile solo del proprio compito specializzato) ed all'indebolimento della solidarietà (poiché ciascuno percepisce solo il legame organico con la propria città e i propri concittadini). Siamo cioè di fronte ad un deficit democratico. La sfida è sociologica: l'informazione è una materia che la conoscenza deve prima integrare e padroneggiare; la conoscenza deve essere costantemente rivisitata e riveduta dal pensiero; il pensiero è oggi più che mai il capitale più prezioso per l'individuo e la società. Oltre ai contenuti (saperi) all'interno della disciplina, occorre saper gestire una loro rielaborazione cosciente e attiva, legata quindi alla motivazione e alla volizione, che ne permettano l'uso e l'interpretazione in situazioni problematiche e la padronanza di collegamenti tra contenuti diversi. La didattica per competenze mira al superamento del sapere parcellizzato, della multidisciplinarietà a favore della pluridisciplinarietà, cioè uno stesso argomento viene proposto dal punto di vista delle varie discipline attraverso una progettazione per ambiti disciplinari. Il transfert delle conoscenze, in una didattica più poliscopica per competenze si realizza attraverso una didattica che superi anche la pluridisciplinarietà

attraverso l'interdisciplinarietà. Una didattica interdisciplinare può consistere in una semplice comunicazione di idee, nella individuazione di relazioni tra strutture disciplinari, nella reciproca integrazione dei concetti fondamentali, nella organizzazione comune della ricerca e dei metodi didattici (individuazione di obiettivi comuni, definizione di progetti unitari ecc.). La vera rivoluzione didattica si può realizzare, però, solo attraverso una impostazione transdisciplinare. Per transdisciplinarietà, si suole designare la coordinazione complessa di tutte le discipline ed interdiscipline, poste anche a livello gerarchico diverso, per organizzare obiettivi comuni e definire schemi epistemologici in cui l'interazione di metodi e di contenuti si rivela indispensabile, e gli stessi risultati parziali risultano necessari per il conseguimento di una finalità comune. Il termine transdisciplinarietà designa "l'interdisciplinarietà in senso forte" in quanto a questo livello si verifica "l'effettivo superamento di una barriera epistemologica con la scoperta di un nuovo orizzonte unificante" (Laeng, 1992). Ci forniscono esempi di transdisciplinarietà la progressiva unificazione delle matematiche tra loro e con la logica, la cibernetica, la teoria dei sistemi, l'ecologia considerata come la scienza che studia il funzionamento normale e patologico dell'ambiente, l'approccio sistemico alla realtà che prevede anche l'uso di uno specifico linguaggio "transdisciplinare". L'idea enattiva ben si lega alle idee esposte secondo una visione non più programmatica dei contenuti disciplinari quanto piuttosto paradigmatica. L'apprendimento enattivo, così come quello costruttivista, si basa sulla partecipazione attiva degli studenti nel problem-solving e lo sviluppo di un pensiero critico per quanto riguarda un'attività di apprendimento che trovano motivante e coinvolgente. Delle teorie costruttiviste, la didattica per competenze riprende la teoria dell'apprendimento situato (situated learning). Il situated learning o anchored learning presuppone che la maggior parte dell'apprendimento è dipendente dal contesto, in modo che le esperienze cognitive situate in attività autentiche così come l'apprendimento basato su progetti (project-based learning); gli apprendistati cognitivi (cognitive apprenticeships) o ambienti di apprendimento basati su casi che si traducono in esperienze di apprendimento più ricche e più significative. Il contesto educativo, pur assumendo i significati precedenti, non un valore principale né succedaneo, bensì complementare, nel senso che il contesto viene costruito dal soggetto discente e dal docente e, a loro volta, ne rimangono influenzati, in un rapido e

intrecciato mutamento di eventi. Anche la negoziazione sociale della conoscenza (*social negotiation of knowledge*) cioè un processo attraverso il quale gli studenti testano i loro costrutti cognitivi in un dialogo con gli altri individui e, più in generale, con la società più ampia, assume un ruolo notevole. La collaborazione ha come obiettivo principale di attività di apprendimento la negoziazione e la verifica delle competenze.

La teoria dell'apprendimento situato afferma che la conoscenza non è un insieme di nozioni teoriche apprese, ma frutto di un processo dinamico, cioè della partecipazione attiva di un soggetto all'interno di un contesto, data dall'interazione con gli altri membri e la situazione circostante. Ciò contrasta con quanto si fa tradizionalmente in classe, dove la conoscenza è solitamente presentata in forma astratta e slegata dal contesto. L'interazione sociale ha una grande importanza si entra a far parte di una *comunità di pratica* che ha come obiettivo la produzione di conoscenza, in modo da trasmettere convinzioni e comportamenti da acquisire. Quando i principianti o i nuovi arrivati si spostano dalla periferia al centro di questa comunità diventano più attivi e assumono il ruolo di esperti. L'individuo, non apprende attraverso lezioni che trasmettono una quantità definita di conoscenze astratte che verranno poi assimilate e applicate in altri contesti, ma "impara facendo" (*learning by doing*). Questo è un modello di apprendimento che coinvolge la persona in situazioni di pratica reale, in cui dovrà assimilare nozioni in relazione all'azione che sta svolgendo; infatti hanno un ruolo fondamentale in questo tipo di apprendimento l'improvvisazione, i casi reali d'interazione e i processi emergenti. Caratteristica peculiare è la capacità di apprendere in rapporto alla capacità di svolgere dei compiti; l'apprendimento coinvolge l'intera persona in attività, compiti, funzioni che sono parte di sistemi di relazioni delle comunità sociali. Per imparare è necessario partecipare alle pratiche significative di una certa comunità, e nello stesso tempo contribuendo anche a definirle e a innovarle. L'apprendimento è dunque un processo che avviene all'interno di una cornice partecipativa e non in un ambiente individuale; ed è quindi mediato dalle diverse prospettive dei copartecipanti (Lave, Wenger, 2006). L'apprendimento situato si basa su tre principi fondamentali: la conoscenza è acquisita in modo situato e quindi trasferita solo in situazioni simili; l'apprendimento è il risultato di un processo sociale che comprende modi di pensare, di percepire, di risolvere i problemi, e interagisce con

le conoscenze dichiarative e procedurali; l'apprendimento non è separato dal mondo dell'azione ma coesiste in un ambiente sociale complesso fatto di attori, azioni e situazioni. Grazie a questi tre principi, l'apprendimento situato si differenzia da ogni altra forma di apprendimento esperienziale. Lo studente apprende i contenuti attraverso delle attività piuttosto che tramite l'acquisizione di informazioni in pacchetti discreti organizzati dall'insegnante. I compiti critici dell'insegnante sono: selezionare situazioni che impegnino lo studente in attività complesse, realistiche e centrate sul problema; fornire scaffolding ai nuovi studenti e quindi conoscere il tipo e l'intensità di guida necessarie per aiutarli a gestire la situazione ed il calo progressivo del supporto con l'acquisizione da parte dello studente di competenze addizionali; ridefinire il suo ruolo da trasmettitore a facilitatore dell'apprendimento sottolineando i progressi degli studenti, costruendo un ambiente di apprendimento collaborativo, incoraggiando la riflessione ed aiutando gli studenti a diventare più consapevoli della loro condotta in un certo contesto per facilitare il transfer; valutare continuamente la crescita intellettuale dei singoli individui e della comunità d'apprendimento.

3.3 Le competenze chiave e il quadro di riferimento OCSE PISA

La Raccomandazione del Parlamento Europeo e del Consiglio "Relativa a competenze chiave per l'apprendimento permanente" del 18 dicembre 2006 sollecita gli Stati membri perché "sviluppano l'offerta di competenze chiave per tutti nell'ambito delle loro strategie di apprendimento permanente". La Raccomandazione indica anche le otto competenze chiave, una combinazione di conoscenze, abilità e attitudini appropriate al contesto: Comunicare nella lingua madre, Comunicare nelle lingue straniere, Competenza Matematica e di base in Scienza e Tecnologia, Competenza Digitale, Imparare ad imparare, Competenze sociali e civiche, Spirito di iniziativa ed imprenditorialità, Consapevolezza ed espressione culturale. Si tratta di competenze di cui tutti hanno bisogno per la realizzazione e lo sviluppo personale, la cittadinanza attiva, l'inclusione sociale e l'occupazione. Nel definire le modalità organizzative e didattiche per innalzare l'obbligo scolastico, partendo dalle indicazioni europee, sono state operate alcune curvature per meglio corrispondere alla realtà del sistema educativo di istruzione italiano. Nell'ambito del Decreto n. 139 del 22 agosto 2007 "Regolamento recante norme in materia di adempimento dell'obbligo scolastico", sono

state individuate otto competenze chiave di cittadinanza, da acquisire al termine dell'istruzione obbligatoria. In particolare, l'asse matematico ha la finalità di far acquisire allo studente saperi e competenze che lo pongano nelle condizioni di possedere una corretta capacità di giudizio e di sapersi orientare consapevolmente nei diversi contesti del mondo contemporaneo. La competenza matematica, che non si esaurisce nel sapere disciplinare, consiste nell'abilità di individuare e applicare procedure che consentono di affrontare situazioni problematiche attraverso linguaggi formalizzati, oltre a vagliare la coerenza logica delle argomentazioni proprie e altrui in molteplici contesti. Le competenze di base a conclusione dell'obbligo d'istruzione sono: utilizzare le tecniche e le procedure del calcolo aritmetico ed algebrico, rappresentandole anche sotto forme algebrica; confrontare ed analizzare figure geometriche, individuando invarianti e relazioni; individuare le strategie appropriate per la soluzione a problemi; analizzare dati e interpretarli sviluppando deduzioni e ragionamenti sugli stessi, anche con l'ausilio di rappresentazioni grafiche, usando gli strumenti di calcolo e le potenzialità offerte da applicazioni specifiche di tipo informatico. L'asse scientifico-tecnologico ha l'obiettivo di facilitare lo studente nell'esplorazione del mondo circostante, per osservarne i fenomeni e comprendere il valore della conoscenza del mondo naturale e di quello delle attività umane. Si tratta di un campo ampio e importante per l'acquisizione di metodi, concetti, atteggiamenti indispensabili a interrogarsi, osservare e comprendere il mondo, anche attraverso la conoscenza del proprio corpo, dei propri limiti e delle proprie possibilità. L'apprendimento avviene per ipotesi e verifiche sperimentali, raccolta di dati, valutazione della loro pertinenza, formulazione di congetture, costruzione di modelli, superamento di difficoltà ed acquisizione di sempre nuovi schemi motori. Obiettivo determinante e inoltre rendere gli studenti consapevoli dei legami tra scienza e tecnologie, della loro correlazione con il contesto culturale e sociale, con i modelli di sviluppo e con la salvaguardia dell'ambiente. Le competenze di base a conclusione dell'obbligo d'istruzione sono: osservare, descrivere e analizzare i fenomeni appartenenti alla realtà naturale ed artificiale e riconoscere nelle sue varie forme i concetti di sistema e di complessità; analizzare qualitativamente e quantitativamente fenomeni legati alle trasformazioni di energia a partire dall'esperienza; essere consapevole delle potenzialità e dei limiti delle tecnologie nel contesto culturale e

sociale in cui vengono applicate; conoscere e comprendere attività motorie diverse, essere in grado di rielaborarle e svolgerle consapevolmente; rispettare regole ed avversari, collaborare nel gruppo e risolvere problematiche dinamiche.

Tutte le attività sono state progettate tenendo conto degli obiettivi nazionali indicati e sviluppati in linea con il quadro dell'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) relativo alla literacy scientifica, coerentemente con il framework internazionale definito dalla National Academy of Sciences (NAS, 1996). Secondo il United States National Center for Education Statistics "la literacy scientifica è la conoscenza e la comprensione dei concetti scientifici e dei processi necessari per prendere decisioni personali, partecipare alla vita civica e culturale, e alla produttività economica". Una persona che possiede una adeguata literacy scientifica è definita come chi ha la capacità di:

- Capire, sperimentare, e ragionare così come interpretare i fatti scientifici e il loro significato;
- porsi domande e trovare le giuste risposte sulle curiosità derivanti da esperienze quotidiane;
- descrivere, spiegare, e prevedere i fenomeni naturali;
- leggere articoli scientifici nella stampa popolare e impegnarsi in una conversazione sociale circa la validità delle conclusioni;
- identificare questioni scientifiche su cui si basano le decisioni nazionali e locali;
- valutare la qualità delle informazioni scientifiche sulla base delle fonti;
- impostare e valutare argomentazioni basate su prove e applicare le conclusioni tratte da tali argomenti in modo appropriato.

Il quadro OCSE PISA (2015) definisce la literacy scientifica come "la capacità di entrare in contatto con le questioni attinenti alla scienza, e con le idee della scienza, come cittadino riflettente." Una persona scientificamente alfabetizzata, quindi, è disposta a impegnarsi in un discorso motivato sulla scienza e la tecnologia, che richiede le competenze per:

- Spiegare i fenomeni scientificamente - riconoscere, offerta e valutare le spiegazioni per una serie di fenomeni naturali e tecnologici.
- Valutare e progettare la ricerca scientifica - descrivere e valutare indagini scientifiche e proporre modi di affrontare questioni scientificamente.

- Interpretare i dati e le prove scientificamente - analizzare e valutare i dati, conclusioni e degli argomenti in una varietà di rappresentazioni e trarre adeguate conclusioni scientifiche.

Così una persona scientificamente alfabetizzata può:

- Capire la scienza relativamente alle questioni ambientali e sociali.
- Comunicare in modo chiaro sulla scienza.
- Prendere decisioni informate su questi temi.

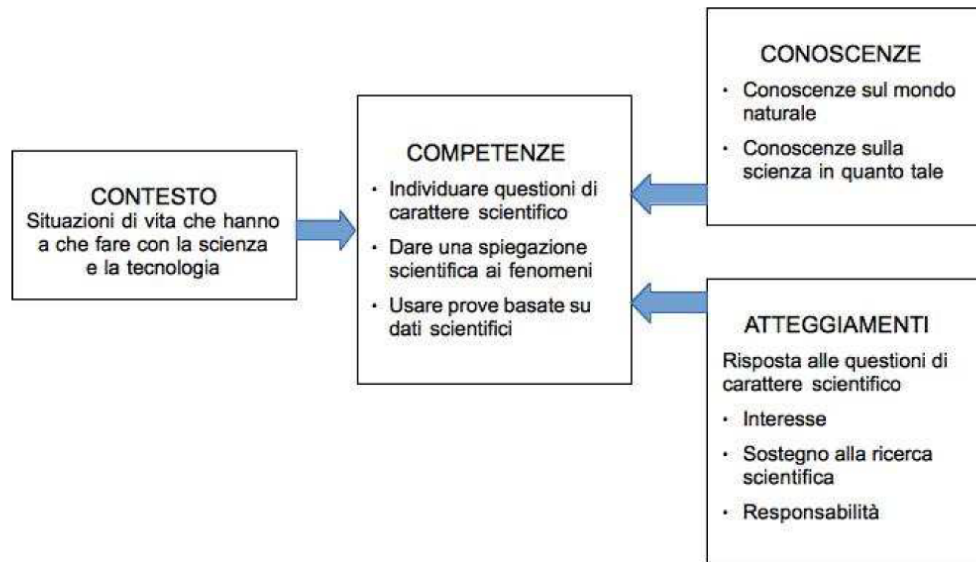
La literacy scientifica richiesta da PISA 2015, attribuisce una notevole importanza a ciò che un cittadino deve conoscere per affrontare situazioni che richiedono il ricorso alla scienza e alla tecnologia o che sono in qualche modo da esse determinate. In particolare, la literacy scientifica include e vuole evidenziare tre nodi concettuali che rendono il sapere efficace:

- le conoscenze, ovvero la comprensione del mondo naturale fondata su conoscenze scientifiche nelle quali confluiscono tanto le conoscenze sul mondo naturale quanto le conoscenze sulla scienza in quanto tale;
- le competenze, ovvero la dimostrazione di competenze che comprendono il saper identificare questioni scientifiche, lo spiegare i fenomeni in modo scientifico e il trarre conclusioni basate sui fatti;
- gli atteggiamenti, che indicano interesse per la scienza, sostegno nei confronti della ricerca scientifica e motivazione ad agire responsabilmente nei confronti, ad esempio, delle risorse naturali e dell'ambiente

La literacy scientifica mette in risalto la necessità di coordinare alcuni aspetti – tra loro interconnessi – che nel loro insieme restituiscono la valutazione delle competenze raggiunte. Gli aspetti considerati nella formulazione degli item di PISA, riguardano sia la persona nei suoi atteggiamenti e nelle sue conoscenze, sia il contesto nel quale essa opera:

- il contesto, inteso come la capacità di riconoscere situazioni di vita che coinvolgono la scienza e la tecnica;
- le conoscenze scientifiche, nelle quali confluiscono tanto le conoscenze del mondo reale, quanto le conoscenze sulla scienza in quanto tale;

- gli atteggiamenti, che indicano interesse per la scienza, sostegno nei confronti della ricerca scientifica e motivazione ad agire responsabilmente nei confronti, ad esempio, delle risorse naturali dell'ambiente



Alcuni processi cognitivi hanno un significato e una rilevanza speciale all'interno della literacy scientifica. Fra i processi cognitivi che le competenze scientifiche presuppongono ci sono:

- il ragionare induttivo/deduttivo,
- il pensare in modo critico e integrato,
- il trasformare rappresentazioni (ad esempio i dati in tabelle e le tabelle in grafici),
- l'elaborare e il comunicare argomentazioni e spiegazioni fondate sui dati,
- il pensare in termini di modelli e l'utilizzo della Matematica.

La rilevazione delle competenze scientifiche in PISA, dal 2006, dà la priorità alle tre specificate e di seguito approfondite, in quanto sono competenze che rivestono un'importanza capitale per la ricerca scientifica. Esse, infatti, affondano le radici nella logica, nel ragionamento e nell'analisi critica. Individuare questioni di carattere scientifico significa:

- riconoscere questioni che possono essere indagate in modo scientifico;

- individuare le parole chiave che occorrono per cercare informazioni scientifiche;
- riconoscere le caratteristiche essenziali della ricerca scientifica.

Dare una spiegazione scientifica dei fenomeni significa:

- applicare conoscenze scientifiche in una situazione data;
- descrivere e interpretare scientificamente fenomeni e predire cambiamenti;
- individuare descrizioni, spiegazioni e previsioni appropriate.

Usare prove basate su dati scientifici significa:

- interpretare dati scientifici e prendere e comunicare decisioni;
- individuare i presupposti, gli elementi di prova e il ragionamento che giustificano determinate conclusioni;
- riflettere sulle implicazioni sociali degli sviluppi della scienza e della tecnologia.

3.4 Il Modello dell' Educational Reconstruction (MER) e il Designed-Based-Research (DBR)

In questa sezione, verrà illustrata la metodologia di ricerca e di progettazione utilizzati nel presente lavoro. I punti di riferimento teorici sono quelli della Designed-Based-Research (DBR) e il modello della *Educational Reconstruction* (ricostruzione educativa). La metodologia di ricerca adottata rientra nel quadro della *Design-Based Research*, perché i fenomeni didattici sono stati studiati progettando e realizzando ambienti di apprendimento, artefatti, sequenze di insegnamento/apprendimento che il ricercatore ha avuto modo di sperimentare, valutare, rielaborare e sviluppare in contesti educativi autentici. Lo scopo del DBR è “identificare e mettere in atto pratiche educative che fossero corroborate da prove rigorose” (Collins, 1992)

Le ricerche sviluppate in contesti educativi hanno avuto storicamente due obiettivi generali: comprendere come la gente impara, particolarmente in contesti scolastici; progettare percorsi che garantiscano meglio in essi un effettivo apprendimento. Perseguire questi due obiettivi contemporaneamente pone sfide significative. Tuttavia, tale impegno ha anche significativi guadagni, in quanto i contesti d'apprendimento

possono essere rapidamente adattati in risposta alle ricerche in corso. Negli anni recenti, un nuovo paradigma è emerso per impegnarsi in ricerche di natura teorica in contesti d'apprendimento realistici. La sperimentazione progettuale è un approccio interdisciplinare che riconosce la natura fondamentale applicata della ricerca educativa. In questo approccio ricercatori lavorano in collaborazione con educatori per affinare teorie sull'apprendimento progettando, studiando, e mettendo a punto innovazioni in ambienti realistici d'aula che sono ricche e basate su teorie. Se la sperimentazione progettuale vuole svilupparsi come un campo fattibile e robusto, i suoi praticanti devono giungere a un accordo sulla sua natura e i suoi scopi e sviluppare pratiche e metodi condivisi che ci consentono di costruire insieme alle ricerche degli altri, condividere risultati che contribuiscano alla teoria e alla pratica e (alla fine) fornire un significativo apporto a come la gente apprende in un insieme di contesti.

In base a questi presupposti teorici, sono state condotte, negli anni scolastici dal 2013/14 al 2015/16 varie sperimentazioni sia nella scuola primaria che nella scuola secondaria. Tuttavia, per gli sviluppi di questo lavoro di tesi, ci riferiremo, in particolare, alle sperimentazioni condotte presso il Liceo Scientifico "P.S. Mancini" di Avellino, l'Istituto d'Istruzione Superiore "L. Da Vinci" di Poggiomarino (NA), il Liceo Scientifico "De Caprariis" di Atripalda (AV), il Liceo Scientifico "A. Gatto" di Agropoli. Per valutare l'efficacia dell'azione educativa, le sperimentazioni sono state condotte con studenti nella fascia di età dai 14 ai 19 anni. Inoltre, non ci si è limitati all'osservazione dell'attività didattica svolta dal docente ma l'azione didattica è stata sempre intervallata da interventi specifici del Ricercatore e interventi del docente curricolare. Anche la progettazione degli interventi è stata curata in maniera tale da garantire il normale svolgimento delle lezioni e, spesso, si è lavorato nelle classi, in orario pomeridiano.

Le sperimentazioni sono state condotte basandoci su cinque punti essenziali, in accordo con il Design-Based research collective:

1. la progettazione di ambienti di apprendimento e le conclusioni teoriche successive, anche «prototeorie» dell'apprendimento sono stati strettamente interconnessi
2. lo sviluppo degli studi di caso sul piano pratico e quello della ricerca legata al controllo delle sue qualità e all'enucleazione dei suoi caratteri specifici hanno

avuto luogo attraverso continui cicli di progettazione, attuazione, analisi e riprogettazione.

3. la ricerca progettuale ha condotto a conclusioni condivisibili che hanno aiutato a comunicare agli operatori e ai progettisti implicazioni rilevanti sul piano della progettazione e dell'azione educativa.
4. La ricerca ha sempre tenuto conto di come il progetto funziona in contesti autentici, documentando successi e fallimenti, focalizzando l'attenzione sulle interazioni che hanno affinato la nostra comprensione delle problematiche d'apprendimento coinvolte.
5. Si è cercato di documentare e collegare i processi di attuazione ai risultati ottenuti.

Si è preferito, inoltre, tralasciare analisi quantitative e focalizzarci maggiormente su aspetti qualitativi legati a un singolo progetto. Infatti: “gli esperimenti progettuali mettono insieme due apporti critici al fine di guidarci verso migliori affinamenti educativi: una focalizzazione dell'attenzione sul progetto e una valutazione dei suoi aspetti critici. L'etnografia fornisce metodi qualitativi per osservare attentamente come un progetto funziona in pratica e come variabili sociali e contestuali interagiscono con variabili cognitive. Studi su larga scala indicano metodi quantitativi per valutare gli effetti delle variabili indipendenti sulle variabili dipendenti. Gli esperimenti progettuali sono contestualizzati a specifici ambienti educativi, ma con l'obiettivo di generalizzare a partire da essi per fornire indicazioni al processo progettuale. Essi riempiono una nicchia nel quadro dei metodi sperimentali che è necessaria per migliorare le pratiche educative”. (A. Collins et al., 2004)

Nelle intenzioni dei promotori del metodo DBR, questo dovrebbe essere capace di aiutare a migliorare la pratica educativa.

In particolare, sono state segnalate le seguenti aree di possibile apporto significativo:

1. Esplorazione di nuovi ambienti di apprendimento e di insegnamento, verificandone la validità ed efficacia; in particolare, sviluppo di nuovi materiali, nuovi strumenti, nuovi metodi, nuove forme organizzative e nuove modalità di interazione sociale;
2. Sviluppo di teorie dell'apprendimento e dell'insegnamento contestualizzate “in situazione”, cioè teorie che prendono in considerazione i processi di

- apprendimento che hanno luogo in specifiche situazioni, sia scolastiche, sia extrascolastiche, e che si riferiscono a particolari contenuti e obiettivi formativi;
3. Sviluppo di un accumulo di conoscenze sulla progettazione educativa attraverso la promozione di una cultura progettuale a partire dalla considerazione e dal confronto di progetti validamente ed efficacemente realizzati in una varietà di contesti;
 4. Miglioramento della capacità di innovazione migliorativa nei differenti contesti educativi. (M. Pellerey, 1999)

In passato, nell'ambito della ricerca educativa, si sono sviluppate due linee di ricerca parallele. La prima che si poneva il problema di come il docente dovesse trasmettere la conoscenza (Istruzionismo), mirava alla progettazione di percorsi formativi e strategie didattiche finalizzate a favorire l'apprendimento; la seconda via poneva attenzione all'analisi delle modalità e dei processi con cui lo studente costruisce la propria conoscenza (Costruttivismo). Progressi nella comprensione e nell'apprendimento delle scienze appaiono possibili solo se vi è un bilanciamento tra le due prospettive. È ipotizzabile, pertanto, seguire una terza strada che intende invece puntare l'attenzione sull'accoppiamento strutturale tra i processi di insegnamento e apprendimento, sul lavoro in azione, sulla perturbazione che innesca processi di riorganizzazione verso nuove conoscenze, sulle decisioni prese in azione.

Comporta ricercare l'esistenza di uno spazio-tempo in cui individuare un incontro, un accoppiamento strutturale tra le diverse soggettività impegnate nel processo educativo che conduce alla generazione di conoscenza. È nell'azione didattica che avviene questo incontro. Così come da ipotesi già avanzate da vari studiosi, l'ipotesi della tesi è che i concetti dell'Enattivismo possano essere di supporto all'analisi dell'agire didattico (Proulx et al., 2004)

Pertanto, la progettazione di sequenze di insegnamento/apprendimento che abbiano successo necessita di entrambe le posizioni (Duit, 2006). Questo lavoro di ricerca, come verrà successivamente chiarito, si inserisce in tale prospettiva.

Il Model of Educational Reconstruction – MER (Duit 2006) può essere schematizzato in tre sequenze tra loro interconnesse:

1. Analisi della struttura dei contenuti
 - a. Chiarificazione della materia:

- i. libri di testo e pubblicazioni chiave
 - ii. Sviluppo storico delle idee
 - iii. Concezioni ed idee pre-istruzione dei ragazzi
- b. Analisi delle significatività
- 2. Ricerca su Insegnamento e Apprendimento (I/A)
- 3. Sviluppo di materiali e relativa attività di ricerca I/A con nuovi metodi

Tre componenti dell'azione educativa strettamente interconnesse hanno evidenziato le ricerche di questo lavoro:

- 1. La componente ludica nell'insegnamento/apprendimento della fisica;
- 2. La componente motivazionale nell'apprendimento di una disciplina per molti aspetti ostica;
- 3. Il passaggio dall'apprendimento informale al pensiero critico

A ogni studio di caso, è legata una ben precisa progettazione didattico – educativa calata nel contesto della didattica per competenze: la progettazione di percorsi di apprendimento è stata mirata a promuovere competenze disciplinari e trasversali. Sono state individuate e strutturate **prestazioni** (il più possibile simili al reale) che hanno permesso agli studenti di dimostrare come sanno applicare i loro apprendimenti e il livello di competenza raggiunto;

Alla progettazione è seguita una fase di attuazione in un preciso ambiente di apprendimento: sono state scelte metodologie attive adatte al contesto che aiutassero gli studenti a mettersi in gioco, prendere consapevolezza di quanto stavano apprendendo e fare esperienza di un uso autonomo della propria conoscenza. Ogni attività si è conclusa con la realizzazione di un prodotto di intervento e con la fase di valutazione non finalizzata solo a scopo diagnostico ma come rendicontazione dell'intero processo di insegnamento/apprendimento. La valutazione formativa è stata considerata parte integrante del percorso di insegnamento/apprendimento e usata per informare insegnante e studente su come si stava procedendo, promuovendo il riconoscimento del livello di qualità raggiunto da ogni singolo e stimolandolo al continuo miglioramento.

A tutte le attività sono state associate interviste semi strutturate orientate ad individuare le caratteristiche dell'apprendimento. Gli strumenti di documentazione per le analisi sono stati i seguenti:

1. Audio-videoregistrazione
2. Documentazioni fotografiche
3. Disegni e risposte su schede di domande stimolo
4. Raccolta e analisi dei grafici previsti/osservati
5. Diario delle situazioni osservate e commento
6. sintesi dei ragazzi: che cosa abbiamo imparato
7. Mappe spontanee dei concetti (termini e verbi)
8. Annotazioni su griglia: azioni – osservazioni (fenomeno) – conclusioni (descrizione fisica)
9. Colloqui motivazionali di natura rogersiana

Le principali questioni di ricerca indagate sono le seguenti:

1. Ruolo dell'apprendimento informale per l'attivazione di percorsi cognitivi
2. Esplorazione fenomenologica e (ri)contestualizzazione
3. Enazione dei processi cognitivi
4. Autonomia nell'impiego consapevole dei piani descrittivo, rappresentativo, interpretativo nell'analisi di situazioni e fenomeni (Michellini)
5. Condizioni di attivazione di processi interpretativi
6. Utilizzo di nuove metodologie per il successo formativo dello studente
7. Utilizzo di nuove metodologie per innescare meccanismi motivazionali allo studio della fisica.

Come già accennato, un altro aspetto di cui si è tenuto conto nei vari studi di caso è la valutazione, in quanto parte integrante dell'intero processo di insegnamento/apprendimento.

3.5 La valutazione delle competenze in fisica

Così come per le altre discipline, in fisica si distinguono tre momenti fondamentali dell'azione didattica in cui si effettua una valutazione. Prima di iniziare una unità di apprendimento si procede ad una verifica diagnostica e prognostica (ex ante). A circa metà dell'unità di apprendimento si procede ad una verifica in itinere che prevede questionari autovalutativi, rubriche valutative, compiti autentici, verifica e valutazione delle conoscenze acquisite. Segue, al termine dell'unità di apprendimento, una verifica

sommativa finale (ex post) che prevede uno o più questionari di gradimento (alunni/famiglie/docenti), una rubrica valutativa, compiti autentici, verifica e valutazione delle conoscenze acquisite, valutazione del prodotto atteso. La valutazione di competenze ridisegna le prospettive valutative a scuola. La tradizionale verifica di acquisizione di contenuti e concetti da un punto di vista teorico e di studio non viene esclusa dalle nuove prospettive di valutazione ma la ingloba. La tradizionale verifica dei contenuti non basta, infatti, da sola, a rilevare le capacità che gli studenti hanno nell'utilizzare tali contenuti e concetti nella risoluzione di problemi nei distinti ambiti disciplinari. Da qui il recente interesse nel mondo della scuola e l'attenzione negli studi teorici sul concetto di valutazione autentica. La “valutazione autentica” non privilegia forme standardizzate per la verifica e cerca di verificare non solo ciò che lo studente sa, ma ciò che sa fare contestualizzando ciò che sa. In pratica, si cerca di valutare attraverso l'analisi di una prestazione, piuttosto che attraverso strumenti formalizzati e decontestualizzati quali i test. Con le “valutazioni autentiche” invece di adottare un modello che tende a verificare se lo studente ha raggiunto gli obiettivi prefissati dal docente e dalla scuola, si rimanda a un modello che si fonda su prestazioni reali, competenze da acquisire in un mondo reale. Ecco che le valutazioni di processo, tra pari, di gruppo o di natura collaborativa diventano forme privilegiate in quanto si fondano su contesti meno formalizzati e più realistici rispetto alle forme tradizionali. I principali studi sulle forme alternative e nuove forme di verifica prendono le mosse, nel contesto internazionale, proprio nei paesi anglosassoni che hanno speso maggiori energie a costruire e utilizzare il testing negli anni precedenti. Comoglio (Comoglio, 2002) offre una serie di differenze tra test tipici e compiti autentici, traducendo direttamente da uno dei più recenti testi americani sulla verifica delle prestazioni all'interno della valutazione educativa. Il cambio di paradigma è chiaro. E già Resnick (Resnick, 1995) aveva identificato le grandi discontinuità fra apprendimento scolastico e la natura dell'attività cognitiva fuori della scuola: a) la scuola si concentra sulla prestazione individuale, mentre il lavoro mentale all'esterno è spesso condiviso socialmente; b) la scuola è finalizzata a incoraggiare il pensiero privo di supporti, mentre il lavoro mentale fuori dalla scuola include abitualmente strumenti cognitivi; c) la scuola coltiva il pensiero simbolico, laddove l'attività mentale fuori dalla scuola è direttamente coinvolta con oggetti e situazioni; d) la scuola ha il fine di insegnare

capacità e conoscenze generali, mentre all'esterno dominano le competenze specifiche per la situazione”. Una modifica nei modelli di insegnamento e nei contesti formativi coinvolge e coinvolgerà sempre più le forme e i sistemi di verifica e valutazione scolastici.

Di seguito è riportato un quadro sinottico in cui sono evidenziati alcuni aspetti della competenza scientifica e le dimensioni ad essi correlati in termini di processi cognitivi attivati.

Aspetti della competenza	Dimensioni della competenza/processi cognitivi
<i>Pensiero e ragionamento</i>	<ul style="list-style-type: none"> • formulare domande che sono tipiche della cultura scientifica (“C’è...?”, “Se è così, quanti?”, “Come troviamo...?”); • conoscere i tipi di risposte che le scienze e la fisica in particolare danno a tali domande; • comprendere e trattare la portata e i limiti di determinati concetti della fisica.
<i>Argomentazione</i>	<ul style="list-style-type: none"> • conoscere il linguaggio specifico della disciplina e usarlo in modo argomentativo; • seguire catene di ragionamenti di diverso tipo e valutarne la validità; • avere un’idea dell’euristica (“Che cosa può o non può accadere? E perché?”); • creare ed esprimere ragionamenti.
<i>comunicazione</i>	<ul style="list-style-type: none"> • sapersi esprimere in vari modi su questioni di carattere scientifico, in forma orale e scritta • comprendere gli enunciati scritti od orali di altre persone circa tali questioni.
<i>modellizzazione</i>	<ul style="list-style-type: none"> • strutturare il campo o la situazione che deve essere modellizzata; • tradurre “la realtà” in strutture matematiche; • interpretare i modelli fisici in termini di “realtà”; • lavorare con un modello fisico; • validare il modello, riflettere, analizzare e valutare un modello e i suoi risultati; • comunicare ad altri il modello e i suoi risultati (compresi i limiti di tali risultati); • monitorare e controllare il processo di modellizzazione.
<i>Formulazione e risoluzione di problemi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • porre, formulare e definire diversi tipi di problemi e risolverli in vari modi.
<i>Rappresentazione</i>	<ul style="list-style-type: none"> • decodificare e codificare, tradurre, interpretare e distinguere le diverse forme di rappresentazione di oggetti e situazioni reali e le relazioni tra le varie rappresentazioni;

	<ul style="list-style-type: none"> • scegliere e passare da una forma di rappresentazione a un'altra, in relazione alla situazione e allo scopo.
<i>Uso del linguaggio simbolico, formale e tecnico e delle operazioni</i>	<ul style="list-style-type: none"> • decodificare e interpretare il linguaggio simbolico e formale e comprendere il suo rapporto con il linguaggio naturale; • tradurre il linguaggio naturale nel linguaggio simbolico/formale; • lavorare con enunciati ed espressioni che contengano simboli e formule; • usare variabili, risolvere equazioni ed effettuare calcoli.
<i>Uso di sussidi e strumenti</i>	<ul style="list-style-type: none"> • conoscere ed essere capaci di usare vari sussidi e strumenti (comprese le tecnologie dell'informazione) e conoscerne i limiti.

L'autenticità della prova, a dirla in sintesi, riguarda il contesto in cui richiediamo di esibire le competenze e non semplicemente la prova o il compito, sia nella forma esercitativa sia valutativa. Così i compiti autentici si posizionano all'interno di didattiche attive che mirano a contesti di realtà, anche se a scuola non sempre è possibile fare riferimento a situazioni reali, che spingono gli studenti a utilizzare conoscenze e abilità “apprese” per affrontare problemi effettivi, dotati di senso. E quanto più le situazioni e i contesti di apprendimento sono prossimi alla realtà, alla soluzione di problemi (concettuali, operativi, cognitivi ...), tanto più i compiti che chiediamo di svolgere, nella veste esercitativa o valutativa sono propriamente autentici. Nel quadro sinottico sotto riportato, è schematizzata la differenza tra test tipici tradizionali e compiti autentici e messi in evidenza quali sono gli indicatori di autenticità in relazione a ciascun aspetto.

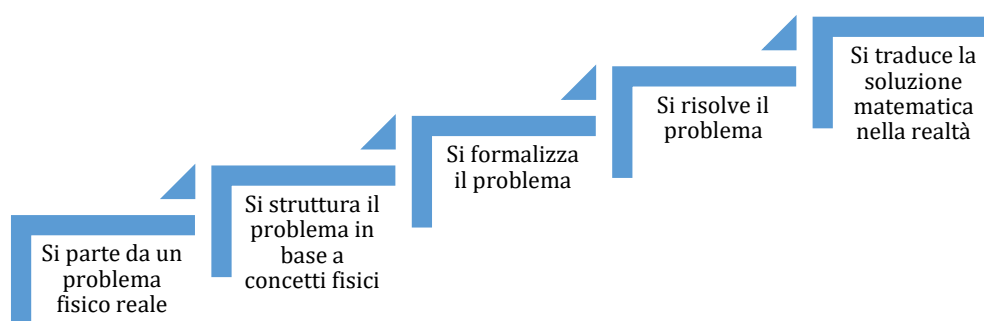
Test tipici	Compiti autentici	Indicatori di autenticità
Richiedono una sola risposta corretta	Richiedono un prodotto di qualità e/o una prestazione e una giustificazione.	Accertano se lo studente può spiegare, applicare, autoadattarsi o giustificare le risposte, non solo la correttezza delle risposte utilizzando fatti o algoritmi.

<p>Non devono essere conosciuti in anticipo perché la validità sia assicurata.</p>	<p>Devono essere conosciuti il più possibile in anticipo; richiedono esigenze di eccellenza e compiti essenziali; non sono esperienze di «fortuna»</p>	<p>I compiti, i criteri e gli standard attraverso i quali il lavoro sarà giudicato sono prevedibili o conosciuti – come un pezzo di recitazione, l'esecuzione di una rappresentazione, il motore che è aggiustato, la proposta a un cliente, ecc</p>
<p>Sono disconnessi da un contesto e da costrizioni realistici.</p>	<p>Richiedono l'utilizzo della conoscenza del mondo reale: lo studente deve «fare» storia, scienze, ecc. in simulazioni realistiche o di uso reale.</p>	<p>Il compito è una sfida e un insieme di costrizioni che sono autentiche – probabilità che sono incontrate da un professionista, da un cittadino o da un consumatore (è richiesto un «sapere come», non solo una improvvisazione).</p>
<p>Contengono item isolati che richiedono un uso o un riconoscimento di risposte o di abilità conosciute.</p>	<p>Sono sfide integrate nelle quali la conoscenza e il giudizio devono essere usati in modo innovativo per confezionare un prodotto di qualità o una prestazione.</p>	<p>Il compito ha molti aspetti non routinari, anche se c'è una risposta «corretta». Ciò richiede la chiarificazione di un problema, tentativi ed errori, adattamenti e adattarsi al caso o ai fatti che si hanno tra le mani, ecc.</p>
<p>Sono semplificati in modo da poter essere esaminati in modo facile e sicuro.</p>	<p>Implicano compiti complessi e non arbitrari, criteri e standard.</p>	<p>Il compito richiede aspetti importanti di prestazioni e/o sfide sostanziali del campo di studio, non facilmente analizzato;</p>

		non sacrifica la validità per l'affidabilità.
Sono eseguiti in un arco temporale prestabilito.	Sono iterativi: contengono compiti essenziali ricorrenti, generi e standard.	Il lavoro è programmato per rivelare se lo studente ha conseguito una padronanza reale vs pseudopadronanza o comprensione vs solo familiarità nel tempo.
Dipendono da correlazioni tecniche elevate.	Offrono un'evidenza diretta, coinvolgendo compiti che sono stati validati rispetto a ruoli essenziali adulti e sfide fondate sulla disciplina.	Il compito è valido e giusto nel suo presentarsi. Per questo richiama l'interesse e la persistenza dello studente e sembra adatto a sfidare gli studenti e l'insegnante.
Offrono un'opportunità di punteggio.	Offrono un feedback utilizzabile, diagnostico (a volte alternativo): lo studente è capace di confermare i risultati e autoadattarsi nella misura in cui è necessario.	La prova è programmata non solo per verificare la prestazione, ma anche per migliorare la prestazione futura. Lo studente è considerato come il «cliente» primario dell'informazione.

Un confronto tra test tipici e compiti autentici - Fonte: Wiggins G., *Educative Assessment: Designing Assessments to Inform and Improve Student Performance*, San Francisco, California, Jossey-Bass Inc., 1998, riportato in traduzione in Comoglio M., 2002

Se una prova autentica prevede step risolutivi non sempre rigorosamente susseguentisi, la verifica deve prevedere altrettanti step e pertanto la declinazione di una rubrica di valutazione diventa essenziale a non tralasciare nessun aspetto del processo di insegnamento-apprendimento. Un algoritmo di come si affronta la risoluzione di un problema autentico potrebbe essere il seguente:



Il problema autentico parte da un contesto reale. Lo studente deve enucleare dal contesto gli elementi necessari alla risoluzione del problema. Segue la formalizzazione vera e propria del problema utilizzando anche le competenze matematiche. Una volta risolto il problema dal punto di vista numerico, si traducono i risultati nel contesto reale da cui erano stati desunti i dati iniziali.

Le rubriche valutative possono essere considerate degli strumenti di sintesi per una descrizione delle competenze acquisite e per la definizione di criteri e scale di livello della loro valutazione. Una rubrica si presenta quindi come una scala valutativa per i diversi aspetti di un compito o di una competenza. Per poter valutare coerentemente al progetto didattico occorrerà distinguere su quali aspetti soffermare la valutazione della scrittura (criteri e indicatori) e descrivere i diversi livelli di prestazione adottando una scala con un numero variabile a più gradi (scala di valutazione), in base al tipo di analicità che si vuole raggiungere nella valutazione (Comoglio, 2002). La rubrica valutativa, nella sua duplice veste di strumento per la valutazione di compiti e o di dimensioni di una competenza, si propone come strumento per una valutazione diacronica e più articolata delle prestazioni degli studenti, singolarmente e in gruppi. Ma per essere uno strumento utile e affidabile la rubrica deve aiutare a discriminare tra le diverse prestazioni in modo da evitare che diversi valutatori possano discordare fortemente sul grado da attribuire. E per evitare distorsioni valutative la rubrica dovrà quindi essere quanto più possibile precisa nella descrizione dei livelli di prestazione per le distinte dimensioni di una competenza.

3.6 Appendice

3.6.1 Schema riassuntivo delle differenze tra Oggettivismo, Costruttivismo e Enattivismo

	Objectivism	Constructivism	Enactivism
Reality <i>(real world)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • External to the knower. • Structure determined by entities, properties, and relations. • Structure can be modeled. 	<ul style="list-style-type: none"> • Determined by the knower. • Dependent upon human mental activity. • Product of mind. • Symbolic procedures construct reality. • Structure relies on experience / interpretation. 	<ul style="list-style-type: none"> • We and the world are mutually specifying and co-emerging. • Reality is dependent on the consciousness of the knower who determines the meaning (i.e. double-embodiment).
Mind	<ul style="list-style-type: none"> • Processor of symbols. • Mirror of nature. • Abstract machine for manipulating symbols. 	<ul style="list-style-type: none"> • Builder of symbols. • Perceiver/interpreter of nature. • Conceptual system for constructing reality. 	<ul style="list-style-type: none"> • Placed in embodied everyday experience. • Cannot be separated from nature. • The mind interprets and affects nature.
Cognition	<ul style="list-style-type: none"> • Is interpreted mechanistically. • Governed by and reflect external reality. • Independent of human experience. • Mental is separated from physical. • Action is the only access to cognition. 	<ul style="list-style-type: none"> • Is interpreted mechanistically. • Cognition is a process of organizing and interpretation of one's subjective experience. • Mental is separated from physical. 	<ul style="list-style-type: none"> • Is interpreted biologically. • Cognition is a complex process of enactment of a world and a mind. • Mental and physical are inseparable and co-evolve.
Knowledge	<ul style="list-style-type: none"> • External. • Is a "thing" that can be acquired. • Cognitive/conscious knowledge only. • Knowledge is mental. • Do not consider emotion. 	<ul style="list-style-type: none"> • Embedded inside inner self, internal. • Is a "thing". • Constructed by learner. • Cognitive/conscious knowledge only. • Knowledge is mental and physical but essentially human. • Do not consider emotion. 	<ul style="list-style-type: none"> • Neither internal nor external, it depends. • Is not a "thing" but a domain of possibilities. • Emerges from our ongoing interpretations necessary for successful action in an ever-evolving world. • Both cognitive and non-conscious knowledge. • Knowledge is both mental and physical, and not restricted to human. • Knowing is knowledge • Including emotion.
Dualism	<ul style="list-style-type: none"> • Inner vs. outer. • Self vs. world/other. • Subject vs. object. • Mind vs. body. • Knower vs. known. • Action vs. mental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inner vs. outer. • Self vs. world/other. • Subject vs. object. • Mind vs. body. • Knower vs. known. • Action vs. mental. 	<ul style="list-style-type: none"> • No dualism. • Inseparable.
Causal relationship	<ul style="list-style-type: none"> • Change the environment causes behavior change. • Same stimulus leads to same response. 	<ul style="list-style-type: none"> • Response is unique for each individual. 	<ul style="list-style-type: none"> • Learning and environment co-evolve constantly. • No outcome can be exactly predicted or determined (taking the universe as a whole)

(Tab. 1)

4 Gli studi di caso

In questo capitolo sono illustrati i seguenti studi di caso:

1. **“Una esperienza di insegnamento capovolto in Didattica della Fisica usando la metodologia CLIL”** (A flipped experience in Physics education using CLIL methodology). Tale esperienza è stata condotta in due classi quinte Liceo Scientifico dell'ISIS “L. Da Vinci” di Poggiomarino (NA). Le attività realizzate sono state presentate al congresso internazionale di Fisica WCPE tenutosi a San Paolo del Brasile dal 10 al 15 luglio 2016.
2. **“Resistenze e Simmetrie: dalle reti infinite ai solidi platonici”**. Questa esperienza di Ricerca – Azione è stata condotta con gli alunni delle classi quarte del Liceo Scientifico “De Caprariis” di Atripalda (AV) nell'ambito delle attività PLS ed è stata presentata al convegno nazionale AIF tenutosi a Perugia dal 12 al 15 novembre 2014. La stessa attività, rivisitata con il software di geometria dinamica Geogebra, è stata presentata al congresso nazionale DI.FI.MA tenutosi a Torino dal 7 al 9 ottobre 2015 e al congresso internazionale GIREP tenutosi a Wroclaw, in Polonia, dal 6 al 10 luglio 2015. Una ulteriore esperienza di Ricerca – Azione, “Action research: a new perspective in math and science education”, è stata condotta con gli studenti del Liceo Scientifico “De Caprariis” e del Liceo “L. Da Vinci” di Poggiomarino ed è stata presentata al congresso internazionale “New Perspective in Science Education” tenutasi a Firenze il 20 marzo 2016.
3. **“Robotica educativa e didattica della Fisica: una possibile integrazione?”**. Questa attività è stata realizzata con gli studenti delle classi quinte del Liceo Scientifico “De Caprariis” di Atripalda nell'ambito delle attività PLS. Come prodotto d'intervento è stato costruito un drone alimentato con celle fotovoltaiche. Tale prodotto d'intervento è stato presentato a Città della Scienza a Napoli in occasione della manifestazione culturale “Tre giorni per la scuola” tenutasi dal 29 al 30 ottobre 2015. Inoltre, il prodotto d'intervento realizzato è stato oggetto di ulteriori studi e approfondimenti e presentato al forum mondiale SKYSEF tenutosi a Shimizu in Giappone dal 3 al 10 agosto 2015.

4. **“Il Disco di Newton 3.0: una esperienza didattica con Arduino”**. Questa attività è stata condotta con gli studenti della classe prima del Liceo Scientifico “P.S. Mancini” di Avellino utilizzando la metodologia Inquiry. Il prodotto d'intervento realizzato dagli studenti è stato presentato a Città della Scienza in occasione del “Pic nic della Scienza” tenutosi a Napoli dal 19 al 21 ottobre 2016. Le attività realizzate con la metodologia Inquiry sono state presentate al congresso internazionale ICERI tenutosi a Siviglia dal 14 al 16 novembre 2016, al congresso nazionale SIF (Società Italiana di Fisica) tenutosi a Padova dal 26 al 30 settembre 2016 e al congresso nazionale SIRD (Società Italiana di Ricerca in Didattica) tenutosi a Milano dal 1 al 2 dicembre 2016.
5. **“The Light prefers the shortest: Physics and Geometry about Shortest Path Problems from Heron to Fermat”**. Questa attività è stata realizzata con gli studenti delle classi quarte del Liceo “P.E. Imbriani” di Avellino nel contesto di un percorso interdisciplinare sulla luce. Questa sperimentazione è stata presentata al congresso internazionale HPM (History and Pedagogy of Mathematics) tenutosi a Montpellier dal 18 al 22 luglio 2016.
6. **“La Fisica può essere narrata: una proposta didattica di Digital Storytelling”**. Tale esperienza didattica è stata condotta con gli studenti delle classi quinte del Liceo Scientifico “De Caprariis” di Atripalda nell'ambito di un percorso di approfondimento di Fisica sulla Relatività.
7. **“Brownian motion: an interdisciplinary teaching proposal”**. Questa attività interdisciplinare è stata presentata al congresso internazionale “New Perspective in Science Education” tenutosi a Firenze il 20 marzo 2015

Per ogni sperimentazione è stata trattata la metodologia didattica adottata, il contesto, i contenuti affrontati in riferimento alle indicazioni nazionali, i risultati raggiunti e la replicabilità. Per alcune sperimentazioni è riportata la risposta degli studenti in termini di gradimento dell'attività e di miglioramento delle competenze.

4.1 Una esperienza di insegnamento capovolto in Didattica della Fisica usando la metodologia CLIL

Una delle metodologie più in voga degli ultimi tempi, è l'insegnamento capovolto (Flipped Teaching). Con il termine Insegnamento capovolto ci si riferisce a un approccio didattico che ribalta il tradizionale ciclo di apprendimento fatto di lezione frontale, studio individuale a casa e verifiche in classe, in cui il rapporto docente-allievo si configurava piuttosto rigido e gerarchico.

Questo nuovo approccio ci è sembrato particolarmente significativo per affrontare alcuni argomenti di Fisica Moderna recentemente introdotti nei programmi di Fisica dei Licei Scientifici.

La logica della nostra indagine si basa sul fatto che è stato dimostrato che gli studenti incontrano non pochi problemi a imparare concetti di Fisica Moderna avanzati e a volte controintuitivi (Deslauriers, . L. et al, 2011; Tsaparlis, G. et al, 2009; Singh, C. et al, 2006). Cercando di risolvere questi problemi, abbiamo fondato la scelta della nostra metodologia didattica su considerazioni di carattere sociale: al giorno d'oggi la trasmissione della conoscenza è ampiamente supportata dalle tecnologie digitali, con una grande quantità di informazioni trasmesse ad alta velocità e un alto grado di interazione. Gli studenti nativi digitali evidenziano notevoli cambiamenti nel comportamento, nella cognizione e nella capacità di comunicazione, hanno bisogno di nuovi approcci educativi (Prensky, M., 2001). I modelli culturali attuali sono in qualche modo centrati sul concetto di "intelligenza collettiva" (Woolley, A., 2010), dove nessuno sa tutto, tutti sanno qualcosa e tutta la scienza appartiene a tutta l'umanità. Grazie ai dispositivi digitali, costantemente connessi a Internet nel repository della conoscenza più colossale che sia mai stato realizzato, lo stile comunicativo è fortemente caratterizzato da interattività virtuale, produzione autonoma e condivisione dei singoli contenuti. In questo sfondo completamente nuovo cambia il modo di approcciarsi alla conoscenza, cambia il ruolo del docente, da detentore della conoscenza a mediatore semiotico di conoscenze.

Nel modello tradizionale di insegnamento in classe, il docente è in genere il punto centrale di una lezione e il divulgatore delle informazioni. L'insegnante risponde alle domande che gli studenti pongono direttamente al docente stesso. In una classe con uno

stile tradizionale di insegnamento (mastery education), le lezioni possono essere concentrate su una spiegazione dei contenuti e il coinvolgimento degli studenti può essere limitato ad attività in cui gli studenti lavorano in modo indipendente o in piccoli gruppi ma generalmente su un compito progettato dal docente. Anche le discussioni in classe sono tipicamente centrati sul docente, che controlla il flusso della conversazione. Tipicamente, questo modello di insegnamento comporta che gli studenti svolgano un compito a casa su un problema proposto dal docente.

L'insegnamento capovolto è invece un modello centrato sullo studente, il quale nelle ore di lezione esplora argomenti in maniera più approfondita e passa da un apprendimento intuitivo ad un apprendimento significativo, mentre le tecnologie educative come i video on-line sono utilizzati al di fuori del contesto classe.

L'insegnamento capovolto fa leva sul fatto che le competenze cognitive di base dello studente (ascoltare, memorizzare) possono essere attivate prevalentemente a casa, in autonomia, apprendendo attraverso video e podcast, o leggendo i testi proposti dagli insegnanti o condivisi da altri docenti. In classe, invece, possono essere attivate le competenze cognitive alte (comprendere, applicare, valutare, creare) poiché l'allievo non è solo e, insieme ai compagni e all'insegnante al suo fianco cerca, quindi, di applicare quanto appreso per risolvere problemi pratici proposti dal docente. Il ruolo dell'insegnante ne risulta trasformato: il suo compito diventa quello di guidare l'allievo nell'elaborazione attiva e nello sviluppo di compiti complessi. Dato che la fruizione delle nozioni si sposta a casa, il tempo trascorso in classe con il docente può essere impiegato per altre attività fondate sull'apprendimento attivo, in un'ottica di pedagogia differenziata e apprendimento a progetto. Il nuovo ciclo di apprendimento si può schematizzare così come in figura:



Il primo passo consiste nello stimolare lo studente all'apprendimento suscitando l'interesse, la curiosità, il desiderio di conoscenza su uno specifico argomento. Questo passaggio è fondamentale perché non c'è apprendimento significativo senza coinvolgimento emotivo degli allievi. Per l'insegnante si tratta perciò di problematizzare un tema, di trasporre i contenuti disciplinari da una forma espositiva, dimostrativa e risolutiva ad una dubitativa, ipotetica, il più possibile ancorata alla realtà, e lasciare agli studenti il compito di ideare e proporre una soluzione. Questa fase può svolgersi con modalità diverse e impegnare gli alunni fuori della scuola e prima della lezione, ma è anche possibile svolgerla in classe.

In una seconda fase gli studenti sono messi alla prova stimolandoli ad attivare le strategie cognitive e le procedure di indagine proprie della disciplina oggetto dell'attività di apprendimento. Si cerca di sviluppare il senso critico, invitandoli a porre domande, a formulare ipotesi a verificare tratta di sollecitare negli studenti quei processi di pensiero che sono alla base della costruzione delle conoscenze, esercitando il loro spirito critico, imparando a fare domande appropriate, a formulare ipotesi attendibili, a escogitare metodi per verificare le loro supposizioni. Questo si può attuare predisponendo un *setting* didattico che favorisca la ricerca d'informazioni, la riflessione profonda, il confronto fra pari, la sperimentazione sul campo. Generalmente questa fase prevede la produzione di materiali e documenti da parte degli alunni, individualmente o in gruppo, che saranno poi utili nella terza fase. In questa fase il

docente assume il ruolo del tutor (scaffolder) che assiste ogni alunno in base alle sue specifiche esigenze.

Il ciclo si completa con una fase di rielaborazione e valutazione. In questa fase si riflette e ci si confronta su quanto appreso con l'intento di chiarire, rendere espliciti e consolidare gli apprendimenti partendo dall'analisi dei lavori che gli studenti hanno realizzato nella seconda fase. In questa fase, l'insegnante svolge la funzione di *facilitatore* dei processi di astrazione e di formalizzazione di quanto appreso. Le attività di valutazione permeano tutte le fasi come prassi formativa continua attraverso l'osservazione e l'annotazione dell'operosità degli studenti in contesto, la valutazione, individuale e di gruppo, dei loro prodotti nonché attraverso attività valutative più tradizionali.

La nostra idea di usare l'insegnamento capovolto nasce quindi dalle mutate esigenze sociali, dall'esigenza di rendere il tempo-scuola più produttivo e funzionale alle esigenze della società nella *information era*; nasce, inoltre da esigenze didattiche per rispondere a mutati bisogni formativi; nasce, infine, da esigenze istituzionali, dovendo cercare una metodologia che ben si adatti all'insegnamento della fisica moderna nella quinta classe dei licei scientifici.

Nelle indicazioni nazionali è previsto, nell'ultimo anno, un insegnamento in lingua straniera. Si è pensato, dunque, di integrare la metodologia del Flipped Teaching con la metodologia Content and Language Integrated Learning (CLIL). Si tratta di un approccio educativo che ha un doppio focus: integrare l'apprendimento della lingua straniera e favorire l'acquisizione di contenuti disciplinari, creando ambienti di apprendimento che favoriscano atteggiamenti plurilingue e sviluppino la consapevolezza multiculturale. La metodologia CLIL ha come finalità l'apprendimento e l'insegnamento di materie non linguistiche in lingua straniera attraverso un approccio innovativo all'insegnamento e favorendo una educazione interculturale del sapere. Come la Flipped Classroom, anche la metodologia CLIL favorisce una azione didattica centrata sull'allievo. A nostro parere, la flipped classroom si integra perfettamente con la CLIL oltre che per aspetti propriamente metodologici anche per la facilità che offre la conoscenza della lingua inglese nel reperire materiale didattico in rete, video, esperimenti, esercizi. Infatti, l'accento si sposta da insegnare la lingua straniera a insegnare attraverso la lingua straniera; il focus è sul contenuto, mentre la lingua svolge

un ruolo ancillare. La lingua veicolare viene appresa incidentalmente: costituisce solo il mezzo attraverso cui i contenuti, prima ignoti, sono veicolati, compresi, assimilati. Come la Flipped classroom, anche la metodologia CLIL riconosce la centralità dell'allievo, si fonda su strategie di problems solving ed è basata sul compito "Task based learning". Inoltre viene favorito l'apprendimento di tipo collaborativo: (cooperative learning e collaborative learning)

Si riporta, di seguito, una proposta di progettazione didattica per la Fisica Moderna dell'ultimo anno dei Licei Scientifici.

	COMPETENZE		CONOSCENZE
Scansione modulare	<i>Indicazioni nazionali</i>	<i>Sapere (Knowledge and understanding)</i>	<i>Saper fare (applying knowledge and understanding)</i>
1. La rivoluzione einsteiniana	Osservare e identificare fenomeni. Fare esperienza e rendere ragione del significato dei vari aspetti del metodo sperimentale, dove l'esperimento è inteso come interrogazione ragionata dei fenomeni naturali, scelta delle variabili significative, raccolta e analisi critica dei dati e	<ul style="list-style-type: none"> • Conoscere la relatività del moto in Galileo e in Einstein • Conoscere l'esperimento di Michelson-Morley • Conoscere le conseguenze dei postulati di Einstein: la dilatazione dei tempi e la contrazione delle lunghezze. • Determinare la legge relativistica della composizione delle velocità. • Conoscere l'effetto Doppler per la luce. • Conoscere l'equivalenza massa-energia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificare i sistemi di riferimento inerziali e non inerziali. • Analizzare le conseguenze dei postulati di Einstein: la dilatazione dei tempi e la contrazione delle lunghezze. • Determinare la legge relativistica della composizione delle velocità. • Analizzare l'effetto Doppler per la luce.

	dell'affidabilità di un processo di misura, costruzione e/o validazione di modelli.	<ul style="list-style-type: none"> • Conoscere il moto browniano e la soluzione di Einstein 	<ul style="list-style-type: none"> • Discutere l'equivalenza massa-energia. • Analizzare le caratteristiche di un moto browniano e la soluzione di Einstein
2. La Meccanica quantistica: le origini	Fare esperienza e rendere ragione del significato dei vari aspetti del metodo sperimentale, dove l'esperimento è inteso come interrogazione ragionata dei fenomeni naturali, scelta delle variabili significative, raccolta e analisi critica dei dati e dell'affidabilità di un processo di misura, costruzione e/o validazione di modelli.	<ul style="list-style-type: none"> • Conoscere il contesto storico in cui si sviluppano le idee che portano alla crisi della meccanica classica • Conoscere gli esperimenti che portano alla crisi della meccanica classica • Conoscere le ipotesi teoriche che portano alla crisi della meccanica classica • Conoscere le manifestazioni di dualismo ondulatorio-corporeo della materia. • Riconoscere il dualismo della materia attraverso il fenomeno della diffrazione delle particelle. • Individuare nell'esperimento delle fenditure i protoni 	<ul style="list-style-type: none"> • Contestualizzare storicamente lo sviluppo della fisica moderna • Descrivere gli esperimenti salienti che caratterizzano l'inizio di una "nuova fisica" • Discutere l'evoluzione dinamica di un sistema e gli effetti della misurazione di una grandezza fisica. • Calcolare la potenza emessa o assorbita da un corpo nero a una data temperatura. • Calcolare l'energia di un'onda elettromagnetica a una data frequenza

		<p>dello sviluppo della meccanica quantistica.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conoscere il concetto di corpo nero • Conoscere le definizioni di quanto di energia • Conoscere i meccanismi che descrivono l'emissione o l'assorbimento di un fotone da parte di un atomo • Conoscere gli esperimenti che hanno portato alla scoperta dei raggi X • Conoscere l'effetto Compton alla luce del dualismo onda-corpuscolo 	<ul style="list-style-type: none"> • Descrivere il principio di funzionamento di un laser. • Scegliere e applicare le relazioni appropriate alla risoluzione dei singoli problemi.
3. La meccanica quantistica: oltre la fisica classica	Osservare e identificare fenomeni.	<ul style="list-style-type: none"> • Conoscere le leggi che regolano lo spettro del corpo nero a una data temperatura. • Analizzare il comportamento di una lastra metallica colpita da radiazione ultravioletta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Definire l'effetto fotoelettrico e presentare la spiegazione data da Einstein. • Calcolare il potenziale di arresto e il lavoro di estrazione degli elettroni nell'effetto fotoelettrico
	Fare esperienza e rendere ragione del	<ul style="list-style-type: none"> • Conoscere la composizione spettrale della luce emessa da 	<ul style="list-style-type: none"> • Distinguere i tipi di spettro.

	<p>significato dei vari aspetti del metodo sperimentale, dove l'esperimento è inteso come interrogazione ragionata dei fenomeni naturali, scelta delle variabili significative, raccolta e analisi critica dei dati e dell'affidabilità di un processo di misura, costruzione e/o validazione di modelli.</p>	<p>una sorgente attraverso uno spettroscopio.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Riconoscere lo spettro dell'idrogeno. • Definire il corpo nero e analizzare l'andamento della distribuzione di intensità spettrale in funzione di lunghezza d'onda e temperatura assoluta. • Conoscere l'ipotesi della quantizzazione dell'energia formulata da Planck. • Conoscere l'esperimento condotto da Compton che mette in evidenza lo scambio di quantità di moto tra fotoni e materia. • Conoscere i modelli atomici • Analizzare il modello atomico alla luce delle nuove teorie. • Conoscere il modello di Bohr e le leggi di quantizzazione dell'energia • Conoscere la teoria delle bande di energia nei solidi e la conduzione elettrica nei semiconduttori 	<ul style="list-style-type: none"> • Formulare le leggi di Stefan-Boltzmann e di Wien. • Formulare la legge di Planck. • Descrivere matematicamente l'effetto Compton. • Ragionare sulla struttura della materia. • Descrivere le orbite e i livelli energetici dell'atomo di idrogeno. • Rappresentare con un diagramma dei livelli energetici le energie che può assumere un elettrone in un atomo. • Descrivere lo stato stazionario di un elettrone all'interno di un atomo mediante i numeri quantici. • Definire lo spin e formulare il principio di esclusione di Pauli.
--	---	---	---

			<ul style="list-style-type: none"> • Determinare le condizioni in cui un materiale può essere classificato come conduttore, semiconduttore, isolante, superconduttore
		<ul style="list-style-type: none"> • Formulare le espressioni matematiche per il calcolo del raggio e dell'energia dell'orbita n-esima dell'atomo di idrogeno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Calcolare in casi semplici il raggio e l'energia dell'orbita n-esima dell'atomo di idrogeno.
4. La meccanica quantistica: gli sviluppi	Osservare e identificare fenomeni.	<ul style="list-style-type: none"> • Ogni elemento presenta uno spettro proprio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Descrivere lo spettro a righe e lo spettro continuo. • Calcolare i livelli energetici dell'atomo di idrogeno • Determinare la lunghezza d'onda dell'elettrone e la sua quantità di moto
	Fare esperienza e rendere ragione del significato dei vari aspetti del metodo sperimentale, dove l'esperimento è	<ul style="list-style-type: none"> • Conoscere il principio di indeterminazione di Heisenberg e le sue implicazioni • Conoscere la teoria quantistica dell'atomo di idrogeno e la spiegazione degli spettri atomici di 	<ul style="list-style-type: none"> • Formulare il principio di indeterminazione di Heisenberg. • Calcolare l'indeterminazione sulla quantità di moto e sulla posizione delle

	<p>inteso come interrogazione ragionata dei fenomeni naturali, scelta delle variabili significative, raccolta e analisi critica dei dati e dell'affidabilità di un processo di misura, costruzione e/o validazione di modelli.</p>	<p>emissione e di assorbimento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conoscere la teoria quantistica delle molecole • Conoscere i meccanismi dell'assorbimento, della diffusione e dell'emissione stimolata 	<p>particelle quantistiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conoscere l'interpretazione di Copenhagen • Conoscere il paradosso EPR e l'esperimento di Aspect
<p>5. La fisica nucleare e delle particelle</p>	<p>Fare esperienza e rendere ragione del significato dei vari aspetti del metodo sperimentale, dove l'esperimento è inteso come interrogazione ragionata dei fenomeni naturali, scelta delle variabili significative, raccolta e analisi critica dei dati e dell'affidabilità di un processo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conoscere le proprietà delle particelle che costituiscono il nucleo atomico • Conoscere la struttura dei livelli energetici nucleari • Conoscere la legge di decadimento nucleare • Conoscere la natura dei decadimenti α, β, γ. • Conoscere la fissione e la fusione nucleare 	<ul style="list-style-type: none"> • Calcolare il difetto di massa e l'energia di legame tra i nucleoni • Determinare la vita media e il tempo di dimezzamento nei decadimenti nucleari • Determinare la lunghezza d'onda dei raggi emessi da un nucleo • Determinare il bilancio energetico nelle reazioni nucleari

	di misura, costruzione e/o validazione di modelli.		
--	---	--	--

Di questi contenuti, ne sono stati scelti alcuni, ritenuti significativi, per la nostra sperimentazione. La sperimentazione didattica è stata condotta in due classi di un Liceo Scientifico: in una prima classe le lezioni sono state condotte in modo tradizionale (mastery learning), in una seconda classe sono state condotte con una metodologia integrata Flipped + CLIL (FCLIL).

La prima fase della progettazione didattica è stata la ricerca da parte del docente di materiali on line facilmente fruibili dagli studenti: la scelta si è riversata su materiali e simulazioni disponibili in MOOCs⁶. Questi materiali sono stati molto utili per progettare l'intera Unità di Apprendimento. Questi materiali sono stati esplorati dagli studenti in modo indipendente. Invece, l'ambiente d'aula è divenuto un vero e proprio laboratorio, un ambiente di discussione, di sviluppo delle capacità argomentative. L'aula è stata l'ambiente di apprendimento in cui si è progettato e realizzato esperimenti e applicazioni concrete a casi di studio reali. Per aumentare il livello di interazione, sono stati creati un gruppo su Facebook e un blog, dove gli studenti hanno facilmente condiviso le loro idee e materiali. Inoltre, è stato creato un sito web e utilizzato come un repository di contenuti inseriti dagli studenti ma rivisti e selezionati dal docente. Inoltre, gli studenti hanno interagito nell'ambiente virtuale Edmodo ed è stato pianificato uno scambio eTwinning⁷ per diffondere la sperimentazione in scuole straniere.

Tra le esperienze più significative, che hanno catturato l'attenzione degli studenti, vi è l'esperienza della doppia fenditura, effettuata da Thomas Young nei primi anni del XIX secolo. L'esperienza di Young fu progettata per provare le proprietà ondulatorie della

⁶ I MOOC (Massive Open Online Courses, in italiano: Corsi aperti online su larga scala) sono dei corsi, aperti e disponibili in rete, pensati per una formazione a distanza che coinvolga un numero elevato di utenti (Kaplan, Haenlein, 2016). L'acronimo MOOC è stato utilizzato per la prima volta nel 2008 nel corso "Connectivism and Connective Knowledge" del professor George Siemens della Athabasca University. I partecipanti ai corsi provengono da diverse aree geografiche e accedono ai contenuti unicamente via rete. I corsi sono aperti, ossia l'accesso non richiede il pagamento di una tassa di iscrizione e permette di usufruire dei materiali degli stessi

⁷ **eTwinning** è un progetto della Commissione europea, facente parte del Progetto Erasmus, il cui obiettivo è incoraggiare le scuole europee a creare progetti collaborativi basati sull'impiego delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (TIC), fornendo le infrastrutture necessarie (strumenti online, servizi di supporto) alla creazione di progetti didattici a distanza (fonte Wikipedia)

luce ma poi è considerata la chiave per capire la duplice natura delle particelle, perché è stato possibile riproporla con le particelle microspiche. L'azione didattica in modalità classe-capovolta è iniziata suggerendo agli studenti dei link significativi a cui potessero far riferimento per comprendere, anche se non ancora concettualmente, l'esperienza di Young. Gli studenti per riprodurre l'esperienza in laboratorio si sono serviti di materiale didattico reperito in rete in lingua inglese, in particolare al video del seguente link <https://www.youtube.com/watch?v=LXf35olSYcw>. Per riprodurre l'esperimento è stato consigliato agli studenti di utilizzare materiale povero o comunque facilmente reperibile: vetrini da microscopio, vernice spray nera o fuliggine da fiamma di candela, foglio di alluminio da cucina, lamette da barba per fare fenditure sottili, un puntatore laser economico, un righello o simili, mollette da panni per fare sostegni, un pezzo di cartone chiaro per fare lo schermo. È stata chiesta loro una succinta relazione che descrivesse il lavoro svolto. Dalla relazione si è chiesto di far emergere le eventuali difficoltà incontrate e una loro possibile soluzione, di indicare ciò che è piaciuto e ciò che non è piaciuto, di esplicitare a quali domande personali è stata data risposta, di esprimere quali parti dell'argomento avrebbero voluto approfondire. Inoltre, è stato chiesto di enucleare i legami con altri contenuti di fisica o altre discipline che avrebbero voluto approfondire.

Sono stati utilizzati i seguenti materiali: un laser (rosso e verde), un pannello con apposite fenditure; un metro (sensibilità=0.01m), un calibro (sensibilità=0.05mm).

Gli studenti, hanno lavorato suddivisi in gruppi. Hanno in autonomia allestito l'esperimento disponendo su un tavolo (o comunque una superficie piana) la sorgente luminosa, cioè il puntatore laser. Proprio all'uscita del fascio luminoso hanno disposto un apposito ostacolo, rappresentato da un sottile pannello con due piccolissime fessure ad una certa distanza l'una dall'altra. Hanno ricoperto un vetrino da microscopio con la vernice spray, qualche gruppo lo ha affumicato uniformemente con la fuliggine della fiamma di una candela. Invece del vetrino verniciato o annerito con nerofumo qualche gruppo ha usato un foglietto di alluminio da cucina, ripiegato 4-5 volte e ben compresso in modo da avere un rettangolo di circa $4\text{ cm} \times 6\text{ cm}$. Hanno realizzato due fenditure sottili come lo spessore del lato affilato di una lametta da barba e molto vicine (dell'ordine del decimo di mm). Hanno posizionato il vetrino (o il rettangolo di alluminio) verticale (due mollette hanno fatto da supporto) ed hanno illuminato le

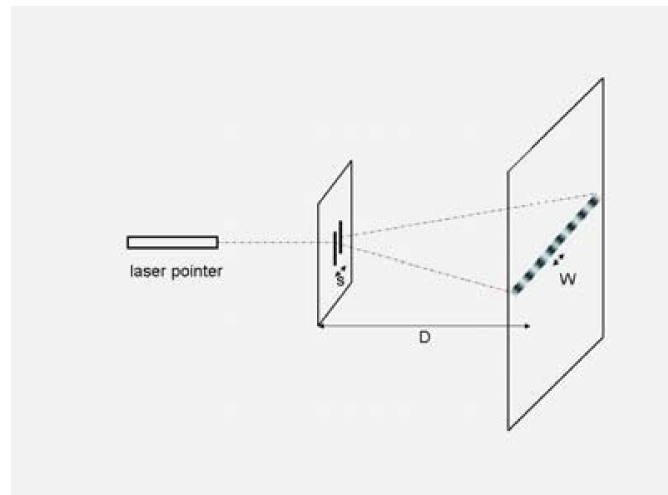
fenditure con la luce del puntatore laser. Hanno posizionato uno schermo chiaro dietro al vetrino, ad una distanza di 40-50 cm.

Nel frattempo, gli studenti hanno misurato la distanza tra la sorgente luminosa ed il muro su cui è stato proiettato il fascio di luce. Nel momento in cui il laser ha attraversato le due fenditure (comportandosi come un'onda) ed inciso sullo schermo (il muro) si è potuta osservare una disposizione particolare di bande luminose alternate a bande scure. Nell'apparato sperimentale qui proposto si è usato un sottile fascio di luce prodotto da un puntatore laser. Questa luce è coerente in quanto risulta da transizioni tra due livelli energetici atomici; le sue caratteristiche sono collegate con la vita media dello stato eccitato da cui l'atomo transisce. I laser producono fasci di luce quasi monocromatica (l'intervallo di lunghezze d'onda è piccolo). Tutte le onde del fascio di luce laser sono in fase tra loro. L'apparato sperimentale proposto permette di osservare l'interferenza attraverso una chiara figura di frange chiare e scure. Ciò illustra la natura ondulatoria della luce e può servire per introdurre il tema dei modelli corpuscolare e ondulatorio entrambi necessari per descrivere e render conto di diversi fenomeni (es. diffrazione ed interferenza, effetto fotoelettrico e Compton).

Con il righello si è misurata la distanza W tra la frangia chiara centrale (prima) e quella chiara successiva (seconda), la distanza D tra le fenditure e lo schermo, la distanza R tra la sorgente puntiforme e la fenditura. Se il valore di s (distanza fra le fenditure) è stato stimato, è possibile stimare la lunghezza d'onda della luce del puntatore laser usato. Oppure, se λ è nota, si può ottenere s . Per poter considerare l'onda incidente sulla fenditura e sullo schermo di osservazione come un'onda piana bisogna tener conto di due condizioni:

$$R > \frac{s^2}{\lambda}$$

$$D > \frac{s^2}{\lambda}$$

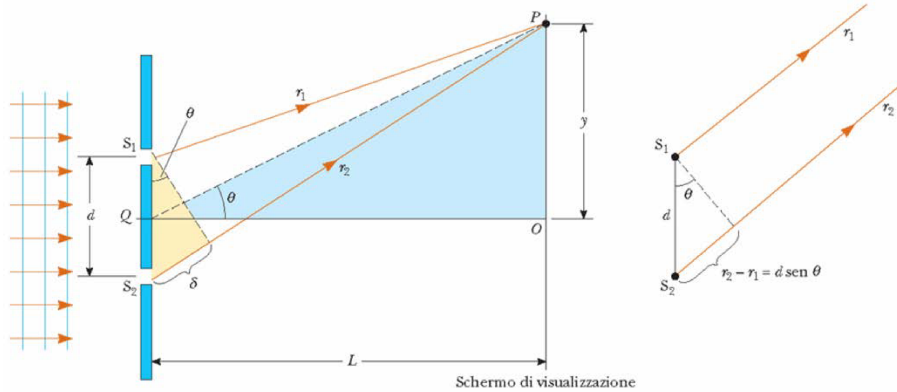


A questa fase sperimentale, è seguita la formalizzazione teorica di quanto osservato. Si è avuto modo di approfondire il concetto di interferenza.

L'interferenza è un fenomeno dovuto alla sovrapposizione, in un punto dello spazio, di due o più onde. Quello che si osserva è che l'intensità o ampiezza dell'onda risultante in quel punto può essere diversa rispetto alla somma delle intensità associate ad ogni singola onda di partenza; in particolare, essa può variare tra un minimo, in corrispondenza del quale non si osserva alcun fenomeno ondulatorio, ed un massimo coincidente con la somma delle intensità. In generale, si dice che l'interferenza è 'costruttiva' quando l'intensità risultante è maggiore rispetto a quella di ogni singola intensità originaria, è 'distruttiva' in caso contrario.

Le onde emesse da due sorgenti luminose s_1 e s_2 possono essere descritte tramite l'oscillazione di un due campi elettrici.

In un punto P individuato su uno schermo posto a distanza L dalle sorgenti, come in figura, confluiscono i due campi elettrici prodotti: ci si chiede quanto valga il campo elettrico in tale punto.



Dette r_1 e r_2 le distanze rispettivamente da s_1 e s_2 e θ l'angolo individuato dalla congiungente lo schermo di visualizzazione e le sorgenti, i due campi elettrici che confluiscono in P sono dati dalle seguenti relazioni:

$$E_1 = A_1 \cos(\omega t - kr_1)$$

$$E_2 = A_2 \cos(\omega t - kr_2 + \varphi)$$

dove A_1 e A_2 sono le ampiezze rispettivamente di E_1 e E_2 .

Detta D la distanza tra s_1 e s_2 e L la distanza a cui posizioniamo lo schermo di visualizzazione, si può notare che le due ampiezze, che sono diverse, possono essere considerate uguali se la differenza tra r_1 e r_2 è sufficientemente piccolo e questo accade se QP è piccola rispetto a L e se $d \ll L$.

In questa ipotesi possiamo scrivere

$$A_1 \text{ e } A_2 = A$$

Così, l'onda che arriva in P sarà descritta dal campo elettrico:

$$E = E_1 + E_2 = A[\cos(\omega t - kr_1) + \cos(\omega t - kr_2 + \varphi)]$$

Per le formule di prostaferesi, si ha:

$$E = A \left[2 \cos \left(\frac{\omega t - kr_1 + \omega t - kr_2 + \varphi}{2} \right) - \cos \left(\frac{\omega t - kr_1 - \omega t + kr_2 - \varphi}{2} \right) \right]$$

Tenendo conto che $\cos \alpha = \cos(-\alpha)$, si ha:

$$E = 2A \cos \left(\omega t - k \frac{r_1 + r_2}{2} + \frac{\varphi}{2} \right) \cos \left(k \frac{r_1 - r_2}{2} + \frac{\varphi}{2} \right)$$

Per le ipotesi fatte in precedenza, si può scrivere:

$$\frac{r_1 + r_2}{2} \approx \frac{2r}{2} = r$$

$$\frac{r_1 - r_2}{2} = \frac{d \cdot \sin \theta}{2}$$

Quindi, operando le opportune sostituzioni, il campo in P è descritto dall'onda

$$E = A \cos(\omega t - kr + \varphi/2)$$

L'ampiezza⁸ dell'onda che arriva in P, si può scrivere come:

$$A = 2A \cos\left(\frac{\varphi}{2} - kd \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\right)$$

la figura di interferenza è legata all'intensità del campo incidente la lastra, che è direttamente proporzionale al quadrato dell'ampiezza del campo elettrico. Quindi

$$I \propto A^2 \propto \cos^2\left(\frac{\varphi}{2} - kd \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\right)$$

Sullo schermo di visualizzazione si avranno zone di luce o zone di ombra.

I punti in cui l'intensità è minima, a cui corrispondono zone d'ombra, sono quelli per cui

$$\frac{\varphi}{2} - kd \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$$

I punti in cui l'intensità è massima, a cui corrispondono zone di luce, sono quelli per cui

$$\frac{\varphi}{2} - kd \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = n\pi$$

Se $\varphi = 0$:

$$kd \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$$

$$kd \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = n\pi$$

o anche

$$\frac{2\pi}{\lambda} d \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = (2n + 1) \frac{\pi}{2} \quad \rightarrow \quad d \sin\theta = \lambda \left(n + \frac{1}{2}\right)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} d \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = n\pi \quad \rightarrow \quad d \sin\theta = \lambda n$$

Queste ultime due relazioni caratterizzano la figura di interferenza tramite la differenza di cammino ottico e spiega anche perché la differenza di cammino ottico caratterizza le zone di luce e ombra.

Inoltre, nell'ipotesi che $\theta \ll 1$, si può scrivere:

⁸ Si noti che l'ampiezza **A**, in questa ultima relazione, è funzione sia di r che di θ

$$\sin\theta \approx \operatorname{tg}\theta \approx \frac{x}{L}$$

Allora, la luce si troverà nei punti

$$\frac{dx}{L} = \lambda n \quad \rightarrow \quad x = n \frac{L}{d} \cdot \lambda$$

e il buio nei punti

$$\frac{dx}{L} = \lambda \left(n + \frac{1}{2} \right) \quad \rightarrow \quad x = \lambda \frac{L}{d} \left(n + \frac{1}{2} \right)$$

La distanza tra due punti luminosi consecutivi è

$$\Delta = \lambda \frac{L}{d}$$

La misura di tale distanza consentì a Young di misurare per la prima volta la lunghezza d'onda della luce

$$\lambda = 10^{-7} m$$

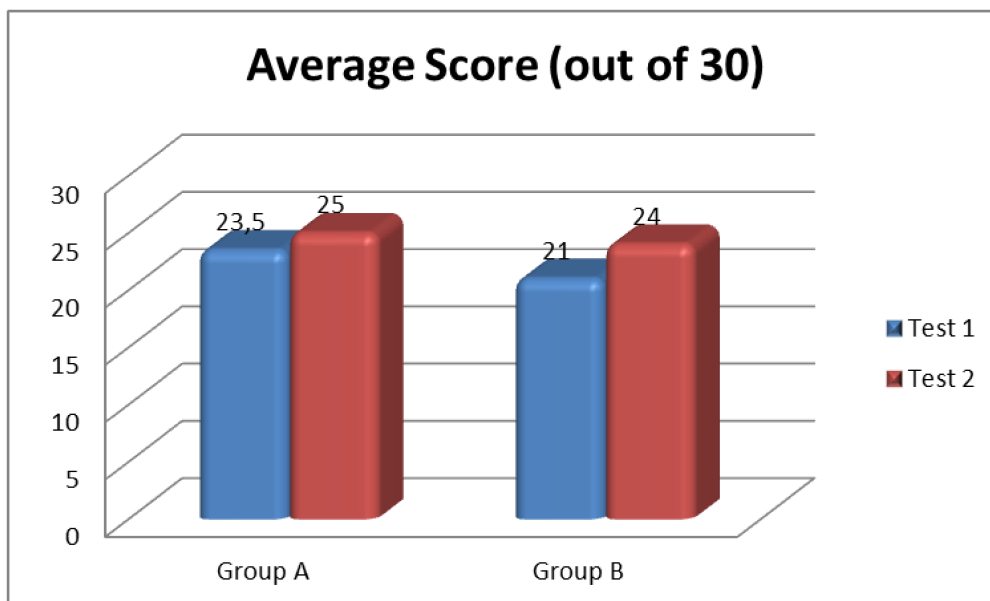
Thomas Young spiegò il risultato del suo esperimento come un fenomeno di interferenza di onde diffratte dalle due fenditure e, quindi, che la luce si propaga come onda.

Tra il 1815 ed il 1818 Augustin-Jean Fresnel studiò a fondo il fenomeno della diffrazione⁹, sicché la teoria ondulatoria della luce, proposta per primo da C. Huygens, si affermò definitivamente.

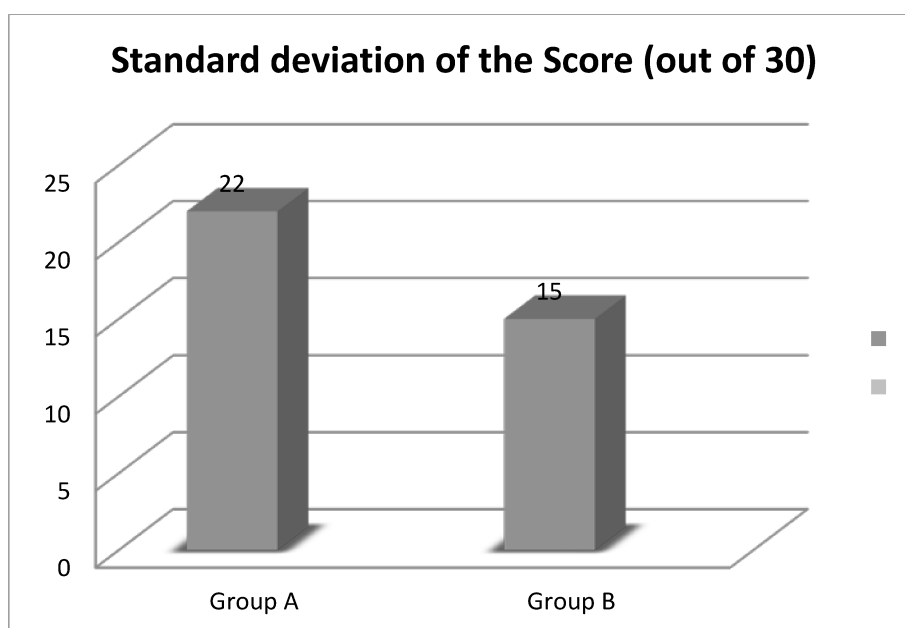
Alla fine dell'esperienza, è stata chiesta agli studenti una succinta relazione che descrivesse il lavoro svolto. Dalla relazione si è chiesto di far emergere le eventuali difficoltà incontrate e una loro possibile soluzione, di indicare ciò che è piaciuto e ciò che non è piaciuto, di esplicitare a quali domande personali è stata data risposta, di esprimere quali parti dell'argomento avrebbero voluto approfondire. Inoltre, è stato chiesto di enucleare i legami con altri contenuti di fisica o altre discipline che avrebbero voluto approfondire.

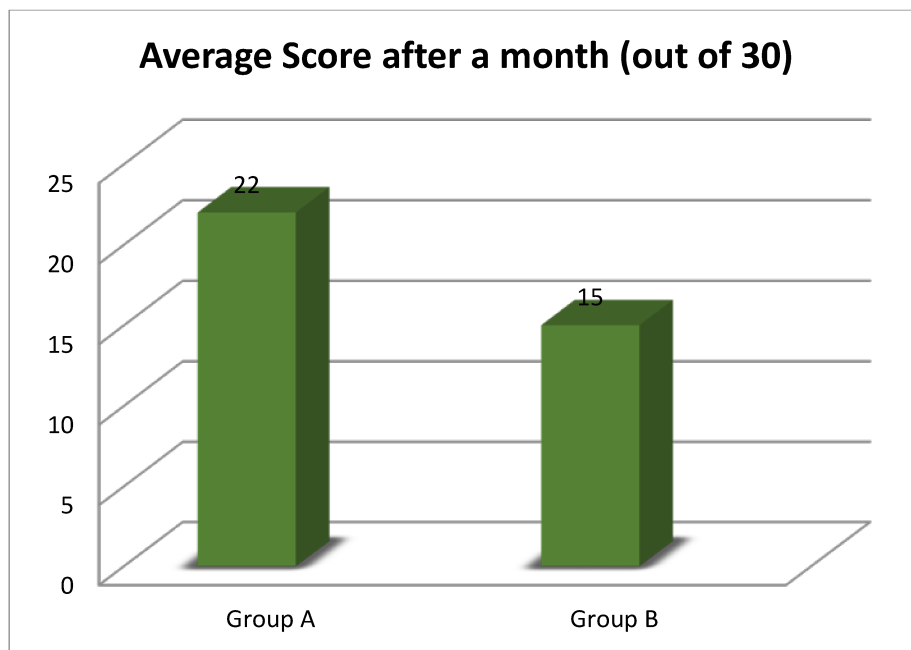
È stato possibile analizzare quantitativamente i risultati e la spinta motivazionale allo studio della fisica, testando tutti gli studenti. Sono venuti fuori scoprendo aspetti sorprendenti e un notevole vantaggio del gruppo di studenti istruiti in modalità FCLIL.

⁹ La **diffrazione** è un fenomeno associato alla deviazione della traiettoria di propagazione delle onde (come anche la riflessione, la rifrazione, la diffusione o l'interferenza) quando queste incontrano un ostacolo sul loro cammino. Gli effetti di diffrazione sono rilevanti quando la lunghezza d'onda è comparabile con la dimensione dell'ostacolo. In particolare per la luce visibile (lunghezza d'onda attorno a 0,5 μm) si hanno fenomeni di diffrazione quando essa interagisce con oggetti di dimensione sub-millimetrica



Nel grafico sono stati riportati i risultati di due gruppi di studenti sottoposti a una verifica sommativa. In bordeaux i risultati del gruppo con cui è stata sperimentata la metodologia FCLIL.





I vantaggi derivanti dall'uso della metodologia CLIL sono stati molteplici per la scuola: principalmente, si è favorito lo sviluppo della dimensione interculturale e la formazione di un team di lavoro, con ricaduta positiva nei consigli di classe e nel collegio docenti. I vantaggi per l'allievo sono stati una maggiore motivazione ad apprendere, una maggiore quantità e qualità dell'esposizione alla lingua, il potenziamento delle abilità linguistiche, una maggiore interazione tra insegnante ed allievi e allievi tra loro, lo sviluppo di competenze progettuali e organizzative, in particolare della riflessione metacognitiva (imparare ad imparare), attraverso l'uso del metodo cooperativo e collaborativo. L'utilizzo di supporti multimediali ha contribuito a facilitare lo sviluppo delle capacità di apprendimento.

Con l'utilizzo di una didattica integrata Flipped-CLIL (FCLIL) a questi vantaggi se ne sono aggiunti altri: la didattica è stata molto inclusiva rispettando i tempi di ciascuno studente; infatti, "fare i compiti" in classe ha dato all'insegnante l'esatta percezione delle difficoltà degli studenti e dei diversi stili di apprendimento. Gli studenti hanno avuto modo di usufruire delle competenze e degli stili di insegnamento da più insegnanti della stessa disciplina. Il tempo in classe è stato usato in modo più efficace e creativo rispetto allo schema tradizionale. Infine, si è riscontrato un miglioramento sia delle performance nell'immediato che a lungo termine; è cresciuto inoltre l'interesse verso lo studio della fisica.

4.2 Dalle reti infinite ai solidi platonici

Il razionalismo cartesiano sosteneva una netta distinzione fra il conoscere e l'agire, fra il pensiero e l'azione. Questa dicotomia si è sviluppata anche come contrapposizione fra mondo delle idee e prassi quotidiana rendendo difficile la coesistenza fra teorici e pratici, fra studiosi e uomini d'azione ed è tuttora visibile nella vita sociale e culturale con la suddivisione fra scienze speculative e scienze applicate ed anche nella distinzione fra la scuola, periodo dell'acquisizione del sapere, e la vita, spazio dell'attività e dell'operatività.

Già studiosi come Piaget, Bruner e Vygotskij, già citati in precedenza, hanno condotto ricerche sul rapporto tra azione e conoscenza. La teoria di Piaget va addirittura dall'azione al pensiero. Secondo Piaget, sapere qualcosa è il risultato di un processo di azione fisica e mentale. Ma sarà soltanto con la scoperta dei neuroni specchio e della cognizione incarnata (embodied cognition) che la fondatezza biologica di uno strettissimo nesso fra conoscere ed agire si farà strada.

Da un punto di vista della didattica, vengono introdotte metodologie che mettono in evidenza come il processo di apprendimento va oltre la dicotomia mente-corpo, pensiero-azione, già intorno agli anni '40. Una di queste metodologie è la Ricerca-Azione, che nasce però nell'ambito delle Scienze sociali per affrontare problemi sociali collegati con le minoranze etniche negli Stati Uniti. Si estende successivamente al mondo della scuola solo negli anni '80 per approdare in Italia negli anni '90 ed è definita “catalizzatore del cambiamento” (Pourtois 1981) ed ha lo scopo di individuare e migliorare una situazione problematica attraverso il coinvolgimento di ogni singolo attore.

Dobbiamo a Kurt Lewin (1890 – 1947) l'invenzione della ricerca-azione, la cui definizione data del 1946, giusto un anno prima della morte di Lewin. Egli, quindi, non ebbe il tempo di sviluppare la sua ricerca. Tuttavia, le indicazioni metodologiche che ci ha lasciato appaiono ancora oggi attuali. Tale teoria si è sviluppata sullo sfondo culturale delle teorie della Gestalt e delle dinamiche di gruppo. Sotto il profilo metodologico la ricerca-azione non ha carattere lineare, ma è un processo ciclico che procede a spirale -e che potrebbe non aver fine- passando per quattro momenti: Pianificazione – Azione – Osservazione - Riflessione si ripetono ciclicamente con un momento di valutazione dopo ciascuna di queste fasi per decidere se passare alla fase

successiva. Questa metodologia ha richiesto il pieno coinvolgimento di tutti gli studenti e ciascun docente ha assunto il ruolo di *attore-ricercatore* all'interno del processo. La prospettiva è quella di una scuola che guarda fuori dalle proprie aule, aperta al territorio, in grado di interagire in un orizzonte ampio, in un'ottica europea, in un'ottica mondiale.



La pianificazione non deve intendersi come una vera e propria progettazione a tavolino che definisce i dettagli dell'azione. Pianificazione deve intendersi come strategia nel perseguire uno o l'altro obiettivo a seconda delle difficoltà che si incontrano e dei bisogni formativi e cognitivi che possono emergere durante tutto il percorso didattico. In seguito, quando il campo della ricerca sarà più sviluppato, allora si potrà valutare l'efficacia dell'azione e se questa corrisponde alle aspettative, che nel frattempo, però, saranno in parte mutate. Di qui la necessità che i partecipanti familiarizzino con gli aspetti scientifici dell'argomento della ricerca. Lo stesso processo è poi ripetuto per ogni fase della ricerca-azione. In essa, pur restando una distribuzione dei ruoli in ragione di competenze e propensioni, viene meno il potere che il conduttore o responsabile esercita sugli altri.

La portata rivoluzionaria della ricerca-azione è quella di aver riunito, in un processo a spirale, i momenti peculiari della conoscenza teorica e quelli dell'azione, il cambiamento di una determinata realtà con il cambiamento del gruppo e di aver in qualche modo ricongiunto ricerca di base e ricerca applicata, sistema osservatore e sistema osservato, progettazione ed esecuzione.

A partire da queste teorie, si riconosce che l'efficacia di una azione didattica formativa è resa possibile solo se si mette in atto una metodologia che sia diversa dalla mera trasmissione del sapere. Si impara facendo (learning by doing) e l'azione stessa favorisce la costruzione di un pensiero (learning by thinking), mettendo in atto aspetti motivazionali ed emotivi (learning by loving)

La ricerca – azione, prevedendo l'“implicazione” degli attori nella ricerca, in quanto soggetti e non oggetti, presuppone una conversione epistemologica rispetto alla ricerca classica. Le parole chiave della ricerca – azione sono: “complessità” (attenzione a tutti gli aspetti di un fenomeno e a tutte le dimensioni dell'essere umano), "ascolto sensibile" (basato sull'empatia), “ricercatore collettivo” (il soggetto della ricerca è costituito dal ricercatore e da tutti gli attori implicati), “cambiamento” (scopo della ricerca non è la conoscenza, ma l'introduzione di cambiamenti migliorativi in una pratica), “negoziato” del conflitto, “processo”, “autorizzazione” (intesa come diventare autore di se stesso per appropriarsi della propria esistenza). (Barbier, 2008)

La Ricerca-Azione può essere definita come una tecnica espressione del metodo euristico partecipativo. Metodologicamente il ciclo della Ricerca-Azione comprende una serie di fasi:

1. Identificazione dei problemi da risolvere, delle cause di quei problemi, dei contesti e degli ambienti in cui i problemi si collocano, delle risorse a disposizione e dei vincoli che costringono a fare determinate scelte;
2. formulazione delle ipotesi di cambiamento e dei piani di implementazione;
3. applicazione delle ipotesi nei contesti-obiettivo dei piani formulati, quindi azione;
4. valutazione dei cambiamenti intervenuti e revisione dei progetti e dei piani adottati.;
5. approfondimento, istituzionalizzazione e diffusione capillare delle applicazioni con valutazione positiva. (Tessaro, 2002)

La metodologia della Ricerca-Azione, che si colloca in questa cornice teorica, è stata utilizzata per la realizzazione di un percorso extracurriculare con studenti di tre licei scientifici e per tre anni consecutivi. La sperimentazione è stata condotta nell'ambito di un progetto nazionale (Piano Lauree Scientifiche) coinvolgendo studenti delle classi

quarte e quinte di tre Licei Scientifici e con la supervisione scientifica del prof. Orazio Faella.

In particolare, gli studenti che hanno preso parte al progetto nell' A.S. 2013/14 sono stati 25, nell' A.S. 2014/15 sono stati 27, nell' A.S. 2015/16 sono stati 22. Gli studenti sono stati seguiti da docenti esperti provenienti dal Dipartimento di Fisica dell' Università degli studi di Salerno e da un docente (tutor) di ciascun liceo. Tutte le attività didattiche sono state programmate stabilendo un patto formativo tra docenti e discenti. Con gli interventi didattico-educativi sono state proposte agli studenti attività che potessero sollecitare e facilitare l' esplorazione critica degli argomenti di studio e il problem solving cercando di creare situazioni di apprendimento in cui gli studenti potessero costruire un sapere unitario (dalle conoscenze alle competenze). Tutte le attività proposte sono state strutturate attraverso una didattica interdisciplinare che potesse consentire agli studenti punti di osservazione secondo ottiche poliscolpiche e rotatorie nella prospettiva di superare un sapere parcellizzato e “chiuso” all' interno della singola disciplina. Allo studente, protagonista dell' intero processo di insegnamento-apprendimento, è stata fatta non più una proposta programmatica ma paradigmatica che gli consentisse di acquisire una attitudine generale a porre e a trattare i problemi e a padroneggiare i principi organizzatori che collegano i saperi , dando loro un senso. L' azione educativa è stata innestata nel substrato culturale della didattica per competenze cercando di favorire “un sistema coordinato di *conoscenze e abilità* mobilitate dal soggetto in relazione ad uno scopo (un compito, un insieme di compiti o un' azione) che lo interessano e che favoriscono buone *disposizioni interne* motivazionali e affettive (Pellerey 2003). Per favorire il passaggio dalle conoscenze alla competenza l' azione interdisciplinare si è rivelata la scelta migliore. Infatti, ”(le competenze) non possono ridursi ad una sola disciplina; esse suppongono e creano delle connessioni tra conoscenze e suggeriscono nuovi usi e nuove padronanze, il che significa che “le competenze generano competenze” (D' Amore, 2000).

Nell' ottica di una progettazione interdisciplinare, il concetto di simmetria ha offerto spunti didattici anche in altre discipline quali biologia, chimica, mineralogia ed ha consentito l' acquisizione di competenze intese come utilizzo di saperi disciplinari in modo integrato per affrontare evenienze e problemi concreti; intese come mobilitazione di saperi diversi e risorse personali per gestire situazioni, costruendo nel contempo

nuove conoscenze e abilità, sempre con la finalità ultima della formazione della persona e del cittadino. Durante gli incontri, gli studenti sono stati sempre messi di fronte a un compito, ponendo loro interrogativi sulle attività procedurali (“come intendi fare per...? Che cosa stai facendo? Come hai fatto per...?”); si è cercato di rendere lo studente consapevole del significato, della funzione, delle modalità e delle potenzialità del proprio sapere. Questo processo di metacognizione si è costruito attraverso la riflessione-ricostruzione dei processi con cui apprendiamo.

Gli studenti sono stati i veri attori della ricerca – azione che si concretizza attraverso le strategie didattiche dell'APS (problem solving applicato) e dell'educazione tra pari (peer to peer education). Per essi sono previsti seminari, lezioni e laboratori tenuti nei singoli Istituti ma in sinergia tra gli Istituti e presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Salerno. Tutta l'attività di ricerca-azione è stata basata sul Problem Solving in modo da identificare le soluzioni ai problemi, soluzioni che, nella maggior parte dei casi, sono già presenti nel problema stesso anche se sono ben nascoste. Perché "Applied"? "Applicato" perchè gli studenti imparano con maggior efficacia dalle cose che fanno, quindi perchè perdere tempo semplicemente a leggere e studiare teorie ed esempi inventati quando possiamo lavorare direttamente su problemi reali? Come diceva Confucio: Se ascolto dimentico, se vedo ricordo, se faccio capisco. E in una didattica per competenze occorre riflettere, pensare, acquisire consapevolezza delle azioni (learning by doing) E questo è possibile solo se si va oltre la semplice osservazione dei fenomeni.

Alle attività esperienziali sono seguite sempre riflessioni teoriche e di gruppo. Così come non possiamo insegnare semplicemente in modo astratto, formale e teorico senza contestualizzare, non possiamo nemmeno lasciare gli alunni fermi alla fase dell'esperienza e del “fare”. La conquista del pensiero formale è ovviamente fondamentale: esso connota il pensiero adulto maturo e permette di non dover essere costantemente ancorati all'esperienza *hic et nunc*, che viene invece rappresentata nella mente attraverso le parole e le idee. Soltanto il processo di riflessione, inoltre, potenzia la capacità di generalizzare e applicare le soluzioni d'esperienza a contesti simili e differenti. Il fatto di condurre le riflessioni e le analisi in gruppo, infine, permette di diffondere e generalizzare le capacità metacognitive, che risulteranno anche arricchite dal contributo comune.

Di seguito, descriveremo le fasi dell'attività didattica.

Con gli studenti abbiamo affrontato il calcolo e la misura della resistenza equivalente in circuiti che presentano particolari configurazioni geometriche, argomento che, generalmente, negli istituti superiori, viene limitato alle classiche configurazioni serie-parallelo e, al più, alle trasformazioni stella-triangolo. Il nostro lavoro ha affrontato il problema della ricerca della resistenza equivalente tra due nodi di reti bidimensionali sfruttando principalmente le proprietà simmetrie del circuito. Una rete può risultare simmetrica rispetto ad un punto "simmetria centrale", ad una retta "simmetria assiale" ed infine rispetto ad un piano "simmetria speculare". Si è partiti da semplici circuiti, per far entrare gli studenti in confidenza con circuiti risolvibili analizzandone la simmetria rispetto a un asse. Si prenda, ad esempio, il semplice circuito mostrato in fig.1. Si vuole determinare la resistenza equivalente tra A e B ricorrendo alla simmetria che il circuito presenta rispetto all'asse ortogonale ad AB.

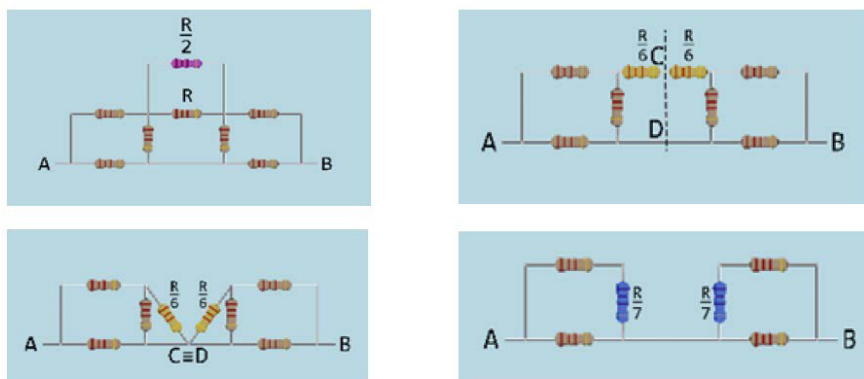


Figura 1

Le due resistenze R e $R/2$ sono in parallelo. La resistenza equivalente tra le due è $R/3$. La resistenza $R/3$ si può vedere come una serie di due resistenze ciascuna del valore di $R/6$. A questo punto si può osservare che i punti C e D si trovano allo stesso potenziale. La resistenza $R/6$ si trova in parallelo con R e ci fornisce una resistenza equivalente pari a $R/7$:

$$\frac{\frac{R}{6} \cdot R}{\frac{R}{6} + \frac{6R}{6}} = \frac{\frac{R^2}{6}}{\frac{7R}{6}} = \frac{R}{7}$$

Nell'ultima configurazione $R/7$ in serie con R ci darà $\frac{8}{7}R$:

$$\frac{R}{7} + R = \frac{8}{7}R$$

Quest'ultima, in parallelo con R, ci fornirà $\frac{8}{15}R$:

$$\frac{\frac{8}{7}R \cdot R}{\frac{8}{7}R + \frac{7R}{7}} = \frac{\frac{8}{7}R^2}{\frac{15}{7}R} = \frac{8}{15}R$$

Quest'ultima, in serie con il suo simmetrico, ci darà una resistenza equivalente sull'intero circuito di $\frac{16}{15}R$:

$$R_{eq} = 2 \frac{8}{15}R = \frac{16}{15}R$$

Prima di affrontare lo studio delle reti bidimensionali, ci si è soffermati sull'analisi di una rete unidimensionale infinita (comunemente detta a scala). Per lo studio di una rete siffatta, si parte da una singola cella che presenta due resistenze R disposte in serie. La resistenza equivalente di una cella vale 2R. Ad essa si aggiunga una seconda cella fondamentale: alla resistenza di 2 risulterà disposta in serie una terza resistenza R fornendo una resistenza equivalente di $\frac{2}{3}R$; a questa una ulteriore resistenza risulterà disposta in parallelo fornendo una resistenza equivalente pari a $\frac{5}{3}R$.

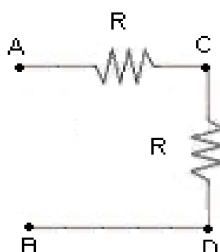


Figura 2

Per ogni cella aggiunta alla serie, la resistenza equivalente tra A e B, assumerà, quindi, i seguenti valori:

$$\frac{13}{8}R; \frac{34}{21}R; \frac{89}{55}R; \dots$$

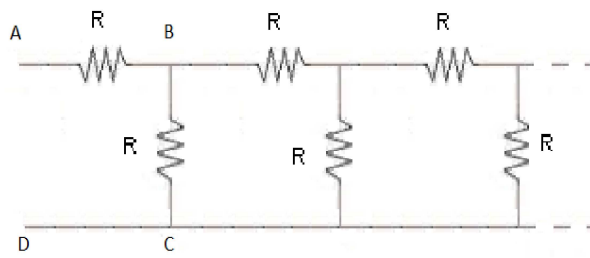


Figura 3

Se ora si considera la successione costituita dagli elementi numeratore e denominatore di queste frazioni, dove il numeratore occupa il posto pari e il denominatore il posto dispari, avremo:

$$(1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, \dots)$$

che si può riconoscere come successione di **Fibonacci**, dove il termine generico è:

$$a_{2n+1} = a_{2n} + a_{2n-1}$$

con n il numero delle celle.

La resistenza equivalente della rete con n celle sarà:

$$R_{eq} = \frac{a_{2n}}{a_{2n-1}} R$$

Per $n \rightarrow \infty$ tale rapporto tende al numero aureo 1,618..., quindi, la resistenza equivalente di una rete unidimensionale infinita di resistenze è:

$$R_{eq} = 1,618 \dots R$$

Sono state analizzate successivamente reti bidimensionali finite che racchiudono un volume. In particolare sono state analizzate reti i cui resistori, tutti dello stesso valore, sono spigoli di solidi platonici e, sfruttando la simmetria di tali solidi, è stata calcolata la resistenza equivalente tra alcuni nodi.

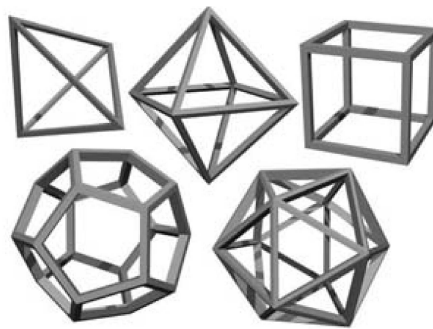


Figura 4

Le proprietà di simmetria di tali solidi, hanno consentito il calcolo della la resistenza equivalente tra alcuni nodi. In questo capitolo ci si è limitati ad analizzare il caso dell' icosaedro.

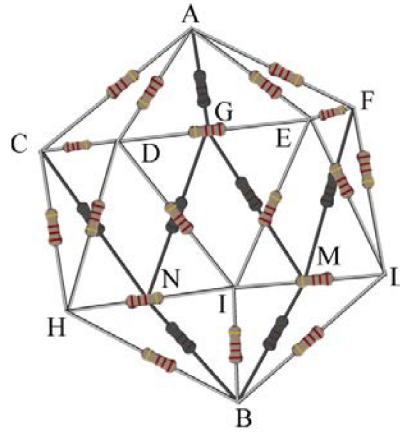


Figura 5

Se si pone una f.e.m tra i punti A e B del solido, i punti C,D,E,F,G ed i punti H,I,L,M,N sono allo stesso potenziale V_1 e V_2 rispettivamente. Sia il primo che il secondo gruppo di vertici possono essere considerati elettricamente come un macronodo, quindi le resistenze dei rami CH – HD – DI – IE – FL – FM – MG – NG – NC - LE, essendo collegate tra gli stessi nodi, risultano in parallelo. Sono in parallelo tra loro i rami AC – AD – AE – AF – AG e i rami BH – BL – BN –BI - BM. La resistenza equivalente è la somma delle tre resistenze in serie, del valore $R/5$, $R/10$ e $R/5$, ed ha valore $R/2$. Il principio di sovrapposizione, che, tra l' altro, può essere usato anche per il calcolo della resistenza equivalente tra due nodi qualsiasi. (Van Steenwijk, 1998), dimostra la bontà del nostro modello. Infatti, utilizzando questa tecnica di risoluzione, la resistenza equivalente tra due vertici adiacenti è:

$$R_e = \frac{H - 1}{E} R$$

dove H è il numero dei vertici ed E il numero degli spigoli. Ancora un altro metodo, che può confortare il nostro risultato, è quello del Laplaciano, che ricava la resistenza equivalente tra due vertici di un solido dal rapporto del determinante di due matrici. Secondo tale metodo, indicando con n il numero di vertici del solido, e definendo gli elementi della matrice¹⁰ L_{ij} , come:

$$l_{ij} = -1 \text{ se } i \neq j \text{ e il vertice } v_i \text{ e } v_j \text{ sono adiacenti}$$

¹⁰ la matrice laplaciana è una matrice quadrata di ordine n

$l_{ij} = 0$ se $i \neq j$ e il vertice v_i e v_j non sono adiacenti

$l_{ij} = d$ se $i = j$ ove d è il numero dei rami che hanno in comune il vertice v_i

Con questo metodo, il valore della resistenza R_{eq} tra due vertici i e j risulta essere uguale a:

$$R_{eq}(i, j) = K_{ij}R$$

dove:

$$K_{ij} = \frac{\det L(i, j)}{\det L(i)}$$

$L(i, j)$ è la matrice ottenuta eliminando le righe e le colonne i -esima e j -esima, e $L(i)$ è la matrice ottenuta eliminando la colonna i -esima. Quest'ultimo metodo risulta più efficace. Esso ha permesso di calcolare, in modo agevole, la resistenza equivalente anche per i solidi archimedei tra due nodi qualsiasi.

Con l'intento di dare una chiara spiegazione di come si è lavorato e programmato con il foglio Excel per la risoluzione del rapporto matriciale si riportano i dati relativi all'ottaedro. Si evidenziano anche i limiti di calcolo del software utilizzato, in funzione del crescente numero di vertici, da 4, per il tetraedro, a 120, per l'icosidodecaedro troncato, dei solidi platonici e archimedei.

È stato necessario costruire il modello in scala del solido utilizzando un cartoncino numerando i vertici, come in foto.



Aperto il foglio Excel, è stata creata una matrice quadrata, avente dimensione il numero di vertici del solido preso in esame.

Nella figura è mostrato l'esempio dell'Ottaedro regolare, un solido platonico con otto facce triangolari, 6 vertici e 12 spigoli, per questo esempio la matrice ha dimensione 6x6:

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1										
2										
3										
4										
5										
6										

Nelle celle in diagonale, elementi (1,1), (2,2),..., andrà il numero dei vertici in ogni spigolo: nel caso dell' ottaedro, questo valore è 4 (infatti da ogni spigolo del solido partono 4 triangoli). Per ogni singola riga, in ogni cella bisogna inserire i valori -1 o 0, seguendo la regola:

- -1, se il vertice indicato dal numero della riga è adiacente al vertice indicato dal numero della colonna;
- 0, se il vertice indicato dal numero della riga non è adiacente al vertice indicato dal numero della colonna.

La figura seguente può aiutare a comprendere meglio la tecnica dell'inserimento dati sopra esposta.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
	Senza le righe e le colonne 2 e 4					Senza la riga e colonna 2							
		1	3	5	6			1	3	4	5	6	
1		4	-1	-1	-1		1	4	-1	0	-1	-1	
3		-1	4	-1	0		3	-1	4	-1	-1	0	
5		-1	-1	4	-1		4	0	-1	4	-1	-1	
6		-1	0	-1	4		5	-1	-1	-1	4	-1	
							6	-1	0	-1	-1	4	

Il programma excel ha calcolato il determinante delle due matrici con la funzione MATR.DETERM, e il rapporto tra il determinante della matrice 1 e il determinante della matrice 2. Per questo esempio il rapporto è 5/12. La resistenza equivalente tra i vertici 2, 4 sarà data dal prodotto di 5/12 per il valore della resistenza di cui è composto ogni spigolo del solido.

Questo metodo ora esposto può essere utilizzato per tutti i solidi platonici e archimedei, tuttavia, come già accennato, la tecnica numerica dell'algorithmo del foglio Excel fallisce per un numero elevato di vertici, come si è sperimentato nel dodecaedro troncato e nell'icosaedro troncato. Per questi solidi si è dovuto ricorrere al programma MATLAB.

Durante le attività in laboratorio, gli studenti hanno, inizialmente, prodotto modelli di solidi platonici in cartone. Successivamente, hanno numerato gli spigoli, per poter implementare il metodo di Laplace, ed utilizzato excel per la risoluzione del rapporto matriciale. Hanno, in seguito, costruito modelli in cartoncino anche per alcuni solidi archimedei, sperimentando la validità del modello utilizzato per i solidi platonici. Gli studenti hanno costruito in laboratorio i solidi platonici e archimedei, adoperando resistenze di uguale valore. I valori delle resistenze utilizzate sono stati 2200 Ω , 1800 Ω , 1200 Ω , 22000 Ω e 10 Ω . Infine sono state misurate le resistenze equivalenti (R_{eq}) tra alcuni dei vertici delle reti tridimensionali, e verificato il modello teorico.

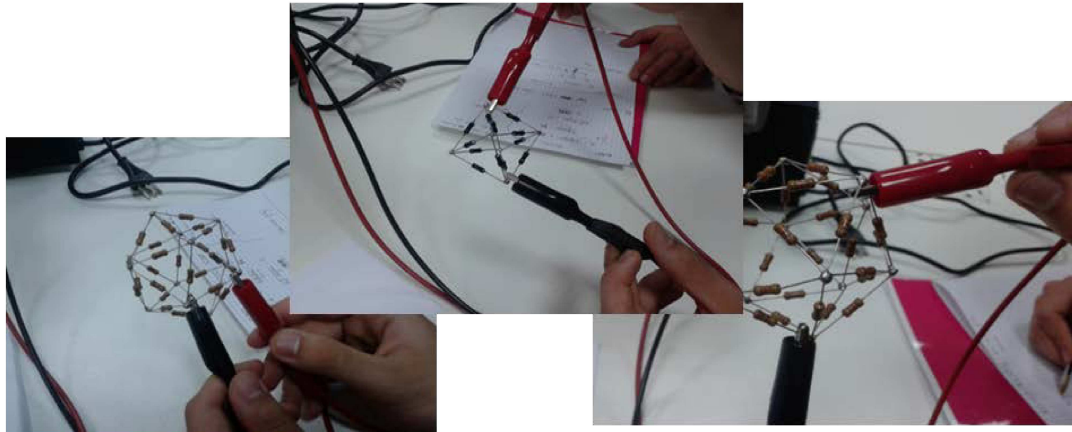


Figura 6

Si riporta la tabella dei dati sperimentali relativa a tutti i solidi platonici ed alcuni solidi archimedei.

Solido	Resistenze		Metodi:		
	R(Ω)	vertici	Laplace	Olandese	Sperimentale
Tetraedro	(2200 \pm 5%) Ω	$R_{eq} = (1, 2)$	(1100 \pm 5%) Ω	(1100 \pm 5%) Ω	(1097,5 \pm 0,1) Ω
Cubo	(1800 \pm 5%) Ω	$R_{eq} = (1, 2)$ $R_{eq} = (4, 8)$ $R_{eq} = (1, 5)$	(1050 \pm 5%) Ω (1350 \pm 5%) Ω (1500 \pm 5%) Ω	(1050 \pm 5%) Ω	(1050,0 \pm 0,1) Ω (1349,2 \pm 0,1) Ω (1500,0 \pm 0,1) Ω
Ottaedro	(1200 \pm 5%) Ω	$R_{eq} = (2, 4)$ $R_{eq} = (1, 4)$	(500 \pm 5%) Ω (600 \pm 5%) Ω	(500 \pm 5%) Ω	(497,0 \pm 0,1) Ω (598,6 \pm 0,1) Ω
Icosaedro	(1800 \pm 5%) Ω	$R_{eq} = (1, 2)$ $R_{eq} = (1, 8)$ $R_{eq} = (1, 5)$	(660 \pm 5%) Ω (900 \pm 5%) Ω (840 \pm 5%) Ω	(660 \pm 5%) Ω	(662,0 \pm 0,1) Ω (904,6 \pm 0,1) Ω (842,0 \pm 0,1) Ω
Dodecaedro	(2200 \pm 5%) Ω	$R_{eq} = (1, 2)$ $R_{eq} = (1, 14)$ $R_{eq} = (1, 3)$ $R_{eq} = (1, 18)$ $R_{eq} = (1, 17)$	(1393 \pm 5%) Ω (2567 \pm 5%) Ω (1980 \pm 5%) Ω (2493 \pm 5%) Ω (2347 \pm 5%) Ω	(1393 \pm 5%) Ω	(1386,5 \pm 0,1) Ω (2568,8 \pm 0,1) Ω (1977,0 \pm 0,1) Ω (2499,4 \pm 0,1) Ω (2348,9 \pm 0,1) Ω
Cubottaedro	(22000 \pm 5%) Ω	$R_{eq} = (1, 4)$ $R_{eq} = (1, 12)$	(10083 \pm 5%) Ω (14667 \pm 5%) Ω		(10123,0 \pm 0,1) Ω (14706,0 \pm 0,1) Ω
Ottaedro troncato	(10,0 \pm 5%) Ω	$R_{eq} = (1, 2)$ $R_{eq} = (7, 8)$	(6,2 \pm 5%) Ω (6,8 \pm 5%) Ω		(6,2 \pm 0,1) Ω (6,8 \pm 0,1) Ω
Tetraedro troncato	(10,0 \pm 5%) Ω	$R_{eq} = (1, 2)$ $R_{eq} = (1, 7)$ $R_{eq} = (1, 12)$	(7,0 \pm 5%) Ω (5,7 \pm 5%) Ω (11,0 \pm 5%) Ω		(6,9 \pm 0,1) Ω (5,7 \pm 0,1) Ω (10,9 \pm 0,1) Ω

Figura 7

I valori teorici calcolati in tabella sono affetti dall'errore dovuto al valore delle resistenze utilizzate (5%). I risultati sperimentali sono, pertanto, nei limiti degli errori, confrontabili con il modello teorico del metodo proposto.

Il software GeoGebra si è rivelato una risorsa sia per gli aspetti di visualizzazione che di concettualizzazione e di verifica. In accordo con le indicazioni nazionali secondo cui “lo studente sarà in grado di passare da un registro di rappresentazione ad un altro (numerico, grafico, funzionale) anche utilizzando strumenti informatici per la rappresentazione dei dati” (Duval, 1993), sono stati realizzati i solidi platonici con l'aiuto del software e sono state calcolate le resistenze equivalenti tra vertici simmetrici nonché tra vertici consecutivi.

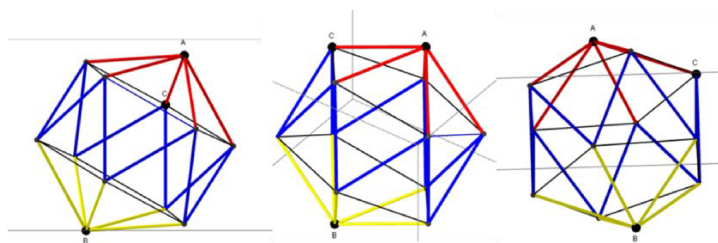


Figura 8

L'oggetto che gli studenti utilizzano in un software di geometria dinamica può essere da loro visto in due modi diversi: come semplice figura (ossia facendo leva sugli aspetti percettivi di osservazione) oppure come figura legata a una teoria (cioè facendo leva sugli aspetti concettuali). Fishbein (1993). Nel nostro caso, più che congetturare e formulare, gli studenti hanno potuto sfruttare gli aspetti percettivi delle figure. Non si è trattato qui di scegliere se costruire con riga e compasso o sfruttare le potenzialità del (trascinamento) dragging perché le due cose non si sono escluse a vicenda. In un certo senso, le potenzialità epistemologiche hanno riguardato la verifica dei dati empirici e dei modelli teorici. L'applicazione, creata con Geogebra, consente di visualizzare i solidi platonici prima della loro realizzazione fisica. Lo studente inserisce in input il numero di vertici del solido (H) e il valore della resistenza (R). Una volta inseriti i dati, clicca sul tasto “Controlla (Figura 9)”.

Numero di vertici (H): Valore della resistenza (R):

Numero di spigoli (E) = 0

Figura 9

A seconda del numero di vertici inserito, l'applicazione calcola automaticamente il numero di spigoli (E) e visualizza il rispettivo solido platonico (se esiste un solido col numero di vertici inserito), sfruttando le potenzialità di Geogebra 3D. In Figura 10 è presentato l'esempio del cubo (l'utente inserisce un numero di vertici uguale ad 8).

Numero di vertici (H): 8 Valore della resistenza (R): 2

Numero di spigoli (E) = 12

CUBO

Le resistenze **rosse** sono in parallelo. Pertanto la resistenza equivalente è $\frac{R}{3}$

Le resistenze **gialle** sono in parallelo. Pertanto la resistenza equivalente è $\frac{R}{6}$

Le resistenze **blu** sono in parallelo. Pertanto la resistenza equivalente è $\frac{R}{3}$

Le resistenze equivalenti **rossa, gialla e blu** sono in serie.

Pertanto la resistenza tra A e B, ossia tra due vertici opposti, è la somma delle resistenze in serie: $\frac{R}{3} + \frac{R}{6} + \frac{R}{3} = \frac{5R}{6} = 1.67 \Omega$

La resistenza tra A e C, ossia tra due vertici adiacenti, è $R_e = \frac{H-1}{E} R = 1.17 \Omega$

Figura 10

A seconda del valore di resistenza inserito (R), l'applicazione calcola automaticamente la resistenza tra due vertici opposti (A e B nella Figura 10) e quella tra due vertici adiacenti (A e C nella Figura 10), mostrando i vari passaggi e ragionamenti teorici che hanno portato al risultato. Lo studente può ingrandire, rimpicciolire, ruotare il solido 3D e, grazie anche all'utilizzo di colori diversi per le resistenze di ciascun macronodo, può facilmente individuare, prima della costruzione vera e propria, le proprietà di simmetria dei solidi, presupposto per pervenire al risultato teorico e sperimentale. L'applicazione è disponibile su Geogebra Tube all'indirizzo <http://tube.geogebra.org/material/simple/id/1460331>.

In conclusione, l'attività didattica si è ben prestata alle finalità educative indicate nel quadro teorico. Lo studente ha avuto modo di affrontare un argomento secondo una impostazione non tradizionale verificando con mano l'importanza di collegare i saperi

di diverse discipline. L'attività laboratoriale è stata parte integrante del percorso ed è servita per toccare con mano (didattica hands on) ed interiorizzare gli aspetti teorici (“Se ascolto dimentico, se vedo ricordo, se faccio capisco”). Infine, l'uso di Geogebra ha facilitato l'osservazione sfruttando il potenziale 3D presente nelle ultime versioni, ha velocizzato i tempi di realizzazione del progetto; GeoGebra è stato, inoltre, usato come linguaggio di programmazione per fare calcoli e visualizzare testi ed ha consentito la manipolazione dell'oggetto grafico e la visualizzazione del solido da diversi punti di vista. Sviluppi futuri del percorso didattico potrebbero essere lo studio delle simmetrie dal punto di vista dell'algebra astratta e le proprietà dei solidi platonici potrebbero essere studiate a partire dalla teoria dei grafi.

4.3 Robotica educativa e didattica della Fisica: una possibile integrazione?

La robotica è la disciplina che studia e sviluppa metodi che permettano a un robot di eseguire dei compiti specifici riproducendo il lavoro umano. Anche se la robotica è una branca della mecatronica, in essa confluiscono approcci di molte discipline sia di natura umanistica, come linguistica, sia scientifica: biologia, psicologia, automazione, elettronica, fisica, informatica, matematica e meccanica. Con l'espressione Robotica Educativa (RE) per molti anni è stato inteso lo studio di come insegnare la robotica agli studenti. Negli ultimi anni si è scoperto che essa può essere molto di più. Essa può essere il mezzo per appassionare gli studenti allo studio delle discipline tecnico-scientifiche ma, ancora di più, può essere un nuovo strumento per insegnare. L'affermarsi della robotica educativa nella scuola italiana stimola i pionieri del primo decennio XXI secolo a esplorare nuovi orizzonti educativi. I saperi sempre più pluridisciplinari, le abilità sempre più multiformi, le competenze sempre più articolate e interconnesse stanno mettendo in crisi il modello classico di Cultura (anche scientifica, non solo umanistica) ed il senso stesso dell'Istruzione, ormai divenuta permanente per stare al passo con l'evoluzione di tecnologie e derivate applicazioni che impattano profondamente nella società contemporanea. Il “digitale” da tecnologia diviene oggi “stile di vita”. Si sta cercando di portare nella scuola non soltanto le dotazioni tecnologiche ma, tramite le tecnologie, si intende innescare lo sviluppo di stili didattici derivati dalla cultura del digitale che si stanno affermando nella società contemporanea, a partire dai giovani. Quando si parla di robot, bisogna fare la distinzione tra robot industriali e di fantascienza. Questi ultimi aiutano gli umani nei loro compiti quotidiani e sono oggetto di ricerche a livello universitario. Lo studio della robotica sta entrando anche nelle scuole primarie e secondarie grazie a diversi fattori:

- I robot di servizio cominciano ad essere sempre più presenti nella nostra vita;
- Parecchi kit robotici con finalità educative sono presenti sul mercato a costi contenuti;
- Diversi progetti pilota in Europa e nel mondo hanno dimostrato che la robotica può essere un efficace strumento educativo;

- Esistono diversi strumenti tecnologici e diverse comunità online che possono fornire aiuto ai docenti, anche quando non hanno competenze specifiche nella robotica

Uno degli scopi fondamentali dell'uso della robotica educativa è avviare l'esplorazione dell' "altro lato" dell'apprendimento, quello affettivo (Piaget, 2011) che è più coinvolto nella digitalità di quanto lo sia il lato cognitivo. In tal senso, gli sviluppi della "Robotica" sono un nuovo stimolo a esplorare percorsi di "apprendimento basato sull'affettività" da cui ci attendiamo il correlato apprendimento di conoscenze, abilità e competenze. Si persegue, insomma, una pedagogia della felicità che consenta il superamento del millenario modello centrato sulla conoscenza, di cui la felicità era "prodotto collaterale e facoltativo".

Infatti, le macchine, i robot, stanno rendendo sempre meno strategica la mano d'opera, la competenza umana nel "saper fare", mentre la società ha sempre più bisogno di pensiero, emozione, valori interiori e sociali da porre alla base dello sviluppo.

L'uso della robotica educativa è uno strumento per stimolare i ragazzi allo studio attivo (Dewey, 2007) non solo delle discipline scientifiche ma, più in generale, di tutto il sapere.

Le statistiche di studi di Didattica rivelano che la robotica educativa offre i seguenti vantaggi:

- I robot generano stupore e interesse nei ragazzi;
- I robot generano nei ragazzi un transfert emotivo per cui queste macchine vengono viste come degli "esseri" di cui bisognava avere cura;
- La robotica educativa offre la possibilità di "recuperare" i ragazzi con problemi di attenzione e/o di comportamento che sono quelli che fanno più fatica a seguire una lezione teorica;
- La robotica ha la capacità di stimolare l'attenzione degli studenti e di mantenerla per un tempo molto lungo;
- È possibile proporre esperienze "open-ended" a cui lo studente può lavorare spingendosi fin dove a sua curiosità e le sue capacità lo portano;
- La sorpresa del docente nel constatare come i ragazzi apprendano velocemente.

Molte volte gli studenti maturano una comprensione autonoma dei problemi e offrono valide soluzioni alternative a quelle a cui aveva pensato il docente. Cambia completamente il rapporto docente-discente: l'insegnante stabilisce la meta, indica la strada, mostra le risorse da utilizzare durante il percorso ma il viaggio e il raggiungimento della meta avvengono insieme, in una sorta di rapporto peer to peer.

Alla base di questa metodologia didattica ci sono le teorie di pedagogisti come Seymour Papert, Jean Piaget e il project-based learning, l'apprendimento basato sul progetto”.

La cornice teorica della robotica educativa è quella del Costruzionismo

Il Costruzionismo è basato sulla teoria del costruttivismo secondo la quale l'individuo che apprende costruisce modelli mentali per comprendere il mondo intorno a lui. Il Costruzionismo sostiene che l'apprendimento avviene in modo più efficiente se chi apprende è coinvolto nella produzione di oggetti tangibili. In questo senso il Costruzionismo è connesso all'apprendimento esperienziale e ad alcune teorie di Jean Piaget. Seymour Papert era professore al Massachusetts Institute of Technology (MIT). Egli delinea il termine Costruzionismo in un documento intitolato Constructionism: A New Opportunity for Elementary Science Education definendolo: "Una parola che indica due aspetti della teoria della didattica delle scienze alla base di questo progetto. Dalle teorie costruttiviste in psicologia prendiamo la visione dell'apprendimento come una ricostruzione piuttosto che come una trasmissione di conoscenze. Successivamente estendiamo il concetto dei materiali manipolativi nell'idea che l'apprendimento è più efficiente quando è parte di un'attività come la costruzione di un prodotto significativo". Papert, nei laboratori del MIT, capì le potenzialità insite nei robot come strumenti educativi. A differenza di altri strumenti, come i software per computer, i robot richiedono una interazione attiva da parte dell'individuo che deve sia costruire, sia programmare il proprio robot al fine di fargli compiere azioni desiderate. Tali artefatti si configurano come “oggetti con cui ragionare” (Papert 1991) che stimolano lo studente a pensare in modo costruttivo imparando con la macchina piuttosto che dalla macchina (Jonassen, Peck e Wilson, 1999).

Il ruolo fondamentale che gli oggetti fisici e la loro manipolazione svolgono nel processo di apprendimento era già stato evidenziato dal costruttivismo piagetiano. Piaget sosteneva che ogni essere vivente si adatta all'ambiente attraverso due principali meccanismi: l'assimilazione e l'accomodamento. Il processo di assimilazione prevede

che l'individuo integri le informazioni provenienti dall'ambiente esterno attraverso le strutture concettuali (schemi mentali) che già possiede. L'accomodamento, invece, si verifica quando le strutture esistenti si modificano allo scopo di incamerare nuovi stimoli. Questi due meccanismi sono fortemente dipendenti dall'interazione con l'ambiente e con gli oggetti fisici che ne fanno parte. Secondo il costruttivismo piagetiano, l'apprendimento si configura come un processo dinamico di costruzione e ri-costruzione della conoscenza precedentemente acquisita all'interno di nuovi schemi mentali che favoriscono un miglior adattamento attraverso il raggiungimento di un equilibrio più evoluto. Sono almeno due gli aspetti cruciali derivanti dal concepire l'apprendimento come un processo di costruzione. Per prima cosa ogni persona costruisce nuove conoscenze cercando di sfruttare quelle che già possiede. In secondo luogo, il processo di apprendimento è necessariamente attivo: ogni volta che deve affrontare una situazione nuova, un individuo mette in atto un procedimento di confronto tra le conoscenze acquisite in situazioni passate con le informazioni provenienti da situazioni nuove. Riprendendo questi principi, Papert coniò il termine costruzionismo per evidenziare il ruolo fondamentale che la costruzione e la manipolazione di oggetti fisici e artefatti possono giocare all'interno del processo di apprendimento. Oggetti fisici come i droni o i robot premettono la creazione di unità di apprendimento centrate su problematiche di tipo pratico che lo studente dovrà affrontare in un'ottica di imparare facendo (learning by doing). Le lezioni frontali di matematica possono diventare come lezioni d'arte in cui gli studenti modellano delle sculture di sapone usando un coltello (Papert e Harel, 1991) Al posto della “scultura” gli studenti potranno realizzare “un'opera”, invece di usare “il coltello” utilizzeranno la programmazione assieme alle loro conoscenze di matematica e fisica per modellare il loro progetto. Lo studente nella fase di realizzazione di un prodotto potrà:

1. Vedere le fasi di creazione della sua opera e avere un feedback immediato sui propri progressi;
2. Usare la propria immaginazione ed essere attivo nella realizzazione del prodotto;
3. Esporre il proprio progetto ad altri studenti condividendo suggerimenti, proposte e opinioni;

4. Costruire la propria conoscenza sulla base delle conoscenze che già possiede stimolando nuovi apprendimenti.

L'apprendimento è dunque situato nella pratica (*situated learning*) e legato al progetto che gli studenti devono realizzare. Un ruolo fondamentale, nella realizzazione del progetto, gioca il saper lavorare in gruppo (*collaborative learning*). Non si tratta di un classico apprendimento cooperativo (*cooperative learning*) ma collaborativo proprio perché finalizzato alla realizzazione di un prodotto finale. La collaborazione è resa valida da cinque elementi: l'interdipendenza positiva, per cui gli studenti si impegnano per migliorare il rendimento di ciascun membro del gruppo, non essendo possibile il successo individuale senza il successo collettivo; la responsabilità individuale e di gruppo, in quanto il gruppo è responsabile del raggiungimento dei suoi obiettivi ed ogni membro è responsabile del suo contributo; l'interazione costruttiva, poiché gli studenti devono relazionarsi in maniera diretta per lavorare, promuovendo e sostenendo gli sforzi di ciascuno e lodandosi a vicenda per i successi ottenuti; l'attuazione di abilità sociali specifiche e necessarie nei rapporti interpersonali all'interno del piccolo gruppo, per cui gli studenti si impegnano nei vari ruoli richiesti dal lavoro e nella creazione di un clima di collaborazione e fiducia reciproca (particolare importanza rivestono le competenze di gestione dei conflitti); la valutazione di gruppo, per cui il gruppo valuta i propri risultati e il proprio modo di lavorare e si pone degli obiettivi di miglioramento. “Collaborare (co-labore) vuoi dire lavorare insieme, il che implica una condivisione dei compiti e un'esplicita intenzione di “aggiungere valore” per creare qualcosa di nuovo o differente attraverso un processo collaborativo deliberato e strutturato, in contrasto con un semplice scambio di informazioni o esecuzione di istruzioni. Un'ampia definizione di apprendimento collaborativo potrebbe essere l'acquisizione da parte degli individui di conoscenze, abilità o atteggiamenti che sono il risultato di un'interazione di gruppo, o, detto più chiaramente, un apprendimento individuale come risultato di un processo di gruppo”

A differenza della classica lezione frontale, gli studenti dovranno essere attori nella realizzazione del loro progetto e l'insegnante assumerà la funzione di guida e supervisore. La situazione reale sarà lo spunto per suggerire, apprendere e applicare nozioni che prima venivano recepite in maniera passiva. Il docente, inoltre, sfruttando l'utilizzo del prodotto realizzato, dovrebbe spingere gli studenti a colmare la zona di

sviluppo prossimale” (Vygotskij, 1962), ovvero la distanza tra il livello di conoscenza che lo studente può raggiungere in modo autonomo, senza interagire con l'ambiente e il massimo potenziale raggiungibile dall'alunno qualora ricevesse l'aiuto di un adulto. Possiamo individuare quattro principi fondamentali che caratterizzano l'approccio costruzionista alla robotica educativa:

- gli individui sono dei conoscitori attivi consapevoli del loro processo di apprendimento. In quest'ottica la costruzione e la ricostruzione della conoscenza si basano sulle peculiarità del singolo individuo come la sua esperienza pregressa, le sue aspettative, gli interessi personali, ecc.;
- la creazione e la manipolazione diretta di artefatti *con cui ragionare* consente un apprendimento per prove ed errori che stimola il ragionamento scientifico attraverso una metodica legata all'imparare facendo (*learning by doing*);
- i problemi proposti da una specifica didattica della robotica consentono di rispondere a quesiti realistici attraverso l'utilizzo pratico di nozioni derivanti da altre materie (ad esempio, fisica, matematica): l'apprendimento diventa così situato e legato all'esperienza diretta (*situated learning*);
- il prodotto del proprio apprendimento è direttamente visualizzabile favorendo la verbalizzazione dei propri ragionamenti e la condivisione delle proprie scoperte, sia con i compagni di classe che con l'insegnante il quale ricopre il ruolo di guida e supervisore (apprendimento condiviso);

Costruzionismo e costruttivismo condividono l'immagine di un individuo attivo che costruisce-ricostruisce il proprio sapere sulla base delle sue conoscenze pregresse e attraverso la costante interazione con l'ambiente e gli oggetti fisici che lo compongono. Pur avendo questa base comune, la prospettiva di Piaget e quella di Papert pongono enfasi su aspetti diversi. Piaget evidenzia come il bambino si stacchi progressivamente dalla realtà fisica con l'aumentare della sua capacità simbolica e di astrazione: infatti, a partire dallo stadio senso-motorio, fino a giungere a quello logico-formale, il bambino necessita sempre meno di oggetti concreti con cui interagire per capire la realtà che lo circonda. Papert, al contrario, suggerisce un ritorno alla dimensione pratica per facilitare il processo di apprendimento. Sebbene il bambino possa lavorare per astrazioni, per imparare a fondo è necessario immergersi completamente

nell'argomento che si vuole apprendere, entrando in costante contatto con la situazione e con il problema in questione.

In sintesi, costruttivismo e costruzionismo rendono due visioni parzialmente differenti riguardo l'apprendimento. Il primo sottolinea come l'individuo debba necessariamente staccarsi dalla situazione d'apprendimento così da poter generalizzare le regole estratte dall'esperienza. Il secondo mette in risalto l'immergersi nella specifica situazione di apprendimento come fulcro e motore dell'apprendimento. Per questa ragione Ackermann (2001) propone una integrazione delle due visioni suggerendo come un continuo movimento tra immergersi nella situazione di apprendimento e allontanarsene, per generalizzare le idee e i concetti estratti possa essere il miglior modo per favorire il processo di apprendimento. Partire dalla pratica per arrivare alla teoria e dalla teoria tornare alla pratica: la continua alternanza di queste fasi permette la costruzione, la verifica e la ri-costruzione di concetti e idee e si pone come base di un apprendimento efficiente e funzionale.

Quando vengono proposte nuove tecnologie didattiche, come nel caso della robotica educativa è lecito chiedersi quali funzioni cognitive siano maggiormente coinvolte o vengano addirittura potenziate dall'utilizzo di tali strumenti. In questo senso, sono ancora pochi gli studi sperimentali che cercano di indagare quali siano i processi cognitivi coinvolti nell'uso dei robot.

La risoluzione di un problema è il risultato di un procedimento complesso caratterizzato da distinte sottofasi. Seguendo un modello di problem solving proposto da diversi autori (Montague et al, 1993; Mastropieret al. 1997; Rivera et al., 1998; Tressoldi e Lucangeli, 1999), possiamo identificare sei punti distinti: comprensione, rappresentazione, categorizzazione, pianificazione, autovalutazione/controllo, soluzione.

In una cornice costruzionista e sfruttando le potenzialità delle metodologie di insegnamento - apprendimento di tipo collaborativo è stato condotto il percorso didattico PLS presso il Liceo Scientifico di Atripalda incentrato sulla fisica moderna.

I contenuti delle attività svolte possono essere così schematizzabili:

1. La “crisi” del Novecento: tra scienza e filosofia

Gli inizi del Novecento sono segnati da una profonda crisi intellettuale che, investendo le scienze e le certezze a cui queste avevano portato, si ripercuote

nella filosofia, nella letteratura e nell'arte. Sono stati ripercorsi i momenti salienti mettendo in evidenza le principali scoperte del tempo, prima fra tutte la teoria della relatività

2. La duplice natura della luce

L'ottica classica si era sviluppata sulla contrapposizione di due modelli di luce: quello ondulatorio proposto da Huygens e quello corpuscolare di Newton. Ai primi del Novecento si delinea una complessa questione relativa alla natura della luce nota come dualismo ondulatorio—corpuscolare. L'argomento è stato affrontato partendo dall'esperimento delle due fenditure dando poi una spiegazione della regola di quantizzazione di Bohr

3. I modelli atomici fino all'atomo quantistico

È stata fatta una veloce panoramica dei primi modelli atomici soffermandoci sulle più recenti teorie quantistiche: abbiamo fatto un viaggio nell'infinitamente piccolo perché dalla conoscenza della fisica dell'atomo si possono capire meglio tanti aspetti macroscopici della realtà. È stato dato risalto in particolare all'effetto fotoelettrico e all'effetto Compton. Conduttori e semiconduttori. Giunzioni n-p

4. Caos e Determinismo

Partendo dal moto browniano, le scienze hanno cercato di dare una risposta deterministica a modelli caotici. È stata esposta la giustificazione di Einstein al moto browniano. Sono stati illustrati, inoltre, il principio di indeterminazione di Heisenberg, l'ipotesi di De Broglie, l'equazione di Schrodinger.

5. Il bosone di Higgs

La lezione è stata un veloce viaggio nel mondo subatomico alla scoperta delle particelle elementari fino ad arrivare all'ultima sensazionale scoperta, “la particella di Dio”

Il percorso è stato condotto in coerenza con gli obiettivi del Piano Lauree Scientifiche, che sono la diffusione della cultura scientifica, l'incoraggiamento dei giovani ad intraprendere lo studio delle materie scientifiche ed il miglioramento delle possibilità di orientamento attraverso iniziative che offrano l'opportunità di vivere un'esperienza diretta di cosa vuol dire "far scienza".

Nell'ottica del “fare scienza”, in una dimensione didattica di Ricerca – Azione, sfruttando le potenzialità della robotica educativa già illustrate, il percorso didattico è stato finalizzato a concretizzare gli apprendimenti teorici realizzando un prodotto di intervento finale.

La scelta, operata direttamente dagli studenti, è ricaduta sull'implementazione di un drone alimentato con celle fotovoltaiche.

Prima di analizzare nello specifico le tecnologie utilizzate per i sistemi fotovoltaici a concentrazione è stato ritenuto opportuno ricordare i fenomeni fisici di fisica dello stato solido che stanno alla base della cella fotovoltaica

Un primo accenno ha riguardato l'effetto fotoelettrico. La prima osservazione dell'effetto fotoelettrico risale al 1887 ad opera di Heinrich Hertz mentre stava cercando di dimostrare l'esistenza delle onde elettromagnetiche. Questo fenomeno osservato venne comunque catalogato da Hertz come un fenomeno nuovo e misterioso. Successivamente con la teoria dei quanti Albert Einstein diede una spiegazione a tale fenomeno.

L'effetto fotoelettrico consiste nell'emissione di elettroni da parte di materiali, in particolare i metalli, colpiti da radiazione elettromagnetica di frequenza sufficientemente alta. In pratica si osserva che l'emissione di elettroni avviene solo se la radiazione incidente è caratterizzata da una frequenza ν maggiore di una certa frequenza di soglia ν_0 .

La fisica classica ammetteva che elettroni appartenenti agli atomi superficiali del corpo irraggiato potessero essere sollecitati ad oscillare dall'azione del campo elettrico variabile associato alla radiazione elettromagnetica incidente. In base a tale interpretazione, se le oscillazioni imposte all'elettrone risultassero molto ampie, gli elettroni potrebbero allontanarsi tanto dal nucleo da essere espulsi dagli atomi. Come conseguenza la velocità degli elettroni espulsi dovrebbe aumentare all'aumentare dell'intensità del campo elettrico incidente e quindi, a parità di frequenza, all'aumentare dell'intensità della radiazione elettromagnetica, contrariamente a quanto si osservava in pratica.

L'interpretazione dell'effetto fotoelettrico fu data nel 1905 da A. Einstein. Egli suppose che nell'interazione con la materia le radiazioni elettromagnetiche si comportassero come costituite da quanti di luce, chiamati fotoni, ciascuno dotato di una energia $\nu \cdot h$

, essendo h la costante di Planck e ν la frequenza della radiazione. All'aumentare dell'intensità di quest'ultima, l'energia di ogni fotone rimane invariata, mentre aumenta il numero di fotoni che attraversano l'unità di superficie nell'unità di tempo, cioè aumenta l'intensità del fascio fotonico. Nell'interazione della radiazione con la materia, un fotone, colpendo un atomo, gli può cedere la sua energia $\nu \cdot h$: se questa è maggiore di quella necessaria per strappare un elettrone dall'atomo, l'elettrone stesso ne viene espulso ed assume energia cinetica pari alla differenza tra l'energia del fotone incidente e la propria energia di legame E_G . È chiaro che l'effetto fotoelettrico può avvenire solo se l'energia del fotone incidente è in valore assoluto maggiore di E_G , cioè se la frequenza della radiazione incidente risulta maggiore di E_G/h . Da tale teoria deriva inoltre che all'aumentare dell'intensità della radiazione incidente, dato che aumenta il numero di fotoni incidenti (rimanendo costante la loro energia), aumenta anche il numero di elettroni espulsi, senza che la loro energia cinetica ne sia influenzata, come si osserva sperimentalmente.

Il meccanismo di funzionamento delle celle fotovoltaiche si basa sull'utilizzo di materiali semiconduttori, il più utilizzato dei quali è attualmente il silicio. Un cristallo di silicio puro ha una struttura cristallina dove gli atomi sono legati tra loro tramite legami covalenti formati da quattro elettroni di valenza. A basse temperature, vicine allo zero assoluto 0K, tutti i legami covalenti sono intatti e nessun elettrone è libero per condurre corrente elettrica.

A temperatura ambiente alcuni legami sono rotti per ionizzazione termica e sono quindi disponibili alcuni elettroni per la conduzione. Quando un legame covalente viene rotto, l'elettrone abbandona l'atomo, lasciando così lo stesso carico positivamente di una quantità in modulo pari alla carica dell'elettrone che si è allontanato. Un elettrone di un atomo vicino può quindi essere attratto dalla carica positiva abbandonando il suo atomo d'origine. Questa azione di colmare la lacuna esistente nell'atomo ionizzato crea quindi una nuova lacuna nell'atomo da cui si è staccato l'elettrone che ha colmato la prima lacuna. Questo processo si ripete e si è quindi in presenza di un flusso di carica positiva, o di lacune, che si può muovere attraverso il cristallo e può essere disponibile per la conduzione di corrente elettrica. La ionizzazione termica dà un numero di elettroni uguale a quello delle lacune e quindi una uguale concentrazione. All'interno del cristallo di silicio il movimento degli elettroni e delle lacune è casuale e gli elettroni

vanno a colmare le lacune esistenti effettuando così una ricombinazione. In equilibrio termico la concentrazione di elettroni liberi n è uguale al numero di lacune p e vale:

$$n = p = n_i$$

dove n_i rappresenta la concentrazione di elettroni e lacune liberi nel silicio intrinseco ad una data temperatura. Si può provare che tale concentrazione vale circa:

$$n_i = B^{1/2} \cdot T^{3/2} \cdot e^{-\frac{E_G}{2kT}}$$

dove:

- B = parametro che dipende dal materiale
- E_G = Energy Gap = 1.12 eV per il silicio
- k = costante di Boltzmann = $8.62 \cdot 10^{-5}$ eV/K

Esistono due meccanismi secondo cui gli elettroni e le lacune possono muoversi all'interno di un cristallo di silicio: la diffusione e la deriva.

a) La diffusione è associata al movimento casuale dovuto all'agitazione termica. In un pezzo di silicio, con concentrazione uniforme di elettroni e lacune, questo movimento casuale non dà luogo ad un flusso netto di carica. Se invece si realizza un pezzo di silicio con concentrazione non costante, si avrà un flusso di carica dalla zona più concentrata a quella meno concentrata con il risultato di una corrente per diffusione.

b) La deriva è il movimento delle cariche all'interno di un semiconduttore. Le cariche si muovono per deriva quando un campo elettrico E è applicato al pezzo di silicio. Gli elettroni e lacune sono accelerate dal campo elettrico e acquisiscono una componente di velocità chiamata velocità di deriva.

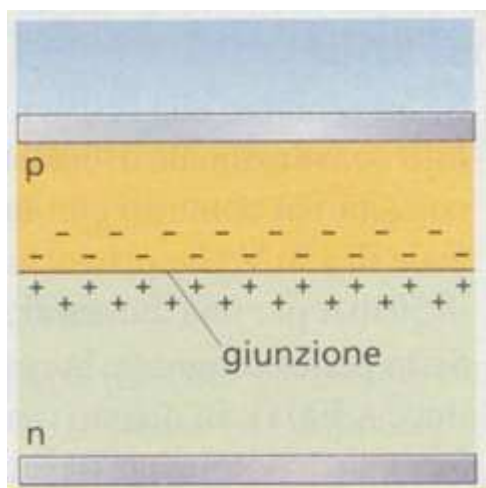
Se un campo elettrico di valore E è applicato, le lacune si muovono in direzione di E e acquisiscono una velocità pari a:

$$v_{deriva_lacune} = E \cdot \mu_p$$

dove μ_p è la mobilità delle lacune ed è espressa in m^2/Vs .

Il silicio è un materiale adatto alla realizzazione delle celle fotovoltaiche avendo un gap di energia di 1.12eV ed essendo il 75% della radiazione luminosa ad energia maggiore od uguale di tale valore. Inoltre, è un materiale molto presente in natura di cui si conoscono bene, dall'industria microelettronica, i processi tecnologici di lavorazione, drogaggio e finitura. Pertanto la maggior parte di celle fotovoltaiche realizzate oggi giorno vengono realizzate in silicio.

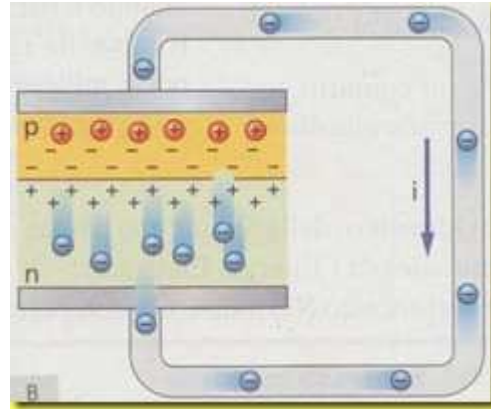
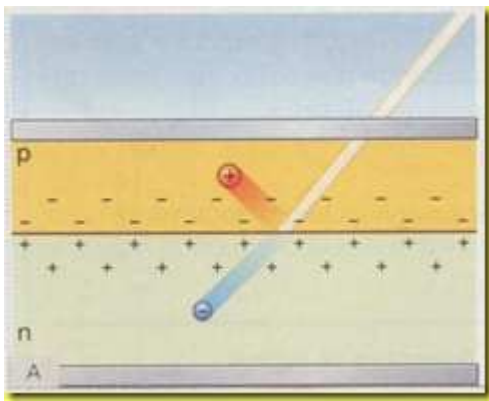
Le celle fotovoltaiche sono dispositivi che trasformano l'energia solare in energia elettrica. Una cella fotovoltaica è costituita da uno strato semiconduttore di tipo n e uno di tipo p (questa struttura si chiama giunzione n - p).



Alla giunzione, il semiconduttore di tipo p , ricco di lacune, accoglie un certo numero di elettroni e si carica negativamente. Di conseguenza, il semiconduttore di tipo n , che ha perso elettroni, acquista una carica positiva.

La luce attraversa il semiconduttore di tipo p , che è sottile, e porta energia nella zona di giunzione. Questa energia può allontanare un elettrone da un atomo di silicio, lasciando una lacuna.

Si genera così una corrente elettrica dovuta all'energia solare. Gli elettroni sono attirati dalla carica positiva nella zona di tipo n , mentre le lacune si muovono nel semiconduttore di tipo p . Gli elettroni possono passare dal semiconduttore di tipo n a quello di tipo p attraverso un filo conduttore esterno.



Le celle fotovoltaiche più utilizzate al giorno d'oggi sono realizzate in silicio monocristallino. Il rendimento di una cella fotovoltaica può essere espresso con la seguente relazione:

$$\eta = \frac{P_{Max_out}}{R \cdot A}$$

Dove:

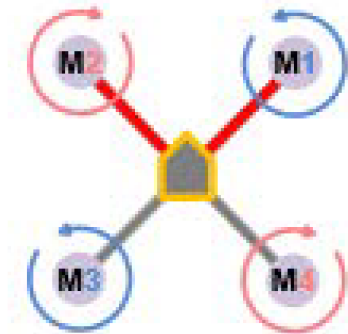
- P_{Max_out} è la massima potenza elettrica ottenibile in uscita.
- R è la radiazione incidente espressa in W/m^2 .
- A è l'area della cella

Contrariamente alla classica lezione frontale, questi contenuti non sono stati forniti dal docente agli studenti secondo una didattica di tipo trasmissivo (mastery learning) ma sono stati scoperti insieme agli studenti attraverso letture guidate da testi e ricerche sul web. Un ruolo fondamentale dell'azione didattica è stato rivestito dalla realizzazione del prodotto d'intervento: un drone alimentato con celle fotovoltaiche.

Il progetto è nato dalla considerazione che si potesse sfruttare la luce come forma di energia (*energy from quanta*). Di qui l'idea di alimentare la batteria del drone con celle fotovoltaiche. Le domande di ricerca degli studenti sono scaturite in un clima di peer education. In classe, è stata pianificata la realizzazione del drone. In questa fase di pianificazione, gli studenti sono stati suddivisi in sottogruppi, sono stati individuati i compiti per ciascun sottogruppo, successivamente i materiali da utilizzare, scanditi i tempi di realizzazione. Parte dell'attività laboratoriale è stata svolta dai gruppi di studenti a casa e, di settimana in settimana, ci si incontrava per discutere dell'avanzamento dei lavori, ripianificare, superare, con l'aiuto del docente, eventuali

ostacoli cognitivi ed operativi riscontrati in corso d'opera. Come prima cosa, si è preferito assemblare un drone acquistando i singoli pezzi piuttosto che lavorare su un drone già realizzato, sia per una questione di costi, sia per gli stimoli epistemologici che potessero derivare dal creare un oggetto “fai da te” DIY (do it yourself)

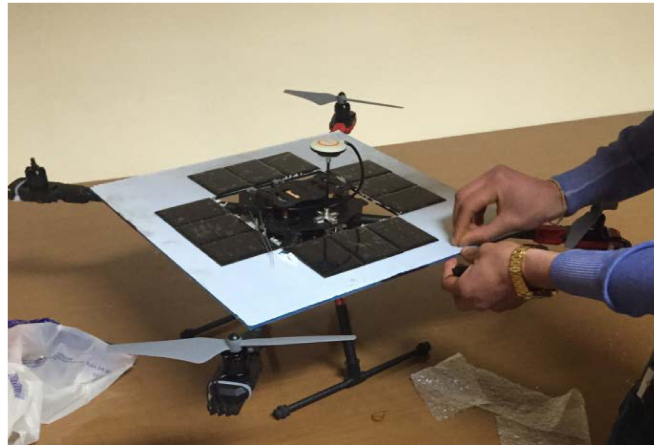
Per la realizzazione dell'impalcatura ci siamo indirizzati verso un telaio di tipo quadricottero, il più comune tipo di telaio che si trova nell'industria dei droni. Ha quattro bracci, ognuno collegato ad un singolo motore ed è progettato con una configurazione a X



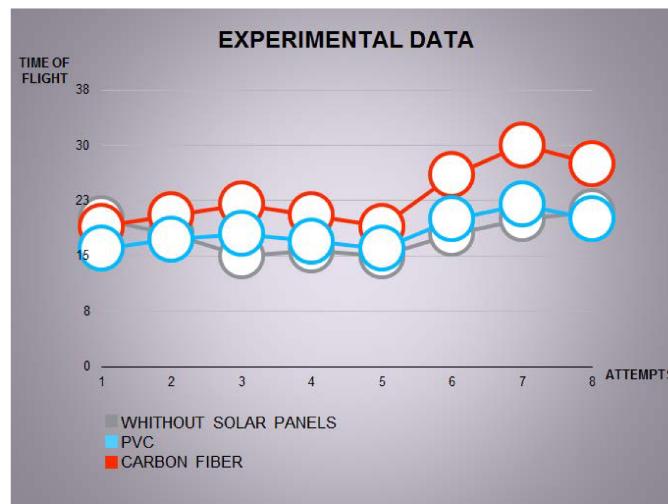
Telaio Quadricottero del drone

Una volta realizzata l'impalcatura del drone, ci si è chiesto quale materiale utilizzare per l'allocazione dei pannelli solari, in che modo posizionarli sia in senso topologico che in relazione all'alimentazione in serie o in parallelo.

Il legno sarebbe stata la scelta più economica, facilmente sostituibile in caso di rottura ma avrebbe appesantito troppo la struttura. Si è pensato allora di comparare due materiali, il PVC e la Fibra di Carbonio. È stata, pertanto, condotta una misurazione del tempo di volo di un drone senza la dotazione di pannelli solari ed è stata confrontata con le misurazioni dei tempi di volo di un drone utilizzando rispettivamente pannelli in PVC e in Fibra di Carbonio.

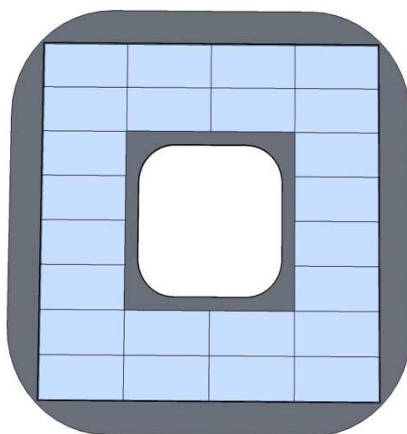


Prototipo del drone



Dati sperimentali relativi a tempo di volo e materiali utilizzati

Come si può evincere dal grafico riportato i pannelli in fibra di carbonio, risultando più leggeri, ottimizzano il tempo di volo del drone, a parità di condizioni atmosferiche. Ci si è chiesto, in seguito, quale potesse essere l'allocazione ottimale delle celle fotovoltaiche e si è pensato, in questo primo prototipo, di sistemare tali celle a gruppi di tre su un pannello di fibra di carbonio, intorno al motore centrale. Una allocazione migliore sarebbe stata direttamente sui bracci con orientabilità variabile in base all'intensità solare; questa soluzione avrebbe portato via molto più tempo e un dispendio di denaro maggiore



Schema di allocazione dei pannelli solari

Il motore elettrico utilizzato è fatto di 2 componenti: i magneti e la serpentina (bobine di filo). Il principio di funzionamento è molto semplice: in un contenitore, la bobina di filo che si muove in un campo magnetico crea corrente elettrica che permette al rotore di girare. La scelta del motore elettrico ha offerto lo spunto per fare un excursus didattico sul principio di funzionamento del motore stesso. Le eliche, anche esse in fibra di carbonio, sono state collegate al motore mediante degli adattatori ad anello. Al momento della scelta delle celle fotovoltaiche, ci si è imbattuti in una classica misconcezione: la differenza tra celle fotoelettriche e celle fotovoltaiche. Infatti, Le celle solari non si basano sull'effetto fotoelettrico osservato per la prima volta da Antoine C. Becquerel e da suo figlio Alexandre nel 1839, bensì sull'effetto fotovoltaico. Entrambi esprimono l'emissione di elettroni da parte di una superficie esposta a una radiazione elettromagnetica, come ad es. la luce visibile, a seguito del suo assorbimento da parte del materiale, ma mentre l'effetto fotoelettrico si ha fra due elettrodi fra cui esiste già una differenza di potenziale (così, quando un fotone di luce di sufficiente energia colpisce un elettrodo, un elettrone viene espulso dal guscio esterno di un atomo e può muoversi verso l'altro elettrodo generando una corrente), l'effetto fotovoltaico provoca la creazione di una differenza di potenziale fra due elettrodi che, invece, non ce l'hanno già. Una volta allocate anche le celle fotovoltaiche, il nostro drone era pronto per spiccare il volo sotto gli occhi entusiasti di tutti.

Tutto il gruppo classe ha partecipato attivamente alla realizzazione del prodotto attuando un vero e proprio apprendimento collaborativo. L'apprendimento collaborativo si ha quando esiste una reale interdipendenza tra i membri del gruppo

nella realizzazione di un compito, un impegno nel mutuo aiuto, un senso di responsabilità verso il gruppo e i suoi obiettivi. (Kaye, 2012) Questa modalità di apprendimento si basa su attività di comunicazione, sincrona o asincrona. Le tecniche di comunicazione asincrona hanno compreso, per esempio, lo scambio di e-mail o l'uso di aree on-line per la discussione e il lavoro di gruppo. Con queste ultime gli studenti possono accedere a dei materiali comuni, come file, software e oggetti multimediali e possono collaborare allo svolgimento di compiti assegnati o progetti, con una certa libertà rispetto a quando e dove occuparsene. Tipicamente, la collaborazione asincrona è facilitata da un docente. O meglio, il docente non è presente in tempo reale per dare supporto agli studenti, ma interagisce con loro attraverso l'email e i database condivisi. Anche la correzione dei compiti, la valutazione delle varie fasi del progetto e il controllo dello stato di avanzamento sono stati effettuati con la stessa modalità. La collaborazione in tempo reale o sincrona ha permesso invece un contatto simultaneo tra docenti e studenti oltre al contemporaneo accesso ai contenuti messi a disposizione. Infatti, la sola osservazione senza una progettazione didattica non genera competenze e il semplice operare con artefatti, senza la riflessione non genera competenze. È necessario quindi implementare una metodologia didattica che vada al di là del modello trasmissivo e sia favorito il passaggio dal learning by doing al learning by thinking. Attraverso l'attività laboratoriale si sono attivati nello studente meccanismi legati all'intelligenza emotiva migliorando notevolmente la motivazione allo studio, intesa come la capacità di scoprire il vero e profondo motivo che spinge all'azione, l'empatia, intesa come la capacità di sentire gli altri entrando in un flusso di contatto l'abilità sociale, la capacità di stare insieme agli altri cercando di capire i movimenti che accadono tra le persone. Si è stabilito nei docenti e nei discenti un flusso di coscienza che ha consentito di “vivere l'atto (dell'apprendimento) in sé, nello scorrere piacevole delle emozioni che un'azione suscita, completamente immersi nella situazione” (Csikszentmihalyi, 2014). Riuscire a “sintonizzarsi” con un flusso di coscienza ha permesso quindi di realizzare un processo di apprendimento più coinvolgente ed efficace, tale da realizzare appieno il concetto di “team-building”. Il problem solving si è integrata alla peer education perché si è attivato un processo naturale di passaggio di conoscenze, emozioni ed esperienze tra i membri del gruppo; la peer education ha messo in moto un ampio processo di comunicazione caratterizzato da un'esperienza

profonda e intensa e da un forte atteggiamento di ricerca, autenticità e sintonia tra i soggetti coinvolti [Croce, M. & Gnemmi, 2003]

Gli studenti hanno partecipato ad una selezione tra scuole della Campania con un progetto dal titolo “Energy from quanta” (l'energia che viene dai quanti) che si è distinto per il carattere innovativo della proposta, la correttezza e l'approfondimento dei contenuti scientifici, l'originalità e l'efficacia comunicativa. Al meeting internazionale gli studenti hanno partecipato a varie attività:

- attività di socializzazione (ogni Scuola si presenta e presenta il paese di provenienza (cinque minuti per ogni scuola);
- presentazione dei lavori da parte degli alunni in inglese con valutazione di un gruppo di esperti;
- sessione poster: gli alunni hanno presentato il lavoro attraverso un poster e exhibit a visitatori e un gruppo di esperti;
- attività di laboratorio degli alunni in gruppi costituiti da alunni provenienti da differenti Paesi.

Alle attività degli alunni sono affiancati momenti di confronto tra i docenti accompagnatori su tematiche riguardanti l'organizzazione didattica e le metodologie di lavoro in classe.

I nostri studenti hanno avuto modo di conoscere studenti provenienti da diverse parti del mondo e confrontarsi con loro nelle varie discipline scientifiche. È stata sicuramente una opportunità di crescita sia sul piano culturale che umano e sono stati la testimonianza concreta che si fa “buona scuola” anche in modo alternativo ma altrettanto formativo. Gli studenti sono diventati soggetti attivi del loro sviluppo e della loro formazione, non semplici recettori di contenuti, valori ed esperienze trasferiti da un professionista esperto. Questo è avvenuto attraverso il confronto tra punti di vista diversi, lo scambio di idee, l'analisi dei problemi e la ricerca delle possibili soluzioni, in una dinamica tra pari che tuttavia non ha escluso la possibilità di chiedere collaborazione e supporto agli esperti. Inoltre, l'interessante formula del forum ha previsto che gli alunni vivessero da protagonisti anche l'esperienza della comunicazione delle ricerche. I talk si sono susseguiti, seguendo uno schema per sessioni parallele, suddivise per aree d'interesse, con modalità e pratiche del tutto analoghe a quelle seguite nelle conferenze scientifiche ufficiali per ricercatori adulti.

La relazione è stata osservata da docenti designati, che hanno formato una giuria di esperti, a cui ha seguito un serrato question time, durante il quale gli addetti ai lavori e il pubblico presente in aula hanno espresso le loro curiosità agli studenti, che, a loro volta, hanno fatto del loro meglio per rendere la comunicazione ulteriormente chiara e soddisfacente. In seguito gli alunni hanno presentato più ampiamente il loro lavoro in un poster session, ottimamente scandita da turni che hanno consentito anche di visionare i poster di tutti gli altri gruppi di studenti.

4.4 Il Disco di Newton 3.0: una esperienza didattica con Arduino

La didattica tende a spostare l'asse dalla teoria alla prassi; in questo caso si attua un'inversione epistemologica ovvero si passa dall' "imparare per usare" all' "usare per imparare"; dalla prassi alla teoria riprendendo i costrutti dell' attivismo deweyano e del *learning by doing* papertiano. C'è, quindi, una rivalutazione del pensiero concreto su quello astratto.

Negli ultimi anni, numerosi studi nell' ambito delle Scienze dell' educazione in Europa hanno incoraggiato l' uso di un approccio didattico basato sull' investigazione (Inquiry-Based Science Education, IBSE) per cercare di invertire la tendenza al declino dell' interesse dei giovani verso le scienze e la matematica e sviluppare in tutti i futuri cittadini la literacy scientifica necessaria per la vita oltre la scuola.

Secondo il rapporto della Commissione Rocard (2007), le ragioni per cui i giovani non sviluppano interesse verso le Scienze sono complesse, ma esistono evidenti collegamenti tra i metodi didattici e lo sviluppo di attitudini positive verso le scienze. Questa tendenza è evidente anche dall' analisi dei test affect somministrati a circa 100 studenti sull' interesse verso le discipline scientifiche. Alla domanda "Ti piace la Fisica?", il 67% ha risposto "poco", il 12% ha risposto "abbastanza", l' 11% ha risposto "molto", il restante 10% ha risposto "per niente". Alla richiesta di descrivere la fisica con tre aggettivi, quelli più ricorrenti sono stati: appassionante, complicata, incomprensibile, noiosa, utile, faticosa, reale, inquietante, misteriosa, impegnativa. Alla richiesta di associare tre emozioni riconducibili alla fisica, le risposte più ricorrenti sono state: ansia, rabbia, paura, timore, speranza, soddisfazione, inadeguatezza, curiosità. Inoltre, alla domanda: "Perché si va male nelle discipline scientifiche?", nelle risposte è molto ricorrente il riferimento al fatto che le discipline scientifiche vengono insegnate in modo poco coinvolgente, spesso usando una didattica trasmissiva, spesso la fisica si riduce ad una mera applicazione di formule, si fa poco uso di una didattica laboratoriale.

Dalle ricerche emerge che nell' insegnamento delle scienze si possono individuare fondamentalmente due approcci pedagogici contrapposti: l' approccio deduttivo (trasmissivo) centrato sull' insegnante e l' approccio induttivo (attivo) centrato sullo studente. Nell' approccio trasmissivo l' insegnante presenta i concetti agli studenti, le loro implicazioni logico - deduttive, fornisce esempi e applicazioni e gli esperimenti

hanno uno scopo per lo più illustrativo. Nell'approccio induttivo, invece, l'insegnante guida gli studenti nella costruzione della propria conoscenza e dà spazio maggiore all'osservazione, alla sperimentazione e alla riflessione. La comunità scientifica è concorde nell'affermare che: gli studenti non acquisiscono la literacy scientifica stando seduti passivamente in classe, ma che è necessario dar loro l'opportunità di praticare attività scientifiche autentiche. Si è deciso così di sperimentare l'approccio induttivo dell'*InquiryBased Science Education* per permettere lo sviluppo di competenze scientifiche di alto livello, per aumentare l'interesse e il rendimento degli alunni per stimolare la motivazione. Questo approccio ben si adatta alla cornice teorica dell'*Enattivismo*, di cui già si è discusso nel capitolo precedente. Con il termine *inquiry* si intendono “una serie di processi messi in atto dagli studenti in modo intenzionale come: saper diagnosticare problemi, commentare in modo critico gli esperimenti e individuare soluzioni alternative, saper pianificare un'indagine, formulare congetture, ricercare informazioni, costruire modelli, saper discutere e confrontarsi tra pari, formulare argomentazioni coerenti” (Linn, Davis e Bell, 2004)

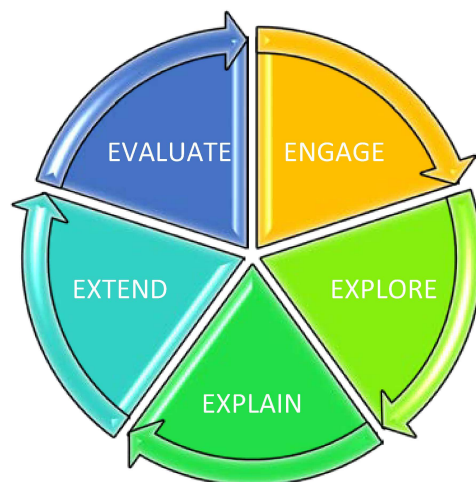
Il National Research Council (NRC) ha definito l'*inquiry* come “un insieme di processi correlati attraverso i quali scienziati e studenti si fanno domande sul mondo naturale e indagano sui fenomeni; nel fare questo, gli studenti acquisiscono conoscenza e sviluppano una comprensione ricca di concetti, principi, modelli e teorie” [National Science Education Standards, 1996] I primi studi sull'*inquiry* e sul metodo che viene chiamato IBSE (*Inquiry Based Science Education*) sono dovuti a Rosalind Driver e risalgono agli anni '70-'80 (Driver, 1985). L'interesse verso questo metodo è cresciuto negli anni ed è ora considerato dalla maggior parte dei ricercatori in didattica come la strategia di insegnamento più efficace. In opposizione all'insegnamento tradizionale, l'insegnamento IBSE considera metodi e soggetti dell'insegnamento insieme, e porta gli studenti a seguire passo dopo passo il processo scientifico partendo dall'osservazione, poi enunciando i problemi, controllando le variabili, facendo ipotesi e predizioni, e descrivendo le conclusioni. Nell'insegnamento IBSE i laboratori sono parte integrante del corso che è centrato sull'apprendimento degli studenti piuttosto che sui discorsi dell'insegnante (Rocard report, 2007). L'insegnamento IBSE è basato su alcuni ben precisi risultati della ricerca in didattica che riassumiamo qui di seguito:

- la comprensione in scienza è molto più della conoscenza di fatti;

- ognuno, e in particolare gli studenti, conosce e struttura la nuova conoscenza modificando e ridefinendo i concetti già posseduti e aggiungendone di nuovi a quelli già noti e che ritengono affidabili.
- il contesto sociale è fondamentale nella mediazione dell'apprendimento;
- l'apprendimento efficace richiede che gli studenti siano consapevoli e artefici del proprio apprendimento.

Il metodo IBSE incoraggia il pensiero personale, il porsi domande, la discussione tra pari e il dibattito. Infatti durante le lezioni IBSE l'insegnante dovrebbe evitare di ricorrere all'autoritarismo e mantenere invece un ambiente favorevole all'indagine, alla ricerca da parte degli studenti. Questi ultimi lavorano in gruppo, si pongono domande, fanno osservazioni ed esperimenti, raccolgono dati e cercano di interpretarli, formulano ipotesi, traggono conclusioni sulla base dei loro dati.

Tra i vari modelli di IBSE, quello che ci è sembrato più adatto al nostro intervento didattico è stato TEMI (Teaching Enquiry With Mysteries Incorporated) basato sul modello proposto da Guskey che consiste essenzialmente in un ciclo di apprendimento esperienziale composto da domande, esperimenti e riflessioni sui risultati ottenuti dagli esperimenti. Tale modello prende il nome di modello delle 5E (Bybee, 1989) e quindi divide l'inquiry in cinque grandi fasi, come mostrato nella seguente figura:



Il ciclo delle 5E è una struttura per aiutare gli insegnanti e gli studenti a sviluppare la comprensione dei concetti scientifici attraverso l'indagine. Il processo di apprendimento si divide in 5 fasi.

La fase “Engage” attira l'attenzione degli studenti attraverso l'uso del Mistero e li conduce verso la formulazione della domanda che dà l'inizio all'indagine (inquiry question). La fase “Explore” è il processo che porta a rispondere alla domanda inquiry, attraverso la pianificazione di esperimenti e la raccolta di osservazioni e dati. La fase “Explain” è la fase che porta a rispondere alla domanda inquiry dando un senso ai dati e attingendo alle idee scientifiche. La fase “Extend” è la fase che porta ad applicare la comprensione concettuale acquisita alla risoluzione di un altro problema. La fase “Evaluate” è la fase in cui si valutano la comprensione e le competenze degli studenti. Nella classe prima di un Liceo Scientifico è stato proposto un approccio enquiry allo studio di una unità di apprendimento di Fisica sull'ottica geometrica.

La pianificazione didattica progettata attraverso un approccio euristico è riportata nel seguente quadro sinottico

Competenze			Strumenti didattici	
Osservare e identificare fenomeni.	Osservare la direzione di propagazione della luce.	Descrivere il fenomeno dell'eclissi di Sole.	<i>La direzione della luce</i>	<i>Caratteristiche delle immagini prodotte da una camera oscura</i>
	Osservare il fenomeno della riflessione da uno specchio piano.	Discutere il fenomeno della riflessione dei raggi luminosi dalla superficie del mare.		<i>Costruire un dispositivo per evidenziare le zone di ombra e di penombra</i>
	Osservare le immagini fornite da specchi sferici concavi e convessi.	Analizzare e discutere i diversi tipi di miraggio.		<i>Eclissi anulare</i>
		Indicare come l'occhio può		

	<p>A cosa è dovuto il fenomeno del miraggio?</p> <p>Cosa si nota guardando attraverso le lenti di un paio di occhiali?</p>	<p>rappresentare un dispositivo ottico, descrivendone le caratteristiche.</p>		
<p>Fare esperienza e rendere ragione del significato dei vari aspetti del metodo sperimentale, dove l'esperimento è inteso come interrogazione ragionata dei fenomeni naturali, scelta delle variabili significative, raccolta e analisi critica dei dati e dell'affidabilità di un processo di misura, costruzione e/o validazione di modelli.</p> <p>Formulare ipotesi esplicative, utilizzando modelli, analogie e leggi.</p>	<p>Cosa è il raggio luminoso?</p> <p>Formulare le leggi della riflessione.</p> <p>Analizzare gli specchi piani.</p> <p>Analizzare la riflessione da parte di specchi concavi e convessi.</p> <p>Come si può costruire graficamente l'immagine prodotta da uno specchio sferico?</p> <p>Analizzare il comportamento di un raggio luminoso che incide sulla superficie di</p>	<p>Discutere la direzione di propagazione dei raggi luminosi.</p> <p>Discutere le particolarità dell'immagine di un oggetto fornita da specchi sferici.</p> <p>Mettere in relazione la rifrazione e l'origine dei miraggi.</p> <p>Costruire l'immagine fornita da una lente utilizzando un metodo grafico.</p> <p>Descrivere il funzionamento dell'occhio e di alcuni strumenti ottici, come il</p>		<p><i>Dimostrare che la sorgente e la sua immagine si trovano alla stessa distanza da uno specchio piano.</i></p> <p><i>Individuare il metodo per far sì che, data una sorgente luminosa, il raggio riflesso da uno specchio piano passi per un determinato punto del piano.</i></p> <p><i>Il raggio torna indietro?</i></p> <p><i>Studiare le caratteristiche delle immagini formate dagli specchi sferici.</i></p>

	<p>separazione di due mezzi diversi.</p> <p>Formulare le leggi della rifrazione e interpretare il fenomeno della riflessione totale.</p> <p>Definire il potere diottrico delle lenti.</p> <p>Analizzare le caratteristiche dell'immagine formata da una lente.</p> <p>Come si può ottenere una lente di ingrandimento?</p>	<p>microscopio e il cannocchiale.</p>		<p><i>La rifrazione e l'origine dei miraggi.</i></p> <p><i>Come è profondo il mar....</i></p> <p><i>Miopia e presbiopia: quali caratteristiche devono avere le relative lenti?</i></p>
<p>Formalizzare un problema di fisica e applicare gli strumenti matematici e disciplinari rilevanti per la sua risoluzione.</p>	<p>Discutere il caso di due specchi che formano un angolo di 45° e un raggio luminoso che incide su uno di essi provenendo da una direzione parallela all'altro.</p>	<p>Analizzare il percorso del raggio riflesso.</p> <p>Si può realizzare un cannocchiale casalingo?</p> <p>Risolvere in modo appropriato gli esercizi proposti.</p> <p>Valutare l'importanza degli strumenti</p>		

		ottici e l'utilizzo delle lenti nella correzione dei difetti della vista.		
	<p>Osservare la direzione di propagazione della luce.</p> <p>Osservare il fenomeno della riflessione da uno specchio piano.</p> <p>Osservare le immagini fornite da specchi sferici concavi e convessi.</p> <p>A cosa è dovuto il fenomeno del miraggio?</p> <p>Cosa si nota guardando attraverso le lenti di un paio di occhiali?</p>			

Agli studenti veniva posto un problema tratto dall'osservazione della realtà e gli si chiedeva di identificarlo formulando delle ipotesi (engage). In seguito essi dovevano pianificare l'indagine esplorando le variabili (explore), conducevano l'indagine singolarmente o in gruppo documentando i risultati (explain); poi, insieme al docente, che, in tutta l'attività, fungeva da scaffolder, venivano interpretati i risultati (evaluate) e comunicati formulando nuovi problemi (extend). Questo percorso di investigazione della realtà, ha favorito lo sviluppo delle capacità di problem posing e problem solving. Ha, inoltre, investito diversi aspetti: psicologici, percettivi, linguistici e pratici. Si è sempre cercato, infine, di attivare i processi dell'argomentare e del congetturare per favorire il passaggio dalle nozioni intuitive e dai livelli operativi a forme di pensiero

deduttivo e a livelli astratti o virtuali. La metodologia ISBE è stata integrata con la nuova metodologia Scrum. Tale metodologia si basa sulle recenti teorie del cooperative learning e favorisce lo sviluppo cognitivo che è un processo sociale e la capacità di ragionare aumenta nell'interazione con i propri pari e con persone maggiormente esperte (Vygotsky, 1934). Interagendo con i propri pari, lo studente opera una maggiore elaborazione cognitiva e può ammettere e chiarire la propria confusione. (McKeachie, 1997). Inoltre, lavorare in gruppo accresce le capacità di ragionamento critico.

L'approccio allo studio dell'ottica, in ogni lezione, avveniva in maniera informale: agli studenti venivano mostrati semplici exhibit realizzati con materiali poveri e venivano invitati a realizzarne a casa altri da mostrare all'inizio della lezione successiva. L'approccio informale ha permesso di introdurre contenuti disciplinari partendo dalle loro esperienze concrete, dai loro concetti e a volte misconcezioni.

I modi di ragionare comuni incoerenti con la fisica coincidono spesso con elementi di fisica che non sono stati ben affrontati o che vengono interpretati in modo contingente e locale, con un grado di coerenza, che ne determina la resistenza rispetto ai ragionamenti di tipo fisico (Viennot, 1995; McDermott, 1993). Prendere sul serio le idee sbagliate dei ragazzi (Viennot, 2003) significa non solo indagare la logica interna del ragionamento spontaneo per capirne la resistenza e la struttura in termini di Modelli Mentali (Gilbert, Boulter, 1998), ma anche analizzarne l'evoluzione dinamica esplorando in modo operativo, nelle sperimentazioni in classe ed in contesti ludici ed informali, le idee interpretative spontanee

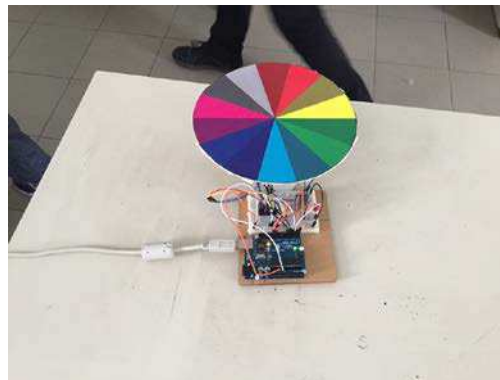
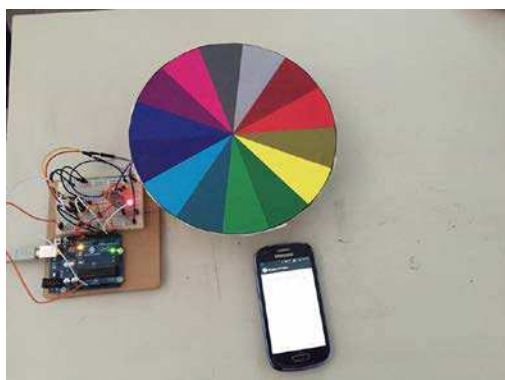


Si dava, inoltre, spazio alla discussione, in relazione a ciascun fenomeno osservato, in circle time. Infatti, la costruzione del pensiero formale viene dall'esperienza attraverso

l'evoluzione di modelli interpretativi mentali. È importante notare il modo in cui le idee si producono ed evolvono, con particolare riguardo al ruolo dell'operatività manuale e concettuale nel personale coinvolgimento del soggetto con l'oggetto di studio. L'analisi del pensiero informale permette al docente di individuare strategie didattiche, scelte di contenuto ed angoli di attacco ad ambiti fenomenologici. Inoltre l'approccio fenomenologico stimola analogie e spesso, anche se non sempre, stimola modelli mentali spontanei che portano ad una concettualizzazione efficace. A questo primo approccio, seguiva la formalizzazione di alcuni concetti e si cercava, attraverso domande stimolo, di promuovere nuove curiosità, creando nuovi “misteri” da svelare nella lezione seguente.

Al termine del percorso didattico è stato proposto agli studenti, suddivisi in gruppi, la realizzazione di un prodotto di intervento. Uno dei prodotti realizzati è stato il disco di PePaMa, così denominato dagli studenti stessi. È la rivisitazione, in chiave moderna, del disco di Newton tramite il quale Newton riuscì a spiegare come la luce sia bianca in quanto combinazione dei sette colori dell'arcobaleno. Il disco di PePaMa qui proposto viene integrato con il sistema Arduino, implementato con linguaggio C++, che consente di attivare il dispositivo tramite uno smartphone e tre semplici comandi. Entrando nei dettagli, il disco di PePaMa è composto da tre parti: un disco, un motore e una scheda di controllo Arduino. Il disco consiste in un pannello circolare in compensato, materiale scelto per la leggerezza e la resistenza alla trazione molto elevata. Esso è stato ricavato da una tavola e praticato un foro abbastanza grande da farvi entrare alla perfezione il motorino. È stato poi incollato un foglio colorato con i colori dell'arcobaleno così come si trova nel classico disco di Newton. Per far girare il tutto è stato utilizzato un motorino da 9 V e 1 A, sufficientemente potente per far muovere il disco. Per inviare i comandi al motore è stato utilizzato il microcontrollore Arduino che, in base agli input mandati da un telefono cellulare, via bluetooth, crea un output digitale che fa girare il motorino in senso orario, antiorario o che lo arresta. L'Arduino è collegato alla breadboard dove sono inseriti cavi e led, usati per distinguere i vari stati del motore (spento, verso destra o sinistra). Per mettere in comunicazione l'Arduino con il telefono è stato usato un modulo bluetooth collegato alla scheda in via seriale. Il lavoro prodotto è stato inviato ad un concorso bandito da Città della Scienza e valutato positivamente. Così, durante la manifestazione Smart Education &

Technology days - 3 Giorni per la Scuola 2016, gli studenti hanno avuto modo di esibire il loro prodotto, spiegare come hanno realizzato il disco di Newton in versione 3.0, spiegare gli scopi didattici del progetto, come hanno implementato il sistema Arduino con il disco ed hanno illustrato i principi basilari dell'ottica. Hanno allestito uno stand e mostrato il funzionamento del disco consentendo ad altri studenti di interagire e provare il congegno realizzato.



Prototipo del Disco di Newton in versione 3.0



Il disco di Newton 3.0 in versione definitiva

4.5 La luce sceglie il percorso più breve: una attività didattica di Fisica e Geometria sui percorsi minimi da Erone a Fermat

La ricerca educativa raccomanda di rendere gli studenti consapevoli del percorso storico e teorico delle scienze matematiche, avvicinandoli alle origini del pensiero scientifico. È fortemente consigliabile fornire agli studenti riferimenti concreti alla realtà di tutti i giorni, al fine di aiutarli a raggiungere i loro obiettivi nel processo educativo. Molto probabilmente, uno dei modi migliori per affrontare problemi sui “cammini minimi” è rifarsi a fenomeni ordinariamente e spontaneamente presenti in natura, nell'arte, nella fisica e nella biologia. Per un esempio, la fisica offre alla matematica innumerevoli e significative opportunità per l'osservazione e la sperimentazione sul "percorso più breve". Nel dettaglio, l'ottica geometrica e teorie classiche sul comportamento della luce sono due temi centrali: da un lato essi sono strettamente legati al mondo reale e d'altra parte sono un perfetto esempio per introdurre problemi sui “cammini minimi”. Si è pensato così, di strutturare una Unità di Apprendimento su questo tema proponendola a studenti della seconda classe di un liceo scientifico.

Lo scopo dell'attività didattica è:

- far scoprire agli studenti la fisica e la matematica con un approccio di ricerca-azione partendo da problemi reali;
- avvicinare gli studenti alla soluzione di compiti autentici;
- fornire agli studenti una visione polisopica del sapere, non focalizzato sulla disciplina e sull'acquisizione di conoscenze quanto piuttosto sull'acquisizione di competenze.

In questo processo educativo, l'interdisciplinarietà viene intesa come un modo utile per agevolare la transizione dalla conoscenza all'azione. Infatti, le abilità non possono essere ridotte ad una singola disciplina; esse creano connessioni tra conoscenze e suggeriscono nuovi usi e padronanze, il che significa che 'competenze generano competenze (D'Amore, 2000).

Inoltre, l'impostazione didattica “learning by doing” favorisce i processi di apprendimento così come è ormai noto in letteratura. (Dewey, 2007)

Edgar Dale spiegò che esistono due forme di apprendimento:

- Passivo: Leggere, ascoltare, guardare delle foto o semplicemente un film, guardare delle didascalie.
- Attivo: Partecipare ad un discorso, tenere un discorso, fare una presentazione sensoriale, simulare l'esperienza reale (come ripetere ad alta voce davanti ad uno specchio il discorso che si terrà), fare la cosa reale.

Capita che alla fine di una lettura, seppure attenta, ricordiamo pochissimo o comunque le sole cose che ci hanno lasciato un'impronta emotiva. Infatti studi scientifici (Dale 1969). Questo perché dopo due settimane ricordiamo il 10% di ciò che leggiamo, ricordiamo il 20% di ciò che udiamo. Associando le due azioni, allora il risultato sarebbe il 50%. Quindi per ricordare meglio abbiamo bisogno di associare ad uno stimolo verbale uno stimolo visivo. Partecipando ad una discussione si riuscirà a ricordare il 70% delle informazioni e addirittura il 90% delle informazioni di ciò che diciamo e facciamo. È riportata una schematizzazione della teoria di Dale sull'apprendimento, nota come “cono dell'apprendimento” (Dale, 1969):



L'unità didattica progettata parte, dunque, da un problema storico e la sua risoluzione si propone di attivare più competenze allo stesso tempo in un approccio olistico. La

capacità di integrare conoscenze e modi di pensare provenienti da molte discipline diverse stabilisce aree di competenza per produrre un avanzamento conoscitivo - come spiegare un fenomeno, risolvere un problema o la creazione di un prodotto - in un modo che sarebbe stato impossibile o improbabile attraverso un'unica disciplina. Le competenze producono abilità nella creazione di connessioni tra conoscenze e suggerendo sempre nuovi usi.

Il quadro teorico dell'enattivismo¹¹ fa da cornice al percorso didattico, suggerendo un approccio induttivo sperimentale ad un approccio ipotetico-deduttivo. Tutte le conoscenze teoriche sono state presentate attraverso attività sperimentali sia di matematica che di fisica

Al fine di superare una conoscenza frammentata "chiusa" all'interno di una singola disciplina, tutte le attività sono state strutturate attraverso un'azione di insegnamento interdisciplinare, che ha consentito agli studenti di ottenere diversi punti di vista. Gli studenti, collocati al centro di tutto il processo di insegnamento/apprendimento, sono stati stimolati a priori e fare domande promuovendo atteggiamenti motivazionali e affettivi "(Pellerey 2005).

4.5.1 L'attività didattica

Il problema classico dei "sette ponti di Königsberg" è il punto di partenza delle nostre attività didattiche. È un problema ispirato a una città reale e una situazione concreta. Königsberg, già nella Prussia orientale, oggi una exclave russa sul Baltico conosciuta come Kaliningrad, è attraversata dal fiume Pregel e dai suoi affluenti. In questi fiumi, ci sono due grandi isole collegate tra loro e con le due zone principali della città da sette ponti. Nel corso dei secoli è stato più volte proposta la questione se sia possibile, con una passeggiata, seguire un percorso ciclico che attraversa ogni ponte solo una sola volta, ritornando al punto di partenza. Nel 1736, Leonhard Euler ha affrontato questo problema, dimostrando che questa ipotetica passeggiata è, in realtà, impossibile.

¹¹ Come già detto nel paragrafo 2.1, tale teoria sostiene che la conoscenza nasce attraverso una interazione dinamica tra un organismo che agisce e il suo ambiente (E.A. Di Paolo & E. Thompson, 2010). Essa sostiene che il nostro ambiente è quello che creiamo selettivamente attraverso le nostre capacità di interagire con il mondo (cifr. Par. 2.1)

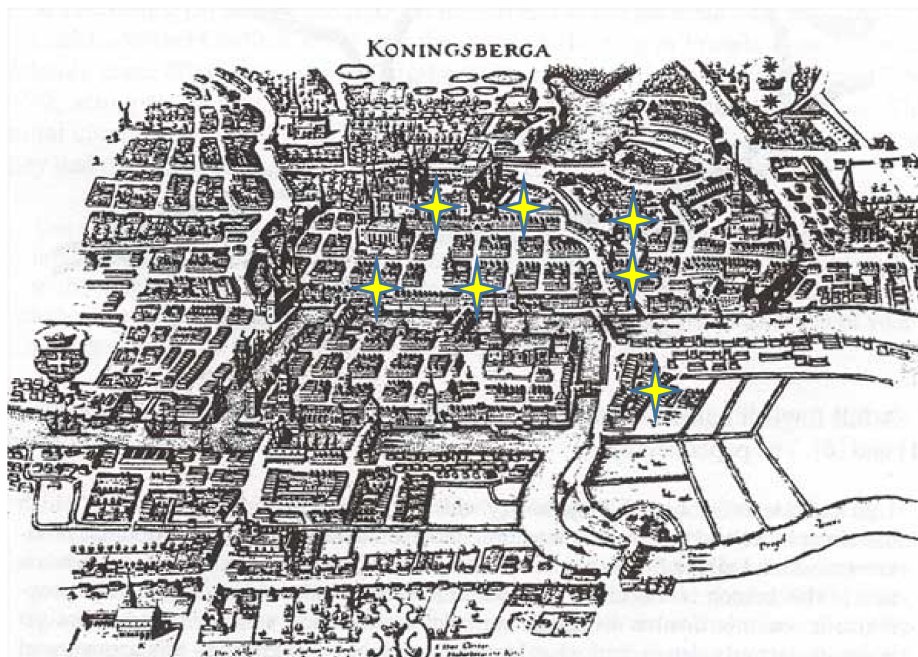


Figura 1: Mappa di Königsberg. Le stelle evidenziano il posizionamento dei sette ponti

Le attività didattiche sono state suddivise in fasi:

Fase 1 – Carta e righello

È stato consegnato agli studenti un foglio su cui era riportata una linea retta e due punti A e B ed è stato richiesto di:

1. scegliere alcuni punti D, E, F, G sulla linea retta;
2. misurare con il righello la lunghezza della polilinea ADB, AEB, AFB e AGB;
3. ordinare le misure in ordine crescente e scrivere la misura più piccola.



Figura 2: retta con due punti A e B

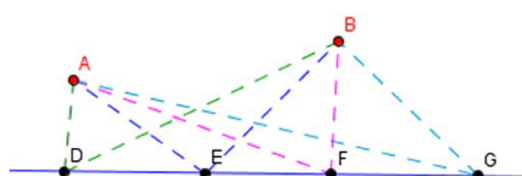


Figura 3: linea retta con punti e misure di distanza

Fase 2

Gli studenti, con l'aiuto del docente, progettano un file Geogebra per rappresentare i percorsi rettilinei da A a B che toccano la linea nel punto Q e poi per tabulare i valori trovati in funzione della posizione del punto Q sulla retta; a differenza della fase precedente, ora, la tabulazione dei punti viene eseguita dal software Geogebra, nonché la determinazione del minimo.

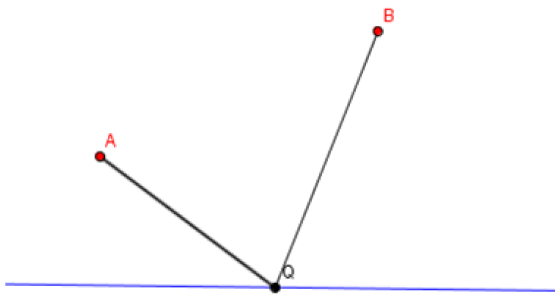


Figura 4: percorso rettilineo tra A, B e Q

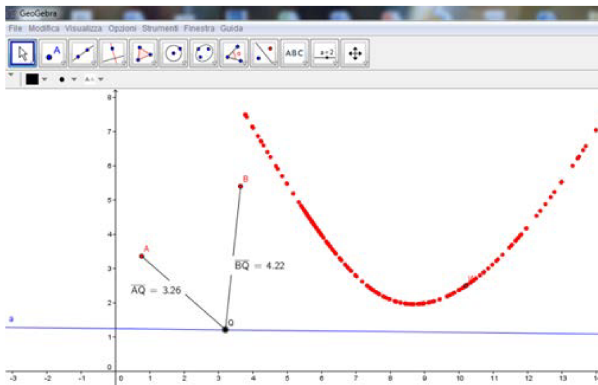


Figura 5: variazione di distanza con la posizione di Q sulla retta

Fase 3 – Luogo di punti

Gli studenti sono invitati a progettare un file GeoGebra per rappresentare graficamente l'andamento della lunghezza del percorso. Gli studenti, in questo step:

1. costruiscono un luogo di punti, imparando a dedurre informazioni dal grafico;
2. congetturano che ci sia almeno un punto Q sulla retta corrispondente al percorso più breve.

La storia dell'ottica è strettamente legata alla storia della geometria. Erone di Alessandria ha osservato che la luce viaggia in modo tale che va ad uno specchio e ad altri punti in sequenza seguendo il percorso più breve.

Gli studenti sono coinvolti in un'esperienza semplice ma concreta, utilizzando specchi piani per osservare il comportamento della luce e la riflessione delle immagini e indovinare la caratterizzazione geometrica del percorso più breve.

Fase 4 – Specchio e fisica di laboratorio

Agli studenti viene chiesto di analizzare l'immagine del riflesso di due punti disegnati su un foglio di carta davanti uno specchio e quindi perpendicolare ad esso. La sequenza di azioni è:

1. simulare lo specchio utilizzando due fogli di carta;
2. disegnare i segmenti tra i punti;
3. misurare i segmenti.

Le riflessioni degli studenti sono state le seguenti:

- i segmenti AB' e $A'B$ si intersecano in un punto P;
- i segmenti AA' e BB' sembrano essere perpendicolari al bordo del foglio appoggiato allo specchio;
- il punto P sembra appartenere all'asse di riflessione.

Dopo aver misurato i segmenti, il punto P sembra essere equidistante da A e dalla sua immagine e così anche da B e dalla sua immagine.

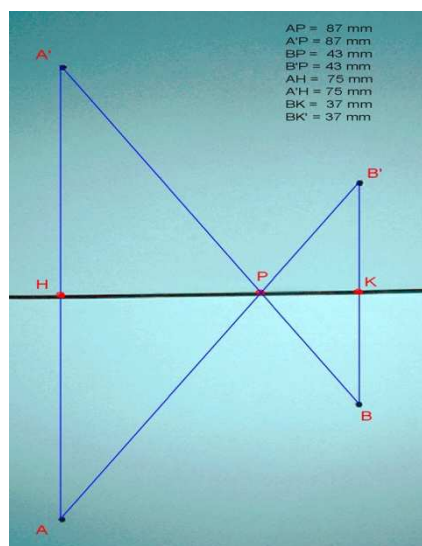


Figura 6: simulazione di una riflessione allo specchio

Dopodiché, gli studenti sono invitati a ripetere la costruzione utilizzando il software Geogebra per verificare che le loro misurazioni e osservazioni sono corrette.

A questo punto gli studenti devono scoprire le proprietà caratteristiche del punto P e della retta che minimizza la lunghezza del percorso APB .

Si chiede loro di individuare le proprietà che caratterizzano il punto della retta che rende minimo il percorso che collega il punto A al punto B (passando per un punto della retta).

Allo studente vengono fornite le seguenti ulteriori indicazioni: prendere sull'asse di riflessione un punto Q diverso dal punto P e collegarlo con il punto A, con il punto B e con il punto B' . Misurare i percorsi APB, AQB, AQB' . Descrivere quello che si osserva.

Questa fase di esplorazione / scoperta è supportata dal software Geogebra: si chiede ora agli studenti di dimostrare o confutare la congettura: il punto di minimo percorso corrisponde al punto P intersezione del segmento AB' con l'asse di riflessione.

Per le proprietà della simmetria assiale la lunghezza del percorso AQB' è uguale alla lunghezza del percorso AQB e quella di APB' è uguale a quella di APB . Osservando il triangolo $AB'Q$ si deduce che, per la proprietà triangolare, il percorso APB' ovvero APB , confrontato con ogni altro percorso passante per un qualunque punto Q della retta e diverso da P, è quello di lunghezza minima. (figure 7 e 8).

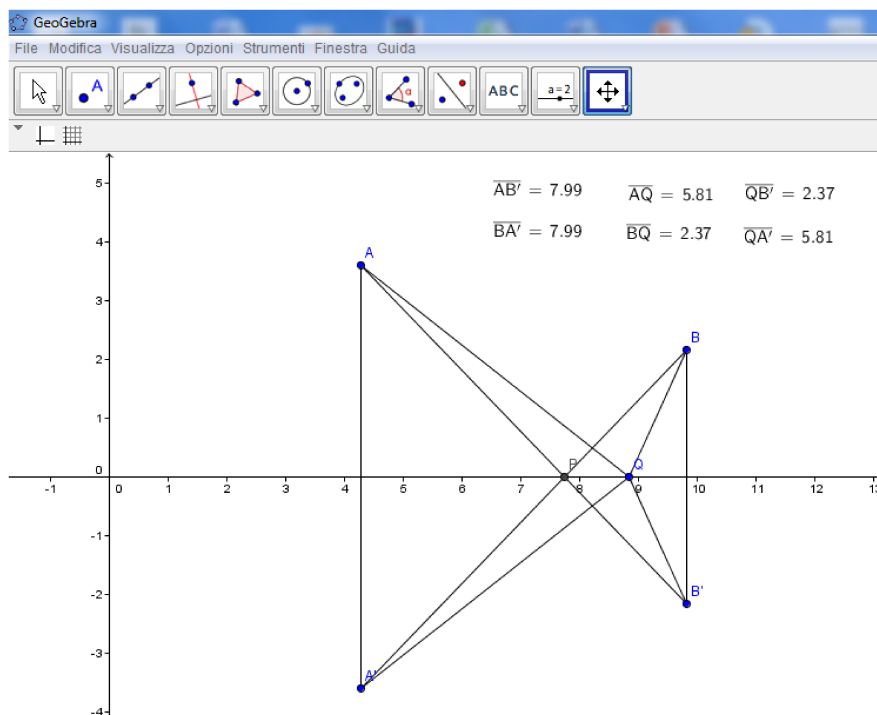


Fig. 7

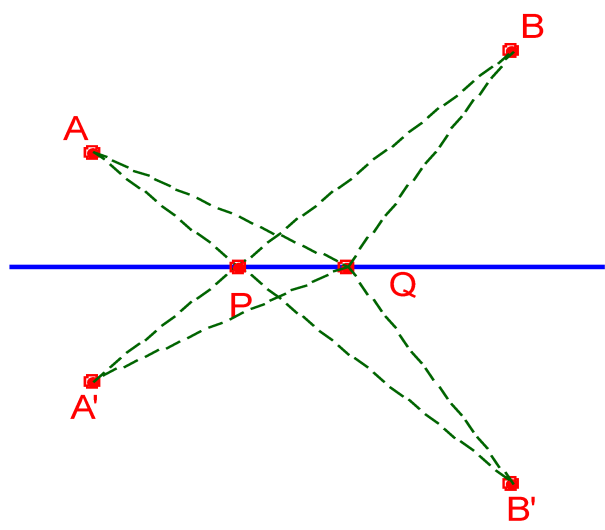


Fig. 8. I dettagli del disegno.

Fase 5 – Angoli

Gli studenti sono invitati a confrontare l'ampiezza degli angoli tra l'asse di riflessione e i segmenti AQ e BQ (figure 9 e 10) e verificare le conclusioni della fase precedente. Gli studenti osservano che, se Q sovrappone P, gli angoli sono uguali.

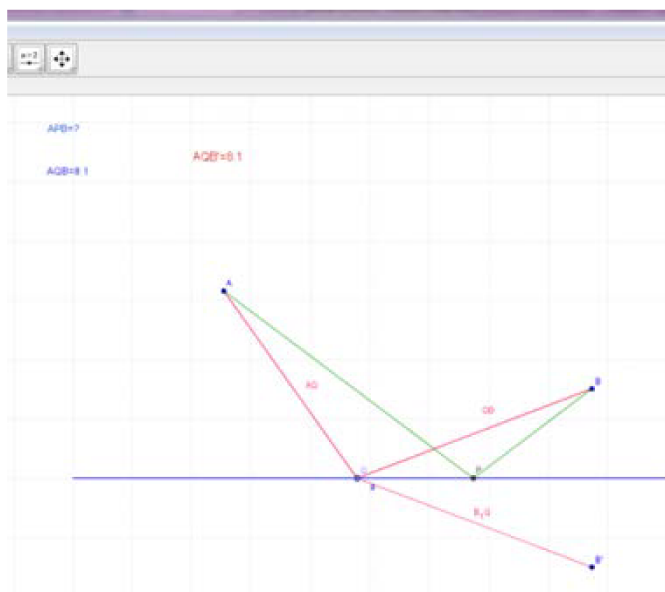


Figura 9: Angoli in una simulazione con Geogebra

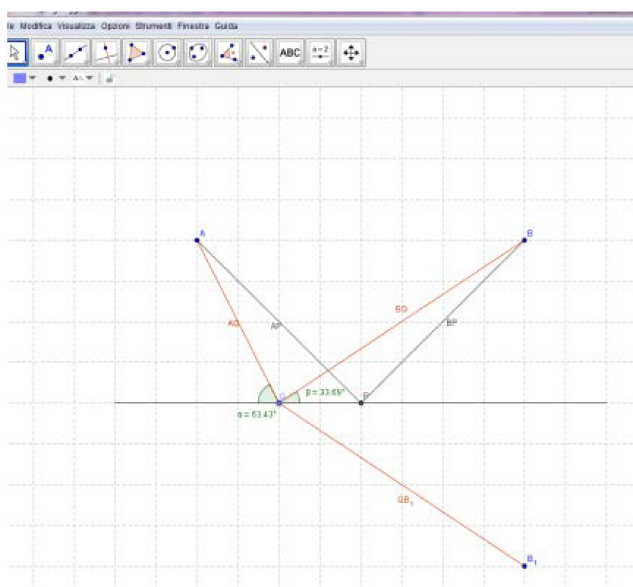


Figura 10: Dettagli degli angoli

L'ampiezza dell'angolo APX è uguale all'ampiezza dell'angolo XPA' , in quanto corrispondenti nella simmetria assiale. L'ampiezza dell'angolo XPA' è uguale all'ampiezza dell'angolo BPY perché angoli opposti al vertice. Ne segue che l'ampiezza dell'angolo APX è uguale all'ampiezza dell'angolo BPY .

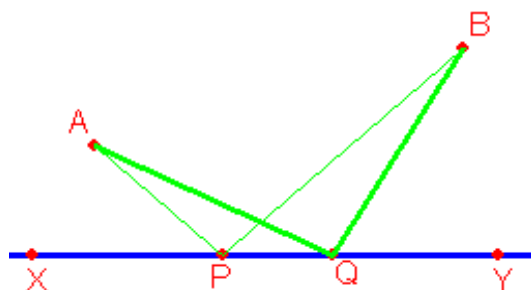


Figura 11. Ulteriori dettagli di angoli.

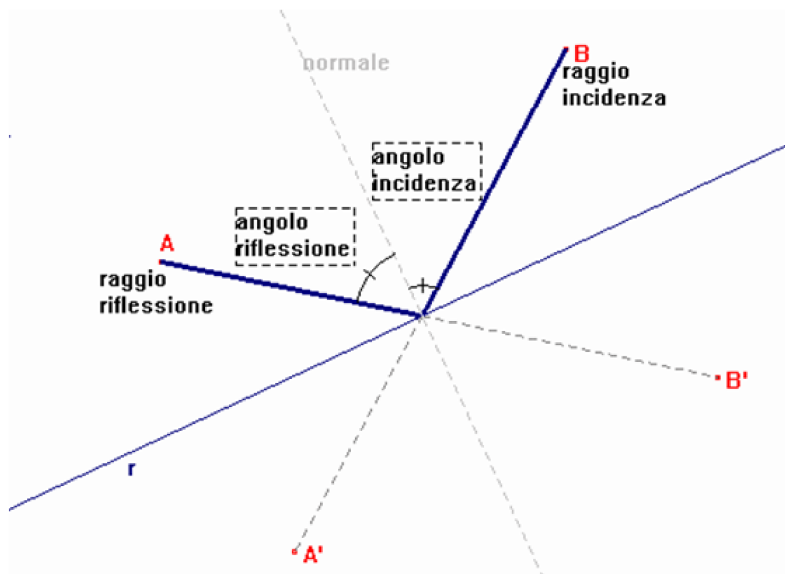
Fase 6 – Legge di riflessione

In questa fase gli studenti possono osservare il fenomeno della riflessione utilizzando, ad esempio, uno specchio e un raggio laser e chiedendo loro di descrivere il fenomeno in termini matematici.

Esiste una sostanziale connessione tra il “problema del minimo” e il comportamento della luce.

Gli studenti osservano che la luce “sceglie”, tra i vari percorsi, quello più breve (Erone), la spezzata minima. In effetti, se si vuole determinare il percorso lungo il quale la luce impiega il minor tempo possibile per andare da A a B riflettendosi sullo specchio, dal momento che tutta la traiettoria è nello stesso mezzo ottico, il tempo minore coincide con la distanza più breve poiché la velocità della luce rimane costante nello stesso mezzo.

Inoltre, essi rilevano infatti che il percorso composto dal raggio incidente e il raggio riflesso (figura 12) collega i due punti nel tempo più breve.



Fase 7 – Esperimento di fisica: brachistocrone

Gli studenti sono invitati a indovinare quale palla arriva prima, cadendo su diverse traiettorie tra due punti come nella foto mostrata nella Figura 13. È facile far vedere, con una riproduzione di una macchina matematica o con l'aiuto di un applet che il percorso minimo per una palla in movimento dal punto A al punto B è una linea curva e non, come gli studenti possono supporre in anticipo, una linea retta. Osservando questa prova, gli studenti sono di solito stupiti.

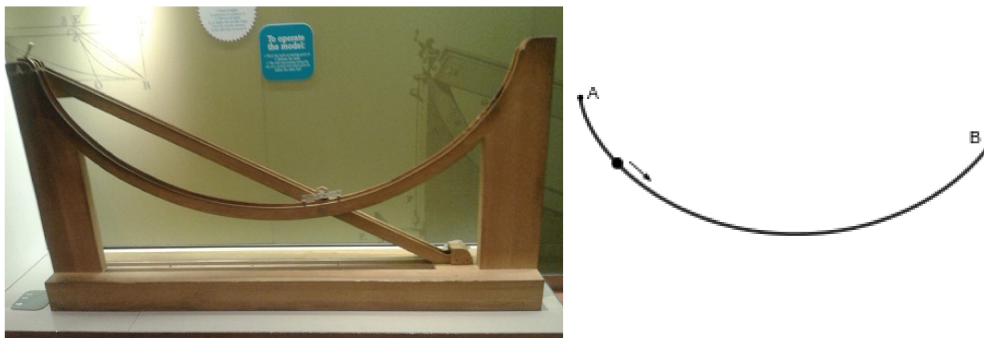


Figura 13: foto della brachistocrona di Galileo e della cicloide (museo di Galilei, Firenze)

Utilizzando metodi geometrici, nel 1602, Galileo ha mostrato che un corpo soggetto alla gravità richiede meno tempo per cadere lungo l'arco di circonferenza tra due punti che lungo il corrispondente segmento di retta, nonostante quest'ultima sia più corta.

Galileo, che considerava l'arco come equivalente a un insieme infinito di piani inclinati, non si rese conto che il percorso brachistocrono di un grave che scende tra due punti è l'arco di cicloide, e non l'arco di cerchio. La dimostrazione matematica del brachistocronismo della cicloide sarà fornita da Jacques Bernoulli nel 1697.

Fase 8 – Test

1. Dato il punto $A(0,1)$ e $B(1,2)$ determinare il punto A' corrispondente ad A rispetto alla simmetria il cui asse è l'asse delle ascisse. Scrivere l'equazione della retta r passante per i punti A' e B . Determinare il punto P di intersezione della retta r con l'asse x .
2. Scelte a piacere le coordinate del punto A e del punto B , determinare le coordinate del punto P come nel caso precedente.
3. Scelte a piacere le coordinate del punto A e del punto B , questa volta appartenenti a semipiani opposti rispetto all'asse x (ad es. $A(0,1)$ e $B(1,-2)$), determinare l'ascissa del punto P che individua il percorso di minima lunghezza.
4. Tradurre “formalmente” le scelte fatte nelle consegne precedenti. Date due località A e B da parti opposte rispetto alla riva di un fiume dall'andamento rettilineo, individuare dove collocare un ponte sul fiume in modo da rendere minima la lunghezza del percorso che collega la località A alla località B . (Si suppone che le sponde siano parallele e che il ponte sia costruito perpendicolarmente alle sponde).

Fase 9 – Percorso minimo: Fermat e rifrazione

È una esperienza quotidiana per gli studenti vedere gli oggetti "spezzati" per effetto della rifrazione della luce che passa da un mezzo ad un altro, in genere dall'aria all'acqua. Il principio del minimo percorso di Erone di Alessandria funziona bene per la luce che passa attraverso mezzi omogenei con lo stesso indice di rifrazione. Quando la luce passa da un mezzo ad un altro con un diverso indice di rifrazione, la sua velocità cambia.



Figura 14. Rifrazione – Immagine di una corda e la sua immagine rifratta.

Fermat è stato ispirato da Erone per spiegare questo fenomeno: a causa della rifrazione, la luce, ovviamente, non sceglie la via della distanza più breve, ma preferisce il più breve tempo possibile. Così l'affermazione che l'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione è equivalente ad affermare che la luce va allo specchio in modo tale che ritorna nel minor tempo possibile.

L'ottica geometrica è solo un'approssimazione, ma è molto rilevante da un punto di vista tecnico e di grande interesse storico: il reale comportamento della luce è stato scoperto da Fermat circa nel 1650, è chiamato il principio del tempo minimo, o principio di Fermat. Sebbene evidenziamo agli studenti la doppia natura della luce, la discussione si è limitata all'ottica geometrica, dove si ignora la lunghezza d'onda e il carattere ondulatorio della luce. Infatti, quando si ricorre a esperimenti riflessione e rifrazione, le lunghezze d'onda in gioco sono molto piccole rispetto alle dimensioni delle attrezzature disponibili per lo studio; Inoltre, le energie dei fotoni, utilizzando la teoria dei quanti, sono piccole rispetto alla sensibilità dell'apparecchio.

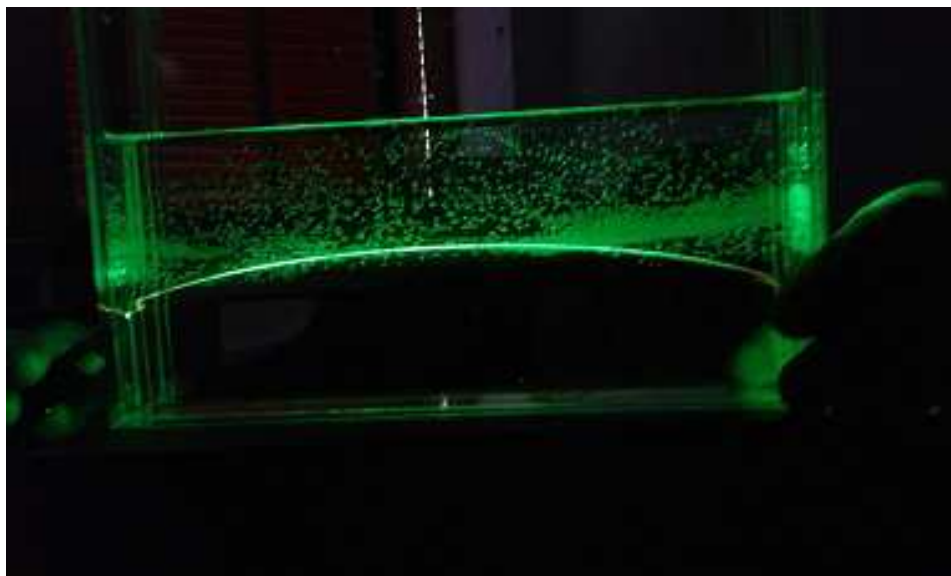


Figura 15. Esperimento con un fascio laser che passa attraverso acqua e glicerolo.

Non è difficile progettare e ricostruire esperimenti per indagare la traiettoria della luce. Con un puntatore laser, che attraversa diversi mezzi materiali (vetro, acqua, plexiglas, oli trasparenti, glicerolo, alcool, ecc.), gli studenti possono osservare che la luce si propaga in linea retta. Ma, a causa del principio di Fermat, se la luce passa da un mezzo ad un altro con un diverso indice di rifrazione, cambia direzione. Nella figura 15 è mostrato un esperimento con un fascio laser che passa attraverso l'acqua e glicerolo, due liquidi immiscibili descrivendo una curva.

Metodologia

Uno dei più importanti modelli ispiratori per il nostro esperimento educativo è stato il modello Inquiry Based Science Education (IBSE), che propone attività didattiche basate sulle indagini sui problemi, il dibattito critico in gruppi e la ricerca di soluzioni innovative, in una prospettiva enattiva. Gli studenti hanno affrontato un problema che ha avuto origine dalla constatazione del mondo reale e il docente ha chiesto loro di identificare il problema facendo ipotesi (engage). Dopo di che, hanno dovuto pianificare il problema, esplorando le variabili (explore), hanno condotto un'indagine da soli o in gruppo, che documentasse gli esiti (explain); poi, insieme al docente, che,

in tutte le attività, ha funto da scaffolder¹², sono stati interpretati i risultati (evaluate) e comunicati attraverso la formulazione di nuovi problemi (extend).

Agli studenti sono stati assegnati compiti da svolgere tramite l'utilizzo di artefatti all'interno di un ciclo che promuove l'uso di segni specifici in relazione all'uso di particolari artefatti o strumenti, come il lavoro a coppie, o piccolo gruppo, con l'artefatto che promuove lo scambio sociale, accompagnato da parole, schemi, gesti. Gli studenti sono stati coinvolti individualmente in diverse attività semiotiche, concernenti soprattutto produzioni scritte. Ad esempio, dopo aver utilizzato un artefatto, agli studenti è stato richiesto spesso di scrivere, un resoconto individuale della loro esperienza e relative riflessioni, inclusi dubbi e domande che sono sorti.

Le discussioni collettive, infine hanno costituito una parte essenziale nel processo di insegnamento-apprendimento e rappresentano il cuore del processo semiotico, sul quale l'insegnamento-apprendimento è basato. In una discussione matematica l'intera classe è stata collettivamente impegnata in un discorso matematico, solitamente lanciato dall'insegnante, che formulava esplicitamente l'argomento della discussione.

Durante gli incontri, agli studenti è sempre stato dato un compito da realizzare. È stato chiesto loro di interrogarsi circa la procedura delle attività (ad esempio, "come hai intenzione di farlo?", "Cosa stai facendo?" "Come hai fatto?"); abbiamo cercato di rendere lo studente consapevole del significato, della funzione delle azioni compiute, dei metodi e delle potenzialità della loro conoscenza. Questo processo di metacognizione è stato costruito attraverso la riflessione e la ricostruzione. La pratica sperimentale è sempre stata seguita da attività teoriche e di gruppo. Infatti, allo stesso modo in cui non è possibile semplicemente insegnare in modo astratto, formale e teorico, senza un contesto, così non possiamo lasciare che l'attività euristica degli studenti si fermi alla sola fase del fare (learning by doing) senza che vi sia in contributo del pensiero (learning by thinking).

Il software GeoGebra si è rivelato una risorsa sia per gli aspetti di visualizzazione che di concettualizzazione e di verifica. In accordo con le indicazioni nazionali secondo cui "lo studente sarà in grado di passare da un registro di rappresentazione ad un altro

¹² Il termine scaffolding viene utilizzato in psicologia e pedagogia per indicare l'aiuto dato da una persona ad un'altra per svolgere un compito. Il termine deriva dalla parola inglese *scaffold*, che, letteralmente, indica "impalcatura" o "ponteggio". Come già sottolineato, alcuni termini inglesi specifici della pedagogia sono entrati a far parte del nostro vocabolario tanto che, in letteratura, si omette la traduzione italiana.

(numerico, grafico, funzionale) anche utilizzando strumenti informatici per la rappresentazione dei dati” (Duval), sono stati realizzati i percorsi di minima distanza con l'aiuto del software e confrontati con i percorsi di un raggio luminoso.

L'oggetto che gli studenti utilizzano in un software di geometria dinamica può essere da loro visto in due modi diversi: come semplice figura (ossia facendo leva sugli aspetti percettivi di osservazione) oppure come figura legata a una teoria (cioè facendo leva sugli aspetti concettuali) Fishbein (1993). Nel nostro caso, più che congetturare e formulare, gli studenti hanno potuto sfruttare gli aspetti percettivi delle figure. Non si è trattato qui di scegliere se costruire con riga e compasso o sfruttare le potenzialità del trascinamento (dragging) perché le due cose non si sono escluse a vicenda. In un certo senso, le potenzialità epistemologiche hanno riguardato la verifica dei dati empirici e dei modelli teorici

Conclusioni

Le finalità del percorso didattico sono state la realizzazione di costruzioni geometriche con strumenti semplici, riga e goniometro, e con software gratuiti (open source), saper riconoscere, in situazioni problematiche, isometrie e sviluppare argomentazioni utilizzandone le proprietà, saper decodificare, in linguaggio algebrico, gli “oggetti geometrici”. Alla conclusione del percorso didattico, gli studenti hanno imparato a lavorare in gruppo e socializzare/condividere l'esperienza; utilizzare in modo consapevole il software di geometria dinamica Geogebra, interpretare e comprendere aspetti della realtà mediante il formalismo matematico e l'uso di modelli astratti, evidenziare possibili collegamenti e/o analogie inquadrando in un contesto unitario. L'utilizzo di riga e compasso e del software Geogebra come strumenti di mediazione semiotica hanno incentivato la comunicazione, stimolato la discussione e favorito la condivisione delle conoscenze. Ha facilitato e velocizzato la comprensione delle proprietà delle trasformazioni geometriche. È stato inoltre favorito il passaggio da un registro linguistico colloquiale a uno evoluto riuscendo a formalizzare definizioni e proprietà.

4.6 La Fisica può essere narrata: una proposta didattica di Digital Storytelling

Il Digital Storytelling ovvero la Narrazione realizzata con strumenti digitali (web apps, webware) consiste nell'organizzare contenuti selezionati dal web in un sistema coerente, retto da una struttura narrativa, in modo da ottenere un racconto costituito da molteplici elementi di vario formato (video, audio, immagini, testi, mappe, ecc.). L'efficacia di questa tipologia comunicativa è basata su:

- il fascino derivante dal carattere fabulatorio che possiedono le storie, dato che si tratta, fondamentalmente, di racconti;
- la ricchezza e varietà di stimoli e significati derivanti dall'alta densità informativa e dall'amalgama di codici, formati, eventi, personaggi, informazioni, che interagiscono tra loro attraverso molteplici percorsi e diverse relazioni analogiche

Il fascino è il punto di forza dello storytelling in ambito didattico, sia che si propongano agli studenti contenuti in forma di storie digitali, sia che si proponga agli studenti di creare tali storie attraverso applicazioni web a tale scopo dedicate. Ciò deriva da diversi fattori:

- il carattere fortemente gratificante proprio di un approccio narrativo;
- il fatto che esso offra un accesso più semplice a concetti astratti e complessi, come già Platone, che faceva largo uso dei miti (racconti) nei suoi dialoghi, ben sapeva;
- capacità propria del meccanismo narrativo, supportato da elementi multimediali, di generare processi ermeneutico – interpretativi e correlazioni concettuali significative;
- la facilità di memorizzazione del racconto sul piano cognitivo;
- il notevole grado di coinvolgimento e il conseguente rafforzamento delle variabili motivazionali e dell'impegno che la narrazione offre;
- la capacità di veicolare messaggi significativi e di forte impatto, strutturati secondo una logica di causa – effetto;
- una storia genera altre storie, secondo il meccanismo della inter-testualità, favorendo lo scambio collaborativo delle conoscenze, il confronto dialogico, lo

spirito critico e la ricerca di nuove interpretazioni e punti di vista su un problema e/o tema;

- la capacità dell'approccio narrativo di favorire la networked knowledge (conoscenza connettiva) e la combinatorial creativity (creatività combinatoria)

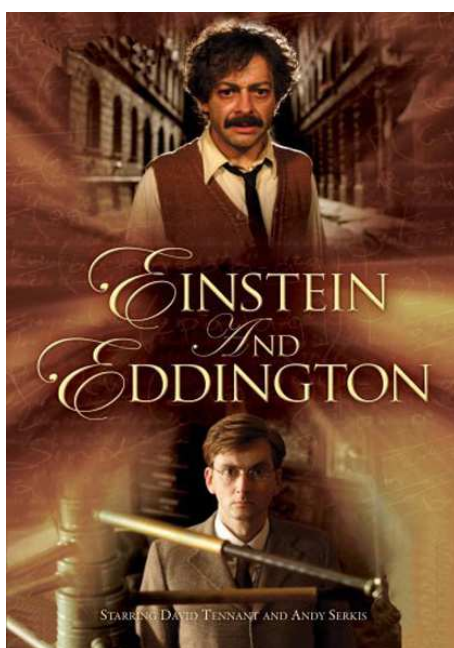
Uno dei motivi per cui un docente può ricorrere allo storytelling è quello di rendere la lezione più informale per cercare un modo nuovo di comunicare, che possa suscitare un maggiore coinvolgimento emotivo dei ragazzi e possa essere anche occasione di approfondimento. Quando si inizia una lezione con: «e adesso vi racconto una storia...», si suscita un certo interesse negli studenti e così una “storia” può diventare lo strumento per introdurre nuovi argomenti o proporre interrogativi problematici; raccontare le storie della vita degli scienziati per far apprezzare agli allievi che quello che studiano è il frutto del lavoro di persone “normali”, e che il tanto famoso Isaac Newton, come molti di loro, ha avuto un'infanzia poco fortunata è un modo per umanizzare lo studio della Fisica, ritenuta da molti di loro materia arida e difficile.

I riferimenti teorici sull'uso delle storie in classe sono rintracciabili nei lavori dello psicologo Jerome Bruner , che definisce la narrativa come una serie di eventi o di stati mentali che non hanno significato autonomo, ma lo acquistano solo all'interno della sequenza con la quale sono disposti nella trama. (Bruner, 2010). Una storia non può essere spiegata, ma solo interpretata; la narrativa racconta qualcosa di inaspettato o insinua un dubbio. Questo tipo di analisi vale anche in ambito scientifico: si può spiegare la caduta dei corpi, ma si può solo interpretare cosa sia successo a Newton quando, come si racconta, gli è caduta la mela in testa. La stessa storia della scienza può essere letta in chiave narrativa, come un romanzo epico, una tragedia, una commedia. A volte anche i testi scientifici, come l'Ottica di Newton o l'articolo di Einstein sull'effetto fotoelettrico, hanno una struttura fortemente narrativa. Le storie sono state molto utilizzate come un efficace strumento didattico, perché stimolano interesse, curiosità, coinvolgimento, sviluppo della memoria, maggior comprensione dei contenuti. Questo accade perché i fatti e le azioni raccontati in una narrazione sembrano più concreti e facilmente comprensibili, per esempio, di una dimostrazione matematica, e perché le narrazioni permettono di mantenere sullo stesso piano linguaggio scientifico e non-scientifico. Naturalmente non tutti gli argomenti si prestano alla trasposizione in chiave narrativa, alcuni meglio di altri: la scomparsa dei

dinosauri può essere “raccontata” con rigore in maniera più semplice di quanto si possa fare per il modello particellare della materia. L'uso della narrazione in alcune fasi dell'attività didattica può comunque rivelarsi funzionale alla creazione di un canale di comunicazione alternativo. Per conciliare rigore scientifico e approccio narrativo serve un pizzico di creatività personale, ma è possibile trovare stimoli utili nelle opere divulgative dei grandi scienziati, e in particolare di quelli che hanno dedicato molta attenzione alla didattica. Per esempio il fisico Richard Feynman è riuscito a spiegare la conservazione dell' energia con una storia di Pierino.

Attraverso il Digital storytelling si può far uso di artefatti per introdurre una lezione in modo accattivante, per rendere motivante una proposta didattica e significativo l'apprendimento. Si può far consapevolmente leva sull'interesse per il mondo interiore e l'importanza della gruppaltà e promuovere attività metacognitive sulle emozioni sia a livello individuale che di gruppo. Nella classe quarta di una Scuola Secondaria di II grado abbiamo sperimentato la metodologia del Digital Storytelling per avvicinare gli studenti allo studio delle scienze partendo dalla visione di un film o alla lettura di un libro divulgativo sul tema. La stessa metodologia è stata utilizzata nella classe quarta di un Liceo Scientifico per introdurre la Relatività.

L'approccio alla Relatività è stato sperimentato attraverso la visione del film “Einstein and Eddington”.



Locandina del film “Einstein and Eddington”

Alla visione del film è seguita una discussione in classe attraverso domande-stimolo opportunamente predisposte e un questionario metacognitivo. Inoltre, gli studenti, divisi in piccoli gruppi, hanno dovuto rielaborare i momenti salienti del film. La vera sfida del docente è stata legare gli stimoli emersi con i contenuti disciplinari. La potenzialità dello storytelling è stata sperimentata sia per l'approccio allo studio della relatività sia per la realizzazione di un prodotto di intervento dell'attività didattica svolta, sfruttando le tecnologie informatiche.

Le nuove tecnologie hanno cambiato il modo in cui si può raccontare una storia, ampliando le opportunità di espressione, ma soprattutto rendendole disponibili a chiunque: oggi tutti possono facilmente creare un video con una colonna sonora personalizzata. Le tecnologie di uso comune sono invece più facili da usare perché già note agli allievi. In questa categoria rientrano esperienze che vanno dalla semplice creazione di presentazioni multimediali al montaggio di filmati registrati con dispositivi mobili, dove gli strumenti utilizzati sono quelli normalmente disponibili per la gestione di testi, immagini, suoni, filmati. Altre possibilità sono offerte da vari strumenti del Web 2.0 per la realizzazione di un diario di bordo, la spiegazione collettiva di un fenomeno attraverso i commenti a un topic, la creazione di una biografia con una pagina wiki o Facebook. In questo senso, Twitter potrebbe rivelarsi un ambiente stimolante per proporre un dialogo in stile galileiano: si possono, per esempio, trasporre le battute di Simplicio, Salviati e Sagredo in uno scambio di tweet oppure inventarne di nuove per la spiegazione di un fenomeno osservato in laboratorio o nella vita quotidiana.

Tra gli strumenti efficaci del digital storytelling è stato scelto il fumetto perché è una tecnica molto versatile utilizzabile in diversi contesti e che si presta naturalmente allo sviluppo di applicazioni multimediali, anche in ambito didattico. Del resto il fumetto è uno strumento stimolante per varie ragioni: per sua natura, richiede un'estrema sintesi nella costruzione di ogni singola vignetta e nella strutturazione della sequenza di vignette, ma allo stesso tempo si presta a diversi livelli di implementazione, dal semplice disegno con carta e matita all'uso di strumenti multimediali per la realizzazione di animazioni. In ambito scientifico ci sono molti esempi in questa direzione. Si è preso spunto dalla letteratura esistente, in particolare un libro sulla vita

di Bohr e la fisica dei quanti (Alice nel paese dei quanti) (Gilmore, 1996), uno sulla storia recente dell'astronomia (Storia sentimentale dell'astronomia) (Bianucci, 2014) o, ancora, sulla fisica che si trova nel mondo dei supereroi (Kakalios, 2007). Inoltre, si è preso spunto da progetti didattici veri e propri, come Selenia, una serie inglese (con tanto di schede didattiche) dedicata a un'aliena che riesce a cambiare le proprietà dei materiali. E, ancora, alcune lezioni di TedEd, come quella dedicata alle forze che agiscono su un astronauta o la serie sulla scienza dei supereroi.

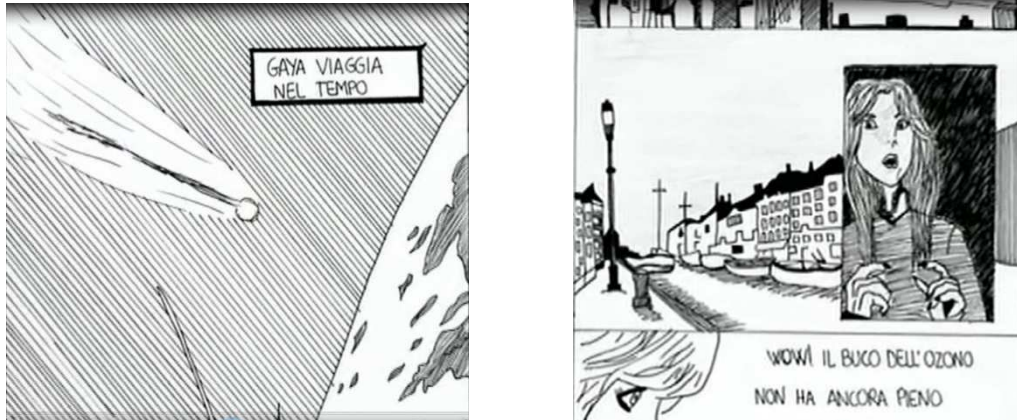
Il fumetto multimediale realizzato da studenti della classe quarta di un liceo scientifico riprende il paradosso dei gemelli di Einstein. Non è un caso se tra le teorie più diffuse della fisica quelle che hanno uno stile narrativo rimangono più impresse nella mente dello studente: basti pensare a Galilei, a Newton e allo stesso Einstein.

Uno degli effetti più curiosi della teoria della Relatività è la contrazione dello spazio-tempo in funzione della velocità. Si tratta di un concetto che non sperimentiamo ogni giorno la cui trattazione teorica potrebbe risultare ostica per studenti di un liceo. Per spiegare il concetto, lo stesso Einstein ricorre a un paradosso, noto come il paradosso dei gemelli, usando una trama che può apparire fantascientifica anche perché usa un linguaggio e delle immagini abbastanza tipiche della fantascienza.

Gli studenti ripropongono il paradosso dei gemelli in chiave rivisitata e adattato a un fumetto.

Viene narrata la storia di Chiara e Francesco, due gemelli appassionati di viaggi stellari, che progettano e realizzano un'astronave capace di spingersi a velocità prossime a quella della luce, ben 300.000 chilometri al secondo. Mentre Francesco rimane sulla Terra, Chiara viaggia attraverso la galassia per un anno intero. A questo punto Chiara è biologicamente invecchiata di un anno. Francesco però è rimasto a terra e per lui è trascorso molto più tempo: quando si incontra con Chiara è un esperto scienziato che non vede la sorella da ben 10 anni. La Relatività si spinge ancora più in là, collegando il tempo dell'astronauta con la velocità dell'astronave: se Chiara avesse accelerato ancora un po', avvicinandosi di più alla fatidica soglia della velocità della luce, al suo ritorno avrebbe visto Francesco ancora più anziano. La comune concezione dello spazio è completamente inadatta a essere impiegata per comprendere questo fenomeno: se pensiamo al tempo come a qualcosa che scorre al ritmo di un immaginario orologio cosmico che segna i secondi, non avremo strumenti utili a trattare il paradigma di

Chiara e Francesco. Non c'è alcun tempo assoluto, newtoniano, che esista davvero “fuori da noi” e scorre alla stessa velocità in tutto l'universo.



In figura due immagini del fumetto realizzato dagli studenti.



Nella figura a sinistra una immagine del fumetto; a destra un fotogramma degli studenti.

Lo storytelling si è rivelato un utile strumento per introdurre concetti della fisica piuttosto complessi ma non è stato esaustivo. La sua efficacia didattica è stata evidente nella possibilità di introdurre alcuni concetti in maniera informale ma poi è stato necessario il rigore della formalizzazione. In questo caso, il racconto e la successiva rappresentazione attraverso il fumetto sono stati molto efficaci per spiegare le trasformazioni di Lorenz, per ribadire i concetti di sistema di riferimento inerziale e non inerziale, il concetto di spazio-tempo fino ad un accenno a qualche concetto più elaborato della Relatività generale.

È stato inoltre necessario creare un “ambiente di apprendimento” inteso in senso costruttivista, in cui al centro del sistema sono stati messi gli studenti, per i quali il

sistema stesso ha funzionato da “orientamento” dell'attività di produzione di significato. Il lavoro è stato collaborativo e di gruppo; il prodotto finale è stato un artefatto culturale della co-costruzione avvenuta nel setting educativo (Wilson 1996). Gli studenti si sono avvicinati all'uso didattico del Digital seguendo le indicazioni del portale del College of Education dell'Università di Houston che tengono conto di “sette elementi” fondamentali che lo devono caratterizzare: è stato innanzitutto definito il punto di vista principale della storia in modo tale che la prospettiva degli autori fosse sempre percepibile; gli studenti hanno individuato una domanda chiave che è stata il leitmotiv di tutto lo svolgimento storia: l'inquinamento per il primo video realizzato, la relatività del tempo per il secondo video. Alla domanda chiave è stata data risposta alla fine della narrazione. Gli studenti sono stati attenti nel creare un contenuto che fosse emotivamente coinvolgente. I video sono stati dotati di una voce narrante realizzata dagli stessi studenti che ha aiutato a personalizzare il prodotto e comprendere meglio la storia narrata. Anche la musica e suoni iniziali hanno avuto un ruolo fondamentale nell'efficacia della narrazione ed hanno arricchito la progressione narrativa sottolineando i passaggi chiave. Gli studenti hanno avuto anche l'accortezza di usare solo i contenuti necessari e sufficienti a raccontare la storia evitando di sovraccaricare lo spettatore e non rendendo la narrazione eccessivamente prolissa ma neppure eccessivamente sintetica. Infine, il ritmo della narrazione è stato calibrato dosando la progressione, i rallentamenti e le accelerazioni narrative per rendere massima la efficacia comunicativa. I video realizzati sono stati caricati su Youtube.

Le competenze promosse dal processo di produzione di un DST sono multiple (Brown, 2005) e riguardano le quattro caratteristiche fondamentali di questo artefatto culturale: narrazione, medialità, socialità, personalizzazione, ai quali si aggiungono le competenze nell'attività di ricerca, nel problem solving e nella valutazione.

Si riporta qui un quadro sinottico delle competenze sviluppate dalla metodologia della narrazione digitale:

<p>Competenza nella narrazione</p>	<p>Competenza nella scrittura di una storia attraverso la scrittura di uno script e di uno storyboard</p>
---	--

Competenza nella medialità	Competenza nell'interpretazione (uso) di oggetti multimediali (testi, immagini, immagini in movimento, suoni e musica). Competenze nella ricostruzione e reinterpretazione (produzione) di oggetti multimediali (selezione ed assemblaggio del materiale). Competenze nell'uso di hardware, software e strumenti tecnici (fotocamera, videocamera, programmi di montaggio, uso di internet)
Competenza nella socialità	Competenza nel team work (negoiazione di significati e produzione condivisa). Competenza nell'organizzazione delle fasi di un lavoro fino alla produzione finale. Competenza nella gestione del tempo. Competenza nella gestione dei ruoli. Competenza nella comunicazione e pubblicizzazione.
Competenza nella personalizzazione	Competenza metacognitiva nella riflessione e attribuzione di senso e significato al progetto. Aggancio con le conoscenze precedenti. Creazione personalizzata di un artefatto culturale.
Competenza nell'attività di ricerca	Competenza nella ricerca, selezione dei materiali e argomentazione della storia. Competenza e consapevolezza nelle questioni riguardanti copyright e proprietà intellettuale.
Competenza nel problem solving	Competenza nella ricerca delle soluzioni alla domanda motivante della storia. Competenza di risoluzione dei problemi nel processo di realizzazione del prodotto.
Competenza nella valutazione	Competenza nella valutazione del proprio lavoro e di quello degli altri. Competenza nella valutazione dell'efficacia comunicativa. Competenza nella

	valutazione delle fonti. Competenza nell' autovalutazione.
--	--

Da questa tabella delle competenze, si rileva la centralità di questo ambiente di apprendimento digitale nell'attuale dimensione dell'istruzione e della formazione: le attività immediatamente mobilitate dalla costruzione di un digital storytelling sono, infatti, la selezione, la decisione, la creazione, la progettazione, la narrazione pertinente ad una tesi, l'argomentazione documentata, la scelta, la comunicazione, la valutazione. È evidente che si tratta di attività che pongono al centro del processo di apprendimento lo studente che agisce, crea, valuta.

Il digital storytelling può essere ritenuto un efficace ambiente di apprendimento per lo sviluppo delle competenze del XXI secolo. I docenti che vogliono cogliere le opportunità offerte da questo approccio possono fare riferimento, per le indispensabili attività di valutazione connesse al processo di insegnamento – apprendimento, anche ad alcune possibili griglie di valutazione

NETS		Digital Storytelling
Creatività ed innovazione Gli studenti dimostrano di utilizzare il pensiero creativo e di sviluppare prodotti e processi innovativi attraverso la tecnologia	a. applicano conoscenze preesistenti per generare nuove idee, processi, prodotti b. creano opere originali individualmente o in gruppo c. usano modelli e simulazione per esplorare e comunicare problemi complessi	a. la scelta della storia e del problema motivante si basa sulle conoscenze precedenti b. creazione di un digital storytelling originale individualmente o in gruppo c. la storia digitale, lo specifico studio di caso è una simulazione che esplora un problema complesso.

<p>Comunicazione e collaborazione</p>	<p>a. interagiscono, collaborano con pari ed esperti</p> <p>b. comunicano in modo efficace ad un pubblico variegato utilizzando differenti media</p> <p>c. contribuiscono al lavoro in team per la produzione di opere originali e per la risoluzione di problemi</p>	<p>a. produzione del gruppo del digital storytelling. Ricorso al sapere degli esperti.</p> <p>b. Utilizzo di differenti media e comunicazione ad un pubblico variegato. Cura dell'efficacia comunicativa</p> <p>c. Apporto individuale al lavoro di gruppo</p>
<p>Scioltezza nelle attività di ricerca e documentazione</p> <p>Gli studenti usano strumenti digitali per raccogliere, valutare e utilizzare informazioni</p>	<p>a. Pianificano strategie per guidare la ricerca</p> <p>b. Individuano, organizzano, valutano, selezionano informazioni da una varietà di fonti e media</p> <p>c. Valutano e selezionano fonti di informazioni e gli strumenti digitali in base alla adeguatezza al compito o al progetto da realizzare</p>	<p>a. Pianificano degli step per realizzare il digital storytelling</p> <p>b. Ricerca, documentazione, organizzazione e selezione delle informazioni pertinenti da una varietà di fonti e media</p> <p>c. Valutazione e selezione delle fonti pertinenti da cui selezionare le informazioni</p> <p>d. Valutazione degli strumenti digitali</p>

		pertinenti al compito da sviluppare
<p>Pensiero critico; problem solving; attività di decisione.</p> <p>Gli studenti usano pensiero critico per progettare e condurre una ricerca, gestire un progetto, risolvere problemi, prendere decisioni usando appropriati strumenti digitali</p>	<p>a. Identificare e definire problemi e domande importanti</p> <p>b. Pianificare e gestire le attività per sviluppare una soluzione</p> <p>c. Raccogliere e analizzare i dati per prendere decisioni informate e risolvere problemi</p> <p>d. Utilizzare prospettive diverse per esplorare soluzioni alternative</p>	<p>a. Definire il problema motivante e la domanda di partenza</p> <p>b. Pianificare gli step per la realizzazione del DST</p> <p>c. Raccogliere, analizzare e selezionare le informazioni</p> <p>d. Individuare il punto di vista o i punti di vista della storia</p>
<p>Cittadinanza digitale</p> <p>Gli studenti hanno consapevolezza della dimensione umana, etica e sociale della tecnologia, delle prassi legali e di un comportamento etico nell'uso degli strumenti digitali</p>	<p>a. Avere un atteggiamento positivo verso la tecnologia che sviluppa collaborazione ed apprendimento</p> <p>b. Dimostrare responsabilità e consapevolezza del proprio apprendimento e della sua importanza lungo tutto l'arco della vita</p>	<p>a. Il lavoro di gruppo e la personalizzazione del lavoro sviluppano motivazione e percezione positive della tecnologia</p> <p>b. Il DST sviluppa atteggiamento di responsabilità nel processo di costruzione della propria conoscenza</p>
<p>Operazioni e concetti legati alla tecnologia</p>	<p>a. Comprendono ed usano sistemi tecnologici</p>	<p>La creazione di un DST pone gli studenti nella necessità di utilizzare diversi strumenti</p>

Gli studenti dimostrano una buona comprensione di concetti, sistemi ed operazioni legate alla tecnologia	b. Selezionano ed utilizzano le applicazioni in modo efficace e produttivo c. Risolvono problemi legati ai sistemi e alle applicazioni digitali	tecnologici, di scegliere ed usare software ed applicazioni specifiche, di risolvere i problemi emersi nel corso del loro utilizzo.
---	--	---

La tabella è un riadattamento delle ricerche dell'ISTE (International Society for Technology in Education, 2008) sui NETS (National Educational Technology Standards for students).

4.7 I moti browniani: una proposta didattica interdisciplinare

Le nuove indicazioni nazionali per i licei prevedono lo studio della fisica moderna al quinto anno, tuttavia non esiste, allo stato attuale, un percorso didattico ancora consolidato ma solo proposte di approccio sia dal punto di vista metodologico sia dal punto di vista dei contenuti. Il nostro studio prevede un percorso didattico per lo studio della fisica moderna a partire dai moti browniani, coinvolgendo aspetti non trascurabili del calcolo della probabilità e della statistica e mettendo in rilievo la transdisciplinarietà e l'interdisciplinarietà di tali aspetti. Perché introdurre il moto browniano nel curriculum degli studenti? A causa del grande potenziale educativo, che permette l'integrazione di molte discipline collegando il mondo microscopico al mondo macroscopico. A partire da aspetti storici del moto browniano, vogliamo mettere in evidenza la sua natura transdisciplinare e interdisciplinare: matematica, statistica, fisica, informatica e biologia potrebbero essere coinvolti e trattati scegliendo il livello di dettaglio.

Di seguito, è riportato il piano delle attività progettate:

Attività prevista	Contenuti	Competenze specifiche	Metodologie	Luoghi	Ore
Presentazione e delle attività e test per la verifica diagnostica e prognostica ex ante	Presentazione delle attività Test di verifica		Somministrazione di una prova semi-strutturata con item a risposta multipla, vero/falso e a risposta aperta	Aula multimediale	3
Il calcolo della probabilità	Distribuzioni delle frequenze a seconda del tipo di carattere e principali	Utilizzare le tecniche e le procedure del calcolo aritmetico ed algebrico rappresentand	Didattica interattiva Cooperative learning	Aula multimediale	3

	<p>rappresentazioni grafiche. Nozione di esperimento casuale e di evento. Probabilità e frequenza.</p>	<p>ole anche sotto forma grafica</p> <p>Individuare le strategie appropriate per la soluzione di problemi</p> <p>Analizzare i dati e interpretarli sviluppando deduzioni e ragionamenti sugli stessi anche con l'ausilio di rappresentazioni grafiche</p>			
La statistica		<p>Individuare le strategie appropriate per la soluzione di problemi</p> <p>Usare consapevolmente gli strumenti di calcolo</p>	<p>Didattica interattiva Cooperative learning</p>	<p>Aula Aula multimediale</p>	2
La teoria cinetica dei gas e la		<p>Dominare attivamente i concetti e i</p>	<p>Didattica interattiva</p>	<p>Aula Aula multimediale</p>	3

distribuzione delle velocità molecolari		metodi delle funzioni elementari dell'analisi e dei modelli matematici Usare consapevolmente gli strumenti di calcolo Individuare le strategie appropriate per la soluzione di problemi	Cooperative learning		
Il moto browniano			Didattica interattiva Cooperative learning	Aula Aula multimediale	2
Una trattazione semplificata del moto browniano		Individuare le strategie appropriate per la soluzione di problemi	Didattica interattiva Cooperative learning	Aula Aula multimediale	3
Verifica in itinere					2
Laboratorio di informatica	Basi di uso di excel Basi di uso di Geogebra	Analizzare i dati e interpretarli sviluppando deduzioni e ragionamenti	Didattica interattiva Cooperative learning	Aula Aula multimediale	3

	<p>Simulazione del moto di una particella con excel e/o Geogebra</p>	<p>sugli stessi anche con l'ausilio di rappresentazioni grafiche</p> <p>Usare consapevolmente gli strumenti di calcolo</p> <p>Padroneggiare tecniche per la manipolazione e di semplici strumenti di laboratorio</p>			
Laboratorio di fisica	<p>Riproduzione di semplici esperimenti con uso di materiale povero</p>	<p>Padroneggiare tecniche per la manipolazione e di semplici strumenti di laboratorio</p> <p>Individuare le strategie appropriate per la soluzione di problemi</p>	<p>Didattica interattiva</p> <p>Cooperative learning</p>	<p>Aula</p> <p>Aula multimediale</p>	2
Fisica e realtà	<p>Come si diffonde il profumo in una stanza (il</p>	<p>Dominare attivamente i concetti della</p>	<p>Didattica interattiva</p>	<p>Aula</p> <p>Aula multimediale</p>	2

	cammino libero delle molecole)	logica matematica Individuare le strategie appropriate per la soluzione di problemi	Cooperative learning		
		Individuare le strategie appropriate per la soluzione di problemi Usare consapevolmente gli strumenti di calcolo	Didattica interattiva Cooperative learning		3
Verifica finale sommativa ex post	Test di verifica Correzione degli elaborati		Somministrazione di una prova semi-strutturata con item a risposta multipla, vero/falso e a risposta aperta, con ausilio del computer	Aula Aula multimediale	2

Al fine di contribuire a rivitalizzare il curriculum scolastico e migliorare l'alfabetizzazione digitale degli studenti, a partire dalla esperienza storica di Brown, accanto ad alcuni esperimenti classici, reali o virtuali, proponiamo un semplice modello macroscopico di moto caotico, e una simulazione "random walk" realizzata utilizzando

il software "Geogebra". Entrambe le esperienze sono state realizzate in una classe quinta di un liceo scientifico e facilmente riproponibili in altri contesti didattici.

Il biologo Robert Brown, nel 1827, ha studiato con un microscopio particelle di polline galleggianti in acqua, osservato minuscoli grani di polline in continuo movimento. Dopo una iniziale scarsa attenzione da parte dei fisici, e qualche tentativo (presto abbandonato) di interpretazione per mezzo di correnti e differenze di temperature del fluido ospite, ci si rese conto della rilevanza del problema e della sua connessione con la termodinamica. In particolare, si notò come la velocità del moto cresceva all'aumentare della temperatura ed al diminuire della grandezza dei grani, mentre diminuiva aumentando la viscosità del fluido. La dipendenza della velocità dei grani dalla temperatura suggeriva una possibile relazione del moto browniano con la teoria cinetica del calore. D'altro canto, si doveva escludere una spiegazione semplicistica del moto irregolare dei grani come effetto degli urti con una molecola del fluido; infatti anche la più piccola delle particelle osservabili è sempre di gran lunga più pesante della singola molecola e quindi il singolo urto non potrebbe dare effetti osservabili. La spiegazione del moto browniano ha come principali protagonisti Jean Perrin e Albert Einstein, il primo con le sue teorie tendenti ad evidenziare, mediante tecniche microscopiche, gli effetti connessi col moto di agitazione termica delle molecole, il secondo fornendo una teoria di tipo statistico (*random walk*) per dimostrare la discontinuità della materia. La teoria fu esposta da Einstein nel 1905. La teoria venne poi rielaborata da Langevin per mezzo di equazioni differenziali stocastiche (usando una terminologia moderna). In poche parole, seguendo l'impostazione di Langevin (e non quella originaria di Einstein che presenta maggiori difficoltà di esposizione), l'idea è la seguente. Il moto del grano di polline è determinato da due forze:

- a) quella di attrito con il fluido
- b) quella impulsiva, data dagli urti con le molecole.

Il contributo a) è facilmente determinabile dalla legge di Stokes e, se si assume il grano di polline sferico, vale $-6\pi\eta Rv$ ove η è la viscosità del fluido, R il raggio della particella e v la sua velocità. In presenza del solo contributo a), un grano di massa m si dovrebbe fermare in un tempo dell'ordine di $m/(6\pi\eta R)$. Utilizzando i parametri in gioco di un fluido comune (come l'acqua) a temperatura ambiente un grano di polline di un micron di raggio dovrebbe praticamente fermarsi in un tempo dell'ordine di 10^{-7}

secondi. Per quanto riguarda il contributo b), si assume (in termini moderni) che esso sia descritto da un processo gaussiano, con un'opportuna varianza (ottenibile dalla teoria cinetica), e con correlazione temporale nulla. L'ipotesi di gaussianità e correlazione nulla è fisicamente giustificabile con il fatto che il rapporto tra il tempo tipico del contributo del termine di Stokes e quello microscopico è molto grande (ordine $10^4 - 10^5$).

Una volta formalizzato il fenomeno in questo modo, il gioco è fatto: si riesce ad ottenere la legge di Einstein-Smoluchowski sulla diffusione:

$$\langle x(t)^2 \rangle \cong 6Dt \quad (1)$$

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta R} \quad (2)$$

ove $x(t)$ è lo spostamento subito dalla particella al tempo t , k_B è la costante di Boltzmann legata al numero di Avogadro N_A ed alla costante R dei gas: $k_B = R/N_A$. Il fattore 6 nella definizione di D nella (1) è convenzionale (perché siamo in 3 dimensioni, in una dimensione ci sarebbe 2). L'importanza della legge di Einstein-Smoluchowski è nel fatto di legare la grandezza D , connessa con quantità macroscopiche, osservabili con esperimenti relativamente semplici (la quantità $\langle x(t)^2 \rangle$), con il numero di Avogadro.

Dov'è il punto geniale? Nello studio dei grani di polline è stato ipotizzato che per la forza ci siano due contributi uno di tipo macroscopico ed uno di origine microscopica. Le equazioni differenziali stocastiche richiedono la conoscenza di un po' di tecnica matematica non elementare. Comunque è stata proposta agli studenti una trattazione semplificata del problema seguendo l'approccio di Langevin con una variante a tempo discreto che non richiede nessun particolare strumento tecnico. Riportiamo la versione proposta agli studenti. Per semplicità di notazione consideriamo il caso unidimensionale ed indichiamo con x_n e v_n la posizione e la velocità della particella browniana al tempo $n\Delta t$, la regola stocastica è la seguente:

$$x_{n+1} = x_n + cv_n \quad (3)$$

$$v_{n+1} = av_n + bw_n \quad (4)$$

ove a , b e c sono costanti, vedremo dopo come sceglierle in modo consistente, per ora diciamo che $0 < a < 1$. Assumiamo che le variabili $\{w_n\}$ siano indipendenti e

distribuite $N(0, 1)$ cioè la loro densità di probabilità è una gaussiana a media nulla e varianza 1, inoltre v_0 è $N(\langle v_0 \rangle, \sigma_0^2)$ ed è indipendente da $\{w_n\}$.

Risulta che v_1 è $N(\langle v_1 \rangle, \sigma_1^2)$, $\langle v_1 \rangle$ e σ_1^2 si ottengono facilmente dalla (4), ricordando che $\langle w_0 \rangle = 0$ e $\langle w_0^2 \rangle = 1$:

$$\langle v_1 \rangle = a \langle v_0 \rangle \quad (5)$$

$$\langle v_1^2 \rangle = a^2 \langle v_0^2 \rangle + b^2 \langle w_0^2 \rangle + 2ab \langle v_0 w_0 \rangle = a^2 \langle v_0^2 \rangle + b^2 \quad (6)$$

È facile ripetere il calcolo ad ogni n :

$$\langle v_{n+1} \rangle = a \langle v_n \rangle \Rightarrow \langle v_n \rangle = a^n \langle v_0 \rangle \quad (7)$$

$$\langle v_{n+1}^2 \rangle = a^2 \langle v_n^2 \rangle + b^2 \quad (8)$$

$$\sigma_{n+1}^2 = a^2 \sigma_n^2 + b^2 \quad (9)$$

È facile mostrare che per $n \rightarrow \infty$ si ha:

$$\sigma_n^2 \rightarrow \sigma_\infty^2 = \frac{b^2}{(1-a^2)} = \langle v^2 \rangle \quad (10)$$

introducendo la variabile $\delta_n = \sigma_n^2 - \sigma_\infty^2$, la (9) può essere riscritta nella forma

$$\delta_{n+1} = a^2 \delta_n \Rightarrow \delta_n = a^{2n} \delta_0 \quad (11)$$

$$\sigma_n^2 = \sigma_\infty^2 + a^{2n} \delta_0 = \sigma_\infty^2 + a^{2n} (\sigma_0^2 - \sigma_\infty^2) \quad (12)$$

Quindi la v_n è distribuita $N(\langle v_n \rangle, \sigma_n^2)$ con $\langle v_n \rangle$ e σ_n^2 date dalla (7) e (12).

Si può notare che quando $n \rightarrow \infty$, $\langle v_n \rangle \rightarrow 0$ (perché $0 < a < 1$) e $\sigma_n^2 \rightarrow \sigma_\infty^2 = \langle v^2 \rangle$; detto a parole la densità di probabilità della variabile v_n diventa praticamente stazionaria dopo un tempo caratteristico τ_c .

Veniamo ora all'equazione (3) per lo spostamento ed assumiamo che all'istante iniziale la variabile velocità sia $N(0, \langle v^2 \rangle)$, questo è molto sensato perché come abbiamo visto il rilassamento è rapido.

$$\Delta_n = x_n - x_0 = c \sum_{j=0}^{n-1} v_j \quad (13)$$

ovviamente $\langle \Delta_n \rangle = 0$ e

$$\langle \Delta_n^2 \rangle = c^2 \left\langle \left[\sum_{j=0}^{n-1} v_j \right]^2 \right\rangle = c^2 \sum_{j=0}^{n-1} \langle v_j^2 \rangle + 2c^2 \sum_{j=0}^{n-1} \sum_{k=1}^{n-j-1} \langle v_j v_{j+k} \rangle \quad (14)$$

notiamo ora che $\langle v_j v_{j+k} \rangle = a^k \langle v^2 \rangle$ (basta moltiplicare per v_n la (4) e poi mediare, si ottiene così $\langle v_n v_{n+1} \rangle = a \langle v^2 \rangle$, analogamente moltiplicando per v_{n-1} la (4), mediando

ed utilizzando il risultato precedente si ha $\langle v_{n+1}v_{n-1} \rangle = a^2 \langle v^2 \rangle$ e così via). Ricordando che

$$\sum_{k=1}^N a^k = \sum_{k=0}^N a^k - 1 = \frac{1 - a^{N+1}}{1 - a} - 1 = \frac{a}{1 - a} (1 - a^N) \quad (15)$$

la (14) diventa

$$\langle \Delta_n^2 \rangle = c^2 n \langle v^2 \rangle + 2c^2 \langle v^2 \rangle \frac{a}{1 - a} \left[n - \sum_{j=0}^{n-1} a^{n-j-1} \right] \quad (16)$$

In cui la sommatoria $R_n = \sum_{j=0}^{n-1} a^{n-j-1}$ che compare è una quantità finita al crescere di n . Ora dobbiamo aggiustare le costanti a , b e c , ovviamente

$$c = \Delta t \quad (17)$$

Consideriamo la (4) con $b = 0$: può essere vista come la versione discreta di un'equazione differenziale:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\tau} v \quad (18.a)$$

quindi poiché per Δt piccolo si ha

$$v(t + \Delta t) \cong v(t) - v(t) \frac{\Delta t}{\tau}$$

e segue che

$$a \cong 1 - \frac{\Delta t}{\tau} \quad (18.b)$$

Se vogliamo che $\langle v^2 \rangle$ sia una quantità finita allora dalla (10) e la (18) segue che b deve essere:

$$b \cong \alpha \sqrt{\Delta t} \quad (19)$$

Ora siamo pronti a calcolare il limite:

$$D = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\langle [x(n\Delta t) - x(0)]^2 \rangle}{2n\Delta t} \quad (20)$$

ove ovviamente $t = n\Delta t$. Dalla (16) abbiamo

$$\frac{\langle \Delta_n^2 \rangle}{n} = c^2 \langle v^2 \rangle + 2c^2 \langle v^2 \rangle \frac{a}{1 - a} \left(1 - \frac{R_n}{n} \right) \quad (21)$$

Utilizzando (17,18.b,19,20,21) si ottiene:

$$D = \tau \langle v^2 \rangle \quad (22)$$

Applicando questi risultati alla fisica si arriva alla formula di Einstein.

Nel caso concreto, $\langle v^2 \rangle$ è determinato dall'equipartizione dell'energia:

$$\langle v^2 \rangle = \frac{k_B T}{m} \quad (23)$$

ove k_B è la costante di Boltzmann ($k_B = R/N_A$), ove R è la costante dei gas, N_A il numero di Avogadro, T la temperatura del fluido ed m la massa della particella browniana. Il tempo caratteristico τ è dato dalla formula di Stokes per la forza d'attrito su una sferetta che si muove in un fluido viscoso, cioè la (18.a) con

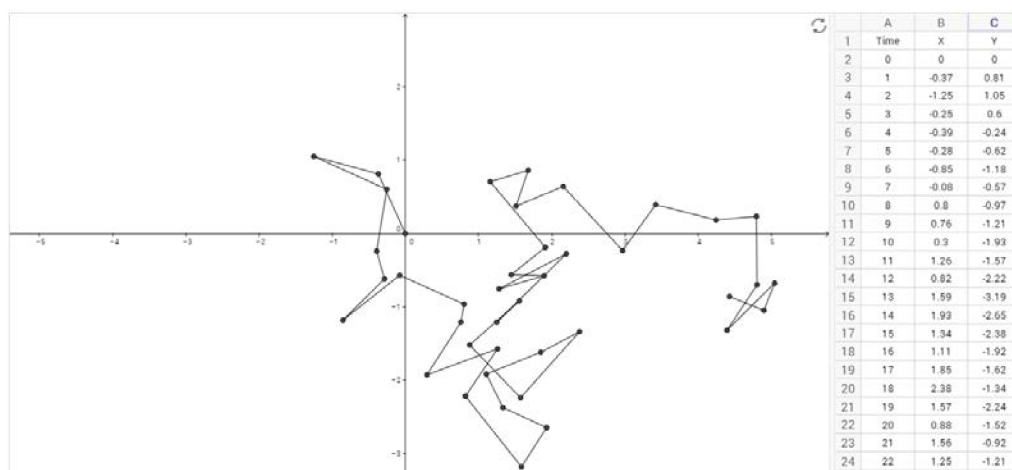
$$\tau = \frac{m}{6\pi\eta R} \quad (24)$$

ove R è il raggio della particella. Abbiamo finalmente la formula di Einstein, che determina il valore di D (coefficiente di diffusione):

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta R} \quad (25)$$

È opportuno insistere sul fatto che la (23) è solo apparentemente innocua: infatti è stato assunto che la particella browniana (macroscopica) sia soggetta (per la parte "sistemica" del suo moto) alla legge di Stokes ed allo stesso tempo sia in equilibrio statistico con le molecole del fluido.

Le attività di laboratorio sono state alternate tra fisica e informatica. Come primo passo di laboratorio, gli studenti hanno costruito, con il supporto del docente, un'applicazione che simula il moto browniano in due dimensioni, utilizzando il software educativo "Geogebra". Sulla base della discussione di Langevin, è stato descritto il "random walk" a partire dal tempo di 0 secondi e aumentato con intervalli discreti. Al tempo 0 secondi, la posizione del "particella" è all'origine di un sistema bidimensionale di riferimento e si ottiene (0, 0). All'istante successivo la posizione viene ottenuta sommando al valore del asse x e asse y il valore "Casuale Uniforme [-1, 1]", che restituisce un numero casuale tra -1 e 1. In questo modo, la "particella" si muove da destra verso sinistra, verso l'alto o verso il basso, in modo casuale. Le posizioni sono indicate nella tabella" in Geogebra



È possibile aggiornare la tabella ottenendo diverse simulazioni. Questa costruzione con Geogebra consente agli studenti di osservare graficamente un movimento casuale e così, creare una simulazione del moto browniano. Questa simulazione da Geogebra è disponibile all'indirizzo: <https://tube.geogebra.org/material/simple/id/2294315>.

Per introdurre gli studenti allo studio del moto browniano ci è sembrato utile ricorrere ad un metodo informale attraverso una attività di laboratorio. Questa strategia didattica, basata sull'uso della metodologia di ricerca, non è necessariamente uno spazio fisico dedicato e dotato di strumenti e materiali utili per la ricerca e la produzione, ma un contesto cognitivo, anche nella consueta classe, dove docenti e studenti pianificano, esperienze, suggerire e confrontare soluzioni, alla ricerca di attivare la creatività come un modo di lavorare. Il laboratorio è un luogo di scoperta, osservazione, ricerca-azione intorno fatti culturali [3].

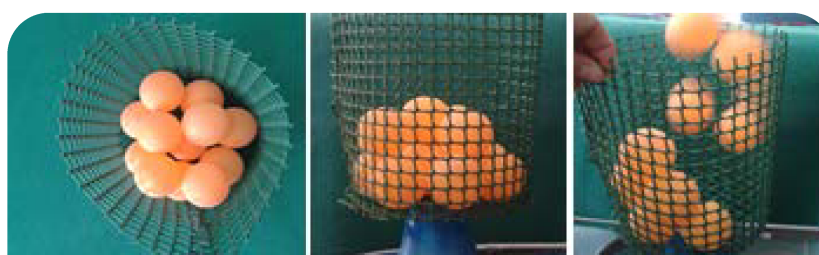
Le attività di laboratorio proposte sono:

- laboratorio di fisica (riproduzione dell'esperienza storica di Brown sul moto dei granelli di polline in acqua, gli esperimenti di diffusione nei fluidi)
- Uso di risorse sul web (guardare video di lezioni ed esperimenti sul moto browniano, guardare video di esperimenti e lezioni sulla diffusione fluidi, uso di applet sul moto browniano, utilizzando il software Tracker¹³ per descrivere e quantificare moto browniano).

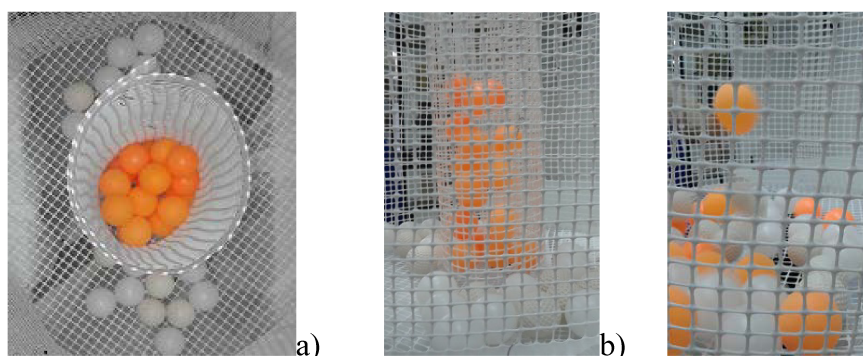
¹³ Tracker è un software di “modellazione” dei fenomeni fisici compilato da Douglas Brown, già insegnante di Fisica al Cabrillo College di Monterey (California) e ora collaboratore del Progetto OSP (Open Source Physics). Si tratta sostanzialmente di un programma in Java che perciò può “girare” su qualsiasi sistema operativo, Windows, Mac o Linux

La schematizzazione che viene solitamente somministrata per visualizzare l'agitazione termica molecolare è quello di piccole sfere che si muovono più o meno velocemente in funzione della temperatura. La disponibilità on-line di film e applet rende ora che la descrizione per le immagini più facile e più veloce di disegni e foto dei testi.

Inoltre, per mostrare concretamente le sfere modello, offriamo un esempio concreto, il tipo "hands-on", che fornisce l'esperienza del fenomeno in questione attraverso la manipolazione e l'osservazione diretta. Il docente può proporre di costruire un semplice modello macroscopico realizzabile con materiali semplici. Nella figura 2 e 3 mostriamo alcune possibili reperti: palline da ping pong sono in gabbia in un contenitore reti e un getto d'aria (fatta da phon, per esempio) li muove. Il movimento ottenuto non è deterministico, a causa della collisione casuale tra le sfere. È un semplice ma incisivo esperimento, che permette allo studente di osservare un moto caotico macroscopico di particelle in un fluido, senza alcuna apparente spiegazione.



Un semplice exhibit simula il moto browniano macroscopicamente: palline colorate vengono agitate da un flusso di aria e si muovono caoticamente.



a) palline di colore diverso sono separate da una griglia. b) quando il box interno viene rimosso, le sfere di colore arancione diffondono grazie a un flusso d'aria. Questo semplice esperimento simula un fenomeno di diffusione, come accade ad una goccia di inchiostro in acqua.

5 La formazione docenti

Le metodologie didattiche esposte nei capitoli precedenti e sperimentate negli Istituti campani citati sono state divulgate attraverso corsi di formazione rivolti ai docenti.

Sono stati condotti, nel territorio campano, corsi di formazione sulla didattica per competenze nei tre ambiti di conoscenza: la Conoscenza Pedagogica (Pedagogical Knowledge), la Conoscenza di Contenuti disciplinari (Subject Matter Content Knowledge) e la Conoscenza Curricolare (Curricular Knowledge), che comprende programmi, materiali e strumenti didattici, software. Sono state mostrate le attività didattiche svolte in questi tre anni per dare spunto ai docenti su come implementare in classe una efficace azione didattica per competenza, come realizzare un prodotto di intervento, come strutturare una prova autentica. Di queste azioni di formazione sono stati raccolti i report e inseriti in questo capitolo.

Sono stati attuati i seguenti percorsi di formazione/aggiornamento rivolti ai docenti:

1. Metodologie didattiche innovative per lo sviluppo di competenze di base” presso l'Istituto Comprensivo di Cimitile (NA);
2. “Didattica per competenze” presso la Direzione Didattica Statale di Baronissi (SA);
3. “La didattica inclusiva e laboratoriale per gli alunni BES” presso l'Istituto Comprensivo di San Giorgio a Cremano (NA);
4. “La didattica per competenze della fisica e nuove metodologie” presso l'Istituto Comprensivo “Stroffolini” di Casapulla (CE);
5. “La progettazione per una didattica inclusiva e il curricolo verticale” presso l'Istituto Comprensivo “Picentia” di Pontecagnano (SA);
6. “Numero Ergo Sum: Competenze, Didattica, Valutazione” presso l'Università di Salerno
7. “Dalla candela al LED” presso il Liceo Scientifico “P.S. Mancini”
8. “La Didattica per Competenze nella scuola del terzo millennio” presso l'Istituto Magistrale “Guacci” di Benevento.

La formazione del Personale Docente in servizio, oltre che un dovere, è diventata una priorità dettata dalla recente legge 107/2015, comma 124.

Ogni Istituzione Scolastica attua un Piano di Formazione per il Personale Docente dopo aver valutato le priorità del Piano Triennale dell'Offerta Formativa (PTOF) e le esigenze formative.

Le priorità individuate nei Piano di miglioramento scaturiti dalle criticità evidenziate nel Rapporto di Autovalutazione (RAV), sono le seguenti:

- Accrescere le competenze degli studenti del biennio in matematica e scienze
- Elevare le prestazioni in italiano
- Diminuire la varianza interna alle classi e fra le classi
- Migliorare gli esiti delle competenze chiave di italiano, matematica e scienze
- Migliorare le competenze tecnico-scientifiche del biennio e delle competenze in uscita
- Realizzare attività su temi inerenti la valorizzazione delle diversità

Sulla base di quanto sopra, nei piani di miglioramento sono stati proposti, all'interno degli obiettivi di processo:

- Organizzare attività di aggiornamento (formazione) finalizzate all'acquisizione di metodologie innovative.
- Incentivare tra i docenti l'uso di strategie educative finalizzate al raggiungimento del successo formativo.

Il Piano Nazionale per la Formazione docenti, ai sensi della legge 107/2015, comma 124, indica le priorità per la formazione in servizio per il prossimo triennio:

1. Competenze di sistema
 - a. Autonomia didattica ed organizzativa
 - b. Valutazione e miglioramento
 - c. Didattica per competenze e innovazione metodologica
 - d. Didattica inclusiva, anche con l'uso di tecnologie digitali
2. Competenze per il XXI secolo
 - a. Lingue straniere(CLIL)
 - b. Competenze digitali e nuovi ambienti di apprendimento (Animatori digitali)
 - c. Scuola e lavoro

3. Competenze per una scuola inclusiva
 - a. Integrazione e competenze di cittadinanza e cittadinanza globale
 - b. Inclusione e disabilità
 - c. Coesione sociale e prevenzione del disagio giovanile

In afferenza con le priorità educative evidenziate nei Piani di miglioramento dei vari Istituti e in linea con le priorità di formazione docenti evidenziate nel Piano Nazionale 2016/19 sono state definite le seguenti azioni formative:

- Didattica per competenze: quadro teorico, modelli,
- Valutazione e certificazione degli apprendimenti
- Competenze di base e metodologie innovative per l'apprendimento (Italiano, matematica e area logico-scientifica).

Dal Piano Nazionale emerge la necessità di potenziare la conoscenza degli strumenti per utilizzare e valutare al meglio le prove INVALSI, nonché gli strumenti metodologici necessari per tradurre l'enorme quantità di dati in un reale strumento per promuovere il miglioramento.

I percorsi formativi attivati sono in perfetta linea con quanto appena esposto.

L'obbligo di formazione per i docenti è pari a 125 ore nel triennio, sebbene il piano nazionale ultimo non riporti alcun monte ore, ma parli di unità formative.

L'obbligatorietà non si traduce, quindi, automaticamente in un numero di ore da svolgere ogni anno, ma nel rispetto del contenuto del piano. Tale piano può prevedere percorsi, anche su temi differenziati e trasversali, rivolti a tutti i docenti della stessa scuola, a dipartimenti disciplinari, a gruppi di docenti di scuole in rete, a docenti che partecipano a ricerche innovative con università o enti, a singoli docenti che seguono attività per aspetti specifici della propria disciplina. Al fine di qualificare e riconoscere l'impegno del docente nelle iniziative di formazione, nel prossimo triennio in via sperimentale, le scuole articoleranno le attività proposte in Unità Formative. Ogni Unità dovrà indicare la struttura di massima del percorso formativo. È importante qualificare, prima che quantificare, l'impegno del docente considerando non solo l'attività in presenza, ma tutti quei momenti che contribuiscono allo sviluppo delle competenze professionali, quali ad esempio:

- formazione in presenza e a distanza

- sperimentazione didattica documentata e ricerca/azione
- lavoro in rete
- approfondimento personale e collegiale
- documentazione e forme di restituzione/rendicontazione, con ricaduta nella scuola
- progettazione

L'Unità Formativa viene riconosciuta e acquisita in modo da tenere conto delle diverse attività sopra indicate e costruita in modo che si possa riconoscere e documentare il personale percorso formativo del docente, all'interno del più ampio quadro progettuale della scuola e del sistema scolastico. Per la definizione delle Unità Formative, in fase di prima definizione, può essere utile fare riferimento a standard esistenti, come il sistema dei CFU universitari e professionali. Le scuole riconoscono come Unità Formative la partecipazione a iniziative promosse direttamente dalla scuola, dalle reti di scuole, dall'Amministrazione e quelle liberamente scelte dai docenti, purché coerenti con il Piano di formazione della scuola. L'attestazione è rilasciata dai soggetti che promuovono ed erogano la formazione, ivi comprese le strutture formative accreditate dal MIUR, secondo quanto previsto dalla Direttiva 176/2016. Le Unità Formative sono programmate e attuate su base triennale, in coerenza con gli obiettivi previsti nel presente Piano Nazionale e nei Piani delle singole scuole. Nella progettazione dei Piani triennali, andrà posta particolare attenzione, soprattutto in questa prima fase di attuazione, alla necessità di garantire ai docenti almeno una Unità Formativa per ogni anno scolastico, diversamente modulabile nel triennio.

In sintesi: ciascun docente deve acquisire almeno 5 unità formative nel triennio e in conclusione l'obbligo della formazione è pari nel triennio a 125 ore di impegno, di cui almeno 40 ore devono essere relative alle attività in presenza.

In linea con Chang (Chang, 1997), siamo fermamente convinti che “L'insegnante ben preparato sia chiave di volta di tutte le innovazioni educativo-didattiche, quindi fattore determinante per la qualità della scuola. Ogni importante innovazione educativa, infatti, richiede sì una spinta esterna, ma l'attuazione, sia pur lenta, esige l'intelligenza, la preparazione e l'attiva volontà dei docenti”

Pertanto, insistere sulla formazione del docente e invitarlo a sperimentare ed innovare pensiamo possa migliorare il rendimento degli alunni percorrendo nuove strade di

insegnamento. Inoltre la divulgazione della sua ricerca, favorisce la formazione dei suoi colleghi e la crescita dell'intera comunità scolastica. Sarebbe inoltre interessante analizzare la correlazione tra i risultati delle prove OCSE PISA e le predisposizioni emotive degli insegnanti verso l'insegnamento di alcuni ambiti delle scienze.

Gli incontri sono stati progettati tenendo conto dei bisogni formativi dei docenti, con lo scopo di guidare gli utenti al superamento della logica della didattica trasmissiva e della valutazione di sole conoscenze e abilità pervenendo, a un sistema di valutazione delle competenze e a un sistema di progettazione coerente delle attività didattiche.

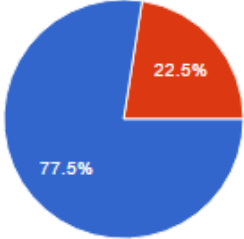
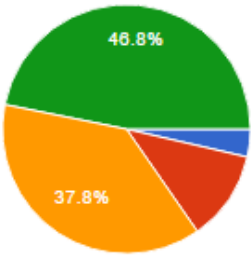
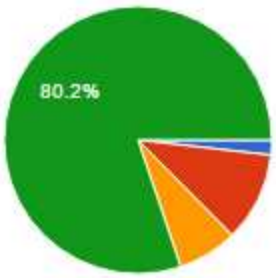
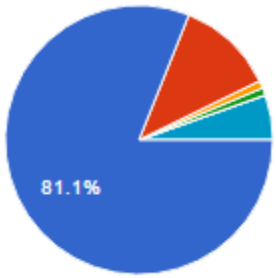
Si è cercato di far entrare anche i più reticenti nell'ottica dell'apprendimento per competenze, nell'ottica della progettazione basata sul lavoro sinergico dei dipartimenti, dei gruppi di classi parallele, delle commissioni, dei consigli di classe fino all'ambizione più ampia e complessa delle reti di scuole sul territorio.

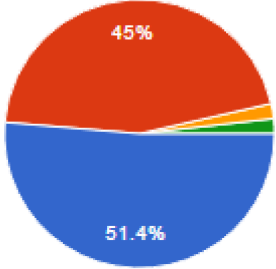
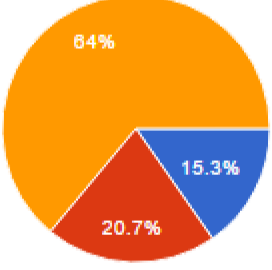

Gli incontri sono stati organizzati secondo la seguente proposta progettuale:

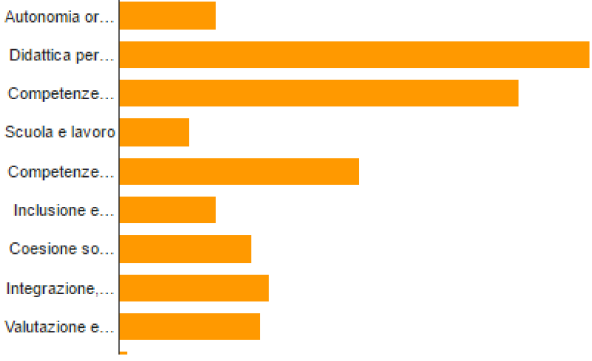
Contenuti	Attività	Tempi
Progettazione e valutazione per competenze: il substrato teorico e culturale	Incontro formalizzato attraverso una didattica interattiva. Sono state ripercorse le tappe culturali che hanno condotto alla teorizzazione della didattica per competenze e le tappe normative. Sono state illustrate le diverse tipologie di valutazione, esempi di curricula verticali e strategie per la realizzazione di un curriculum verticale	(3h)
Progettazione e valutazione per competenze: metodologie didattiche e esempi di attività già realizzate	Incontro formalizzato attraverso attività laboratoriali e didattica peer to peer: sono stati mostrati esempi di progettazioni didattiche per competenze e attività già realizzate ed esempi di curricula verticali	(3h)
Laboratorio sull'utilizzo di	Gli utenti hanno lavorato alla elaborazione di un curriculum verticale	(3h)

metodologie didattiche innovative anche per la didattica inclusiva Promuovere la pratica dell'osservazione reciproca in classe (peer observation)		
Laboratorio per la realizzazione di una unità di competenza, elaborazione prove autentiche e delle corrispondenti rubriche valutative in ambito scientifico – matematico. Analisi di prove INVALSI	Gli utenti hanno lavorato alla progettazione di un curricolo verticale contestualizzandolo all'insegnamento della fisica da sperimentare in aula.	(3h)
Valutazione a medio termine delle attività d'aula e conclusione plenaria del percorso. Diffusione della attività	Incontro destinato all'analisi delle esperienze realizzate durante il percorso attraverso il confronto condiviso per promuovere la pratica dell'osservazione reciproca in classe (peer observation) Sintesi conclusiva	(3h)

Si riportano, di seguito, i risultati di una indagine statistica condotta su un campione di 111 docenti della scuola secondaria di II grado usando lo strumento di indagine “Google Moduli”.

<p>Genere</p> 	<p>Femmina Maschio</p>	<p>86 25</p>	<p>77,5% 22,5%</p>
<p>Età</p> 	<p><35 35-44 45-54 55+</p>	<p>4 13 42 52</p>	<p>3,6% 11,7% 37,8% 46,8%</p>
<p>Numero di anni complessivi nella scuola</p> 	<p>Corrente anno 2-5 anni 6-10 anni Oltre 10 anni</p>	<p>2 12 8 89</p>	<p>1,8% 10,8% 7,2% 80,2%</p>
<p>Anno dell' ultima esperienza di aggiornamento o formazione professionale attuata</p> 	<p>2015-16 2014-15 2013-14 2012-13 2011-12 Antecedente al 2011</p>	<p>90 13 1 1 0 6</p>	<p>81,1% 11,7% 0,9% 0,9% 0 5,4%</p>

<p>Quanto ritieni utile l'attività di aggiornamento/formazione per il tuo lavoro?</p> 	<p>Molto 57 51,4%</p> <p>Abbastanza 50 45%</p> <p>Poco 2 1,8%</p> <p>Per niente 2 1,8%</p>	
<p>Su quale aspetto personale/professionale ritieni sia più utile un intervento di aggiornamento/formazione?</p> 	<p>Relazione (con se stesso, con alunni, coi colleghi) 17 15,3%</p> <p>Conoscenze (disciplinari, sfondi pedagogici, teorie psicologiche) 23 20,7%</p> <p>Saper fare (metodologie, uso strumenti multimediali, valutazione) 71 64%</p>	
<p>Quale modalità formativa preferisci? (max. 2 risposte)</p> 	<p>Formazione in aula con docenti – esperti ed esercitazioni 45 40,5%</p> <p>Formazione in laboratorio con docenti e supporti multimediali 57 51,4%</p> <p>Autoformazione con lettura di materiale librario e/o multimediale 33 29,7%</p>	

	Lezioni frontali con docente-esperto	30	27%
	Attività di autoformazione con colleghi delle stesse discipline	17	15,3%
	Corsi di formazione a distanza	21	18,9%
In quale area ritieni più proficua un'attività formativa (max. 2 scelte)	Autonomia organizzativa e didattica	11	9,9%
	Didattica per competenze e innovazione metodologica	53	47,7%
	Competenze digitali e nuovi ambienti per l'apprendimento	45	40,5%
	Scuola e lavoro	8	7,2%
	Competenze in lingua straniera	27	24,3%
	Inclusione e disabilità	11	9,9%
	Coesione sociale e prevenzione del disagio giovanile	15	13,5%
	Integrazione, competenze di cittadinanza e cittadinanza globale	17	15,3%
	Valutazione e miglioramento	16	14,4%
	Altro	1	0,9%

6 Conclusioni

Gli studi di caso di questa tesi evidenziano come una didattica innovativa possa favorire l'intero processo di insegnamento - apprendimento della fisica.

Inoltre, esercitare buone pratiche sembra essere da stimolo anche per i docenti innescando un circolo virtuoso dei processi di insegnamento/formazione/apprendimento.

È stata condotta una analisi quantitativa dei miglioramenti degli studenti sia in termini di competenze acquisite nel breve periodo, sia in termini di competenze acquisite a distanza temporale di tre mesi confermando alcune teorie su cui è stato incentrato questo lavoro.

Tutte le attività didattiche, svolte in una cornice epistemologica enattiva, hanno messo in evidenza come la destrutturazione di un ambiente di apprendimento basato sulla didattica tradizionale di tipo trasmissivo ha creato le basi per una rivisitazione dell'intero processo di apprendimento della fisica. La successiva ricostruzione di ambienti basati su un apprendimento situato è stata accolta positivamente da studenti e docenti.

Di alcune sperimentazioni è stata condotta soltanto una analisi qualitativa, in termini di miglioramento dell'atteggiamento degli studenti nei confronti della fisica. In tutti i casi, appare evidente l'interesse crescente verso l'insegnamento – apprendimento della disciplina, attraverso la diffusione delle «buone pratiche» attivate, perché gli stessi docenti chiedono spesso di essere formati.

Sono stati condotti, infatti, nel territorio campano, corsi di formazione rivolti ai docenti sulla didattica per competenze, nei tre ambiti di conoscenza, la Conoscenza Pedagogica (Pedagogical Knowledge), la Conoscenza di Contenuti disciplinari (Subject Matter Content Knowledge) e la Conoscenza Curricolare (Curricular Knowledge), che comprende programmi, materiali e strumenti didattici, software (*Shulman*).

Sono state mostrate le attività didattiche svolte in questi tre anni per dare spunto ai docenti su come implementare in classe una efficace azione didattica per competenza, come realizzare un prodotto di intervento, come strutturare una prova autentica.

Queste attività didattiche stanno avendo un prosieguo; infatti, sono in fase di sperimentazione percorsi didattici nella Scuola Primaria e nella Scuola Secondaria di I grado

È attiva una collaborazione col Dipartimento di Matematica dell'Università degli studi di Salerno sul progetto «Liceo Matematico». Tale progetto nasce da una sperimentazione didattica del Dipartimento di Matematica offerta ai Licei che manifestano l'adesione all'idea “Liceo Matematico”. Il progetto si articola in corsi aggiuntivi di approfondimento, in cui si stimola la curiosità dell'alunno verso lo studio della matematica mostrando come essa sia, non solo il linguaggio naturale della fisica, ma abbia forti legami con l'arte, la poesia, la musica ed altri ambiti culturali. Tali corsi di approfondimento sono additivi ai normali corsi scolastici sono finalizzati ad

ampliare la formazione dell'allievo a svilupparne le capacità critiche, l'attitudine alla ricerca scientifica e la sensibilità verso la cultura non settoriale. Tutte le attività vengono svolte in un'ottica di integrazione delle discipline mirando al superamento delle barriere epistemologiche con la scoperta di un nuovo orizzonte unificante dei saperi.

Inoltre, la divulgazione delle buone pratiche ha interessato l'USR Campania che ci ha coinvolto nella progettazione e realizzazione di percorsi di formazione/aggiornamento rivolti ai docenti

È, infine, attiva una collaborazione con l'Istituto Italiano di Valutazione (INVALSI).

Bibliografia

Capitolo 1

Dati Ocse Pisa 2012.

D'Amore B. (2016) *La Matematica e la sua Didattica*. Bologna. Pitagora editrice

Dewey, J. (2007). *Experience and education*. Simon and Schuster.

Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction—a Framework for Improving Teaching and Learning Science¹. In *Science education research and practice in Europe* (pp. 13-37). SensePublishers.

Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1995, April). Educational reconstruction—bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions. In *Annual Meeting of the National Association of Research in Science Teaching (NARST), St. Louis*.

Shulman, S. (1999). *Owning the future*. Houghton Mifflin Co..

Capitolo 2

Alberici, A., Serreri, P. (2009). *Competenze e formazione in età adulta. Il bilancio di competenze: dalla teoria alla pratica*. Roma: Monolite.

Arons, A. B. (1992). *Guida all'insegnamento della fisica*. Bologna: Zanichelli.

Fabri, E., & Wheeler, J. A. (1996). Come introdurre la fisica quantistica nella scuola secondaria superiore. *La Fisica nella Scuola*, XXIX, 63-80.

Feynman, R. P. (1999). *Quantum Electro Dynamics QED*. Adelphi.

Glatthorn, A. A. (1999). Performance standards and authentic learning. *Eye on Education*.

Ministero dell'Istruzione, M. I. U. R. dell'Università e della Ricerca (2012). *Indicazioni nazionali per il curricolo della scuola dell'infanzia e del primo ciclo di istruzione*. *Annali della Pubblica Istruzione*. No. Speciale. http://www.annali.istruzione.it/var/ezflow_site/storage/original/application/55f6425315450eb079ff3e4da917750c.pdf

Moriani O. - Nobel P. - Capone R. - Masi F. (2011) *Fenomeni e idee* – Fratelli Ferraro editori

Pospiech, G., Michelini, M., Stefanel, A., & Santi, L. (2008). Central features of quantum theory in physics education. In *Discussion Workshop B* (pp. 85-87).

Tessaro, F. (2014). Lo sviluppo della competenza. Indicatori e processi per un modello di valutazione. *FORMAZIONE & INSEGNAMENTO. Rivista internazionale di Scienze dell'educazione e della formazione*, 10(1), 105-120.

Capitolo 3

Arzarello F., Robutti O. (2002). *Matematica*. Brescia: La Scuola.

Begg, A. (1999). Enactivism and mathematics education. In *Making the Difference Proceedings of the Twenty-second Annual Conference of The Mathematics Education Research Group of Australasia Incorporated, Adelaide, South Australia*.

Benvenuto G., Di Bucci O., Favilli F., *Le rubriche valutative*

Berthoz, A. (2008). The physiology and phenomenology of action.

Bishop, A. J. (1988). Mathematics education in its cultural context. In *Mathematics education and culture* (pp. 179-191). Springer Netherlands.

Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction* (Vol. 59). Harvard University Press.

Capone R. (2015) – “Valutare per competenze in Matematica e in Fisica” – In Iniziative di formazione docenti nella Scuola Secondaria di Secondo Grado nel Piano Lauree Scientifiche in collaborazione con il MIUR – Regione Campania

Capone R. et al. (2016) “La vicarianza dell'esperienza: cultura umanistica e cultura scientifica tra sapere, azione, e riflessione” (Contributo in atti di convegno, Milano 2016)

Capone R. et al. (2016) *Numero Ergo Sum: a Proposal for the Improvement of Representation Capability* (Contributo in Atti di Convegno, Amburgo 2016)

Collins, A. (1992). Toward a design science of education. In *New directions in educational technology* (pp. 15-22). Springer Berlin Heidelberg.

Collins A., Joseph D. e Bielaczyc K., (2004) Design research: Theoretical and Methodological Issues, «The Journal of Learning Sciences», , n. 1, p. 21

Comoglio, M. (2002). La «valutazione autentica». *Orientamenti pedagogici*, 49(289), 93-112.

Comoglio M.- Cardoso M.A., *Insegnare ed apprendere in gruppo*, LAS, Roma, 1996.

- Cortelazzo, M. A. e Pellegrino, F. (2003). *Guida alla scrittura istituzionale*. GLF Editori Laterza.
- Cortelazzo M.A. e Zolli, (1994) Dizionario etimologico della lingua italiana, Zanichelli
- Cuffari, E. C., Di Paolo, E., & De Jaegher, H. (2015). From participatory sense-making to language: there and back again. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 14(4), 1089-1125.
- D'Amore B. (1999a). *Elementi di didattica della matematica*. Bologna: Pitagora.
- D'Amore B., Fandiño Pinilla M.I., Marazzani I., Santi G., Sbaragli S. (2009). Il ruolo dell'epistemologia dell'insegnante nelle pratiche d'insegnamento. *L'insegnamento della matematica e delle scienze integrate*.
- D'Amore B., Godino D.J., Arrigo G., Fandiño Pinilla M.I. (2003). *Competenze in matematica*. Bologna: Pitagora.
- Damiano E., *La mediazione didattica*, Milano, Franco Angeli, 2013.
- Da Re F., *Matematica per competenze*, PEARSON
- Develay, M. (1992). *l'apprentissage à l'enseignement* [De].
- Dewey, J. (1909). *Moral principles in education*. Houghton Mifflin.
- Di Paolo, E. A. e Thompson, E. (2014). The enactive approach. *The Routledge handbook of embodied cognition*, 68-78.
- Dizionario etimologico della lingua italiana” – Cortelazzo e Zolli – Zanichelli – 1994
- Duit, R. (2006). Science Education Research–An Indispensable prerequisite for improving instructional practice. *ESERA Summer School, Braga*.
- Ernest P., “*Reflections on theories of learning*”, *ZDM*, 38, 1, 2006.
- Gallese V. et al. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119(2), 593-609.
- Holton D., “*Constructivism+Embodied Cognition=Enactivism. Theoretical and practical implications for conceptual change*”, AERA 2010 Conference.
- INVALSI, *Valutare le competenze in scienze, lettura e matematica. Quadro di riferimento di PISA 2006*, Roma 2007.
- Johnson, D.W., Johnson R. e Holubec E., *Apprendimento cooperativo in classe*, Erikson, Trento, 1994
- Jonassen, J. R. (2001). *Leadership: condividere la passione*. Guerini e Associati.

- Laeng, M. (1992). *Pedagogia sperimentale*. Nuova Italia.
- Latour, B. (1987). *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Harvard university press.
- Lave J., Wenger E., *L'apprendimento situato, Dall'osservazione alla partecipazione attiva nei contesti sociali*, Erickson, 2006
- Le Boterf, G. (1994). De la compétence. *Essai sur un attracteur étrange*.
- Levati W., Saraò M., *Il modello delle competenze*, Franco Angeli 1998
- Lewis D., "Objectivism vs Constructivism", EME 6613 Development of technology-based instruction, 2001.
- Li, Q. (2008), "How Enactivism helps reform e-learning", Paper published on the *Asian Women*, 24, 4, 1-20.
- Luhmann, N. (1989). *Ecological communication*. University of Chicago Press.
- Michelini, M., & Stefanel, A. (2004). La formazione in fisica degli insegnanti secondari: problemi, proposte, esperienze. *Formazione iniziale degli insegnanti*, 203-217
- Michelini, M., & Viola, R. (2007). Un laboratorio didattico per future insegnanti di scuola primaria sui nodi di apprendimento dei fenomeni magnetici ed elettromagnetici. In *Atti del XLVI Congresso Nazionale AIF—La Fisica nella Scuola, XL*.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual review of neuroscience*, 24(1), 167-202.
- Morin, E. (1999). La testa ben fatta. *Riforma dell'insegnamento e riforma del pensiero*, 115-117.
- Novak, Joseph D. "L'apprendimento significativo." *Le mappe concettuali per creare e usare la conoscenza*, Erikson, Trento (2001).
- OCDE. (2004). Learning for tomorrow's world: First results from PISA 2003.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OCDE). (2012). *What Kinds of Careers Do Boys and Girls Expect for Themselves?*. OECD Publishing.
- Pellerey M. (2003) *Le competenze individuali e il portfolio*. Firenze: La Nuova Italia,
- Pourtois, Jp. *Some essential characteristics of research action in education*. *Revue de l'Institut de Sociologie* (1981: 555-572

Proulx, J. (2004), "The Enactivist Theory of Cognition and Behaviorism. An Account of the Processes of Individual Sense Making", Proceedings of the Complexity Science and

Educational Research Conference, Canada, 115–120.

Proulx J., "Some differences between Maturana and Varela's theory of cognition and Constructivism", cit. p.15.

Protevi, J. (2006). *A dictionary of continental philosophy*. Yale University Press.

Resnick L.B., Imparare dentro e fuori la scuola, in C. Pontecorvo, A.M. Ajello, C. Zucchermaglio (a cura di), I contesti sociali dell'apprendimento, LED, Milano 1995, pp. 61-81.

Rowlands, M. (2010). *The new science of the mind: From extended mind to embodied phenomenology*. Mit Press.

Sbaragli, S. (2011). Le competenze nell'ambito della matematica. *Difficoltà in matematica*, 7(2), 143-156.

Taylor, P., & Thackwray, B. (2001). *Investors in people explained*. Kogan Page Publishers.

Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1992). La via di mezzo della conoscenza. *Le scienze cognitive alla prova dell'esperienza*, 177.

Von Glasenferd E., *Radical Constructivism: a way of knowing and learning*, London and Washington, Falmer Press, 1995.

Wiggins G., *Educative Assessment: Designing Assessments to Inform and Improve Student Performance*, San Francisco, California, Jossey-Bass Inc., 1998, riportato in traduzione in Comoglio M.,(2002)

Vygotskij, L. S. (1934). 1992. *Pensiero e Linguaggio*.

Vygotskij, L. S. (1990). Immaginazione e creatività nell'età.

Capitolo 4

Bergmann, J., e Sams, A. (2012). *Flip your classroom: Reach every student in every class every day*. International Society for Technology in Education.

Berrett, Dan. "How 'flipping' the classroom can improve the traditional lecture." *The chronicle of higher education* 12 (2012): 1-14.

- Bishop, Jacob Lowell, and Matthew A. Verleger. "The flipped classroom: A survey of the research." ASEE National Conference Proceedings, Atlanta, GA. 2013.
- Deslauriers, L., e Wieman, C. (2011). Learning and retention of quantum concepts with different teaching methods. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 7(1), 010101.
- Kaplan Andreas M., Haenlein Michael (2016) Higher education and the digital revolution: About MOOCs, SPOCs, social media, and the Cookie Monster, Business Horizons, Volume 59
- Prensky, M., Digital Natives, Digital Immigrants, 2001
- Roehl, Amy, Shweta Linga Reddy, and Gayla Jett Shannon. "The flipped classroom: An opportunity to engage millennial students through active learning." *Journal of Family and Consumer Sciences* 105.2 (2013): 44.
- Singh, C., Belloni, M., & Christian, W. (2006). Improving students' understanding of quantum mechanics. *Physics Today*, 59(8), 43.
- Tsaparlis, G., e Papaphotis, G. (2009). High-school Students' Conceptual Difficulties and Attempts at Conceptual Change: The case of basic quantum chemical concepts. *International Journal of Science Education*, 31(7), 895-930.
- Tucker, Bill. "The flipped classroom." *Education Next* 12.1 (2012).
- Woolley, A. W., Chabris, C. F., Pentland, A., Hashmi, N., & Malone, T. W. (2010). Evidence for a collective intelligence factor in the performance of human groups. *science*, 330(6004), 686-688.
- Barbier, R. (2008). *La ricerca-azione*. Armando Editore.
- Becchi E. (1992), *Ricerca- azione: Riflessioni su voci di dizionari, annuali, enciclopedie, " Scuola e città"*
- Cambi F. (2004), *La ricerca-azione*, Bellaria, IRRE Emilia- Romagna.
- Capone R. et al. (2015) – "*Circuiti, solidi platonici e simmetrie con Geogebra: una proposta interdisciplinare per la scuola secondaria di II grado*" – Atti Convegno DIFIMA 2015
- Capone R. et al. (2015) "*The role of symmetry in finding the equivalent resistance of regular networks*" *Atti convegno GIREP*

- Capone R. et al. (2014) “*Resistenze e simmetrie: dalle reti infinite ai solidi platonici*”
– In “La Fisica nella Scuola”
- Coonan C. (2001), *La ricerca azione*, Venezia, Università Ca' Foscari.
- D'Amore B. (2000) "La Didattica della Matematica alla svolta del millennio: radici, collegamenti e interessi." *La matematica e la sua didattica*".
- Duval R. (1993). Registres de Représentations sémiotiques et Fonctionnement cognitif de la Pensée. *Annales de didactique et de sciences cognitives*. 5. p. 37-65
- Fishbein E. (1993) "The theory of figural concepts." *Educational studies in mathematics*
- Lave J., Wenger E. (1990), *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*, Cambridge University Press.
- Lave J., Wenger E. (2006), *L'apprendimento situato, Dall'osservazione alla partecipazione attiva nei contesti sociali*, Erickson.
- Losito B., Pozzo G. (2005), *Una strategia per il cambiamento*, Roma, Carocci.
- Mariotti, M. A., Fischbein E. (1997): "Defining in classroom activities." *Educational Studies in Mathematics*
- Olivero, F., D. Paola, and O. Robutti. (2001): "Approaching theoretical thinking within a dynamic geometry environment." *L'educazione matematica* 3.3 127-148.
- Pellerey M. (2003) "Matematica per competenze."
- Pourtois, J. P. (1981). Organisation interne et spécifique de la recherche-action en éducation. *Les sciences de l'éducation*, 2-3.
- Pozzo G., Zappi L. (1993), *La ricerca-azione*, Torino, Bollati Boringhieri.
- Pozzo G., et al. (1990), *Esperienze di ricerca-azione*, “Lend”, , a.XIX, n.1-2, pp-96-107.
- Pozzo G. (a cura di) (1998) *Insegnando s'impara, ricerca-azione in classe e sviluppo professionale dell'insegnante*, Torino, IRRSAE Piemonte.
- Scurati C., Zanniello G. (a cura di), *La ricerca-azione. Contributi per lo sviluppo educativo*. Napoli, Tecnodid, 1993.
- Tessaro, F. (2002). *Metodologia e didattica dell'insegnamento secondario*. Armando Editore.
- Van Steenwijk F.J. (1998) Articolo pubblicato *Am. J. Phys.* 66(1).

Articolo (2003) - B. Bapat, Ivan Gutman, and Wenjun Xiao pubbl. *Naturforsch*, 58a 494-498

Varela F. J. (1992), *Un know-how per l'etica*, Il Saggiatore, Roma – Bari.

Zanniello G. (2004), *Lo statuto della ricerca-azione*, Rimini, IRRE Emilia- Romagna.

Ackermann, E. (2001). Piaget's constructivism, Papert's constructionism: What's the difference. *Future of learning group publication*, 5(3), 438.

Croce, M., e Gnemmi, A. a cura di (2003). *Peer Education. Adolescenti protagonisti nella prevenzione*.

Csikszentmihalyi, M. (2014). *Toward a psychology of optimal experience* (pp. 209-226). Springer Netherlands.

Dewey, J. (2007). *Experience and education*. Simon and Schuster.

Harel, I. E., e Papert, S. E. (1991). *Constructionism*. Ablex Publishing.

Kaye, A. R. (Ed.). (2012). *Collaborative learning through computer conferencing: the Najaden papers* (Vol. 90). Springer Science & Business Media.

Jonassen, D. H., Peck, K. L., & Wilson, B. G. (1999). Learning with technology: A constructivist perspective.

Papert, S., e Harel, I. (1991). Situating constructionism. *Constructionism*, 36(2), 1-11.

Papert, S. (1990). Constructionist learning. *A 5th Anniversary Collection of Papers, Reflecting Report Research, Projects in Progress, and Essays by the Epistomology. – Cambridge: Learning group MIT Media Laboratory*, 3.

Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*, Basic Books, New York.

Piaget, J. (2011). *Psicologia dell'intelligenza*. Giunti Editore.

Vygotskij, L. S. (1962). *Thought and Language*. MIT Press.

Bybee, R. W. (Ed.). (1989). *Science and technology education for the elementary years: Frameworks for curriculum and instruction*. Andover, MA: The Network

Driver, R. (1985). *Children's ideas in science*. McGraw-Hill Education (UK).

Linn, M. C., Davis, E. A., & Bell, P. (2004). Inquiry and technology. *Internet environments for science education*, 3-28.

- McDermott, L. C. (1993). Guest Comment: How we teach and how students learn—A mismatch?
- McKeachie, W. J. (1997). Student ratings: The validity of use.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. J. (1998). Learning science through models and modelling. *International handbook of science education*, 2, 53-66.
- National Research council. (1996). *National science education standards*. National Academies Press.
- Ritchie, J., Lewis, J., Nicholls, C. M., & Ormston, R. (Eds.). (2013). *Qualitative research practice: A guide for social science students and researchers*. Sage.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). Rocard report: Science education now: a new pedagogy for the future of Europe. *EU 22845, European Commission*.
- Viennot, L. (1995). The Contents of Physics. In *Thinking Physics for Teaching* (pp. 67-76). Springer US.
- Viennot, L. (2003). *Teaching physics*. Springer Science & Business Media.
- Vygotskij, L.S. (1934). Apprendimento e sviluppo intellettuale nell'età scolastica.
- Bartolini Bussi M. G. & Mariotti M. A. (2008), Semiotic mediation in the mathematics classroom: Artifacts and signs after a Vygotskian perspective, in L. English (ed.), *Handbook of International Research in Mathematics Education* (second edition), Routledge.
- Bern, M. W., & Graham, R. L. (1989). The shortest-network problem. *Scientific American*, 260(1), 84-89.
- Dale, E. (1969). *Audiovisual methods in teaching*.
- D'Amore, B. (2000). La Didattica della Matematica alla svolta del millennio: radici, collegamenti e interessi. *La matematica e la sua didattica* 3: 407-422.
- Dewey, J. (2007), *Democracy and Education*, Teddington: Echo Library.
- Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61, 103-131.
- Feynman, R. D., (2006), *QED, The strange theory of light and matter*, Princeton science library.

Fishbein E. (1993) "The theory of figural concepts." *Educational studies in mathematics*.

Kourant R., Robbins H. (1941). What is Mathematics, Oxford University Press.

Lave, J., & Wenger, E. (2006). *L'apprendimento situato. Dall'osservazione alla partecipazione attiva nei contesti sociali*. Edizioni Erickson.

Mushkarov, O. (2010). "Alla ricerca dei cammini minimi", http://www.math2earth.v3d.sk/publications/08_In%20search%20of%20shortest%20paths.pdf

Pellerey, M. (2005). Verso una nuova metodologia di ricerca educativa: la Ricerca basata su progetti (Design-Based Research). *Orientamenti pedagogici* 52.5: 721-737.

Radford, L. (1997). On psychology, historical epistemology, and the teaching of mathematics: Towards a socio-cultural history of mathematics. *For the learning of mathematics*, 17(1), 26-33.

Tornatore, L. (1974), *Educazione e conoscenza*, Loescher.

Al – Khalili J., (2012) “La fisica del diavolo”, Torino

Barrett, H. (2005). Storytelling in higher education: A theory of reflection on practice to support deep learning. In *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (Vol. 2005, No. 1, pp. 1878-1883).

Bruner, J. (2010). Narrative, culture, and mind. *Telling stories: Language, narrative, and social life*, 45-49.

Di Battista L., Morgese F. (2012) Il racconto della scienza: digital storytelling in classe, Armando editore

Kakalios J (2007) La fisica dei supereroi, Einaudi

Kelley, M., & Haber, J. (2006). National Educational Technology Standards for Students (NETS* S): Resources for assessment. *Eugene: The International Society for Technology and Education*.

Petrucco, C., & De Rossi, M. (2009). *Narrare con il digital storytelling a scuola e nelle organizzazioni*. Carocci.

Robin, B., & Pierson, M. (2005). A multilevel approach to using digital storytelling in the classroom. *Technology and Teacher Education Annual*, 2, 708.

Sadik, A. (2008). Digital storytelling: A meaningful technology-integrated approach for engaged student learning. *Educational technology research and development*, 56(4), 487-506.

Brown, R. (1827). A brief account of microscopical observations made in the months of June, July and August, 1827, on the particles contained in the pollen of plants; and on the general existence of active molecules in organic and inorganic bodies. *Philosophical Magazine* N. S. 4 ,161-173, 1828.

Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) (2010), "Indicazioni nazionali riguardanti gli obiettivi specifici di apprendimento concernenti le attività e gli insegnamenti compresi nei piani degli studi previsti per i percorsi liceali di cui all'articolo 10, comma 3, del DPR 15 marzo 2010, n. 89."

Dore Romagnino C, Loy L. (1988). Lo studio del moto browniano: un esame della prima teoria di Einstein sull'argomento. *Sezione A.I.F. di Cagliari*

Einstein, A. (1906). On the theory of the Brownian movement. *Annalen der physik* 4.19: 371-381.

Fosnot, C. T., (2005). *Constructivism: Theory, Perspectives and Practices*, Columbia University, New York and London 2005.

Gilster, P. (1997). Digital Literacy. *John Wiley & Sons*, New York.

Langevin, P. (1908). On the Theory of Brownian Motion. ["Sur la théorie du mouvement brownien. *C. R. Acad. Sci. (Paris)* 146, 530–533.

Lavenda, B. H. (1983). Il moto browniano da Einstein a oggi. *Scientific American* n. 174 vol. XXX.

Perrin, J. (1908). L'agitation moléculaire et le mouvement brownien. *Comptes rendus*, 146: 967-970.

Resnick, Lauren B. (1987). Education and learning to think. *National Academies*.

<http://tnt.phys.uniroma1.it/twiki/pub/TNTgroup/AngeloVulpiani/brown.pdf>