

Esperienza e matematica in Leonardo

Davide Pietrini e Gino Tarozzi
Dipartimento di Scienze pure e applicate
Università di Urbino Carlo Bo

1. Matematica ed esperienza: la sintesi tra istanza empirica e razionale nella rivoluzione intellettuale di Galileo e le sue radici nell'umanesimo matematico

Numerosi studi tendono sempre più a confermare l'idea che la rivoluzione intellettuale di Galileo Galilei, con i suoi antecedenti nella cultura rinascimentale italiana, abbia svolto un ruolo centrale nel complesso sviluppo che ha portato alla nascita della scienza moderna¹. Secondo Paolo Rossi e Charles Schmitt, Galileo riuscì con successo ad armonizzare, in una perfetta sintesi, diverse tradizioni: la visione platonica del mondo, inteso come entità «matematicamente strutturata», la distinzione aristotelica fra «metodo compositivo e risolutivo», l'applicazione archimedeica della matematica alla fisica e la tradizione ingegneristica dei tecnici². Una novità della sintesi galileiana, che intendiamo porre in evidenza, sta nel fatto che l'elemento razionale, identificato con l'uso della matematica, non viene più applicato al mondo delle idee o a quell'iperuranio delle «sustanze lontanissime e celesti», ma al mondo delle «sustanze prossime elementari». L'uso della metafisica platonica per l'indagine del mondo terrestre comporta la rinuncia a «tentare l'essenza», ma non a una conoscenza certa dei fenomeni, quelli che René Descartes chiamerà qualità primarie. La fisica si trasforma dunque in una nuova metafisica, sia pure di stampo antiessenzialistico, in cui la nozione di realtà viene applicata alle proprietà prevedibili attraverso leggi matematiche rigorosamente causali.

Secondo Galileo, indagando i fenomeni naturali, è possibile conoscere le leggi matematiche che governano la natura. Queste «sustanze prossime elementari», a differenza delle Sacre Scritture che sono state dettate dallo Spirito Santo in un modo tale da accomodare il «vero assoluto» «all'intendimento universale», custodiscono il Verbo divino nella sua immutabilità ad inesorabilità. Vi è pertanto una differenza fondamentale tra la Bibbia e la natura: il testo biblico, scritto per il volgo con parole che possono avere significati diversi, può essere frainteso, mentre la natura, dettata direttamente da Dio, se ben indagata rivela il vero assoluto. Per Galileo, ed è questo il fondamentale apporto della sua scienza alla rivoluzione scientifica, noi possiamo avere accesso alle leggi che governano la natura mediante «sensata esperienza [che] ci pone [gli effetti naturali] dinanzi agli occhi o le necessarie dimostrazioni ci concludono»³.

Procedendo di pari dal Verbo divino la Scrittura Sacra e la natura, quella come dettatura dello Spirito Santo, e questa come osservantissima esecutrice de gli ordini di Dio; ed essendo, di più, convenuto nelle Scritture, per accomodarsi all'intendimento dell'universale, dir molte cose

¹ W. R. SHEA, *Galileo's Intellectual Revolution*, London, Macmillan Press, trad. it. di P. GALLUZZI, *La rivoluzione intellettuale di Galileo*, Firenze, Sansoni, 1974; P. ROSSI, *La nascita della scienza moderna in Europa*, Roma-Bari, Laterza, 2005; R. HALL, *Da Galileo a Newton (1630-1720)*, Milano, Feltrinelli, 1973.

² P. ROSSI, *La scienza e la filosofia dei moderni. Aspetti della rivoluzione scientifica*, Torino, Bollati Boringhieri, 1989, pp. 111-113. C. Schmitt, *Experience and Experiment: a Comparison of Zabarella's View with Galileo's in De Motu*, in «Studies in the Renaissance», XVI, 1969, pp. 80-138.

³ G. GALILEI, *Lettera a Madama Cristina di Lorena Granduchessa (1615)*, in A. FAVARO (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei*, Vol. V, Firenze, Tipografia di Barbera, 1898, pp. 316-317. Sul tema si veda anche P. ROSSI, *La scienza e la filosofia dei moderni. Aspetti della rivoluzione scientifica*, Torino, Bollati Boringhieri, 1989, pp. 67-89.

diverse, in aspetto e quanto al nudo significato delle parole, dal vero assoluto; ma, all'incontro, essendo la natura inesorabile ed immutabile, e mai non trascendente i termini delle leggi impostegli, come quella che nulla cura che le sue recondite ragioni e modi d'operare sieno o non sieno esposti alla capacità degli uomini; pare che quello degli effetti naturali che o la sensata esperienza ci pone dinanzi a gli occhi o le necessarie dimostrazioni ci concludono, non debba in conto alcuno esser revocato in dubbio, non che condannato, per luoghi della Scrittura che avessero nelle parole diverso sembiante; poi che non ogni detto della Scrittura è legato a obblighi così severi com'ogni effetto di natura, né meno eccellentemente ci si scuopre Iddio negli effetti di natura che ne' sacri detti delle Scritture.⁴

La natura non è però da tutti decifrabile, ma solo da chi è in grado di comprendere la «lingua matematica» in cui è scritta, i cui caratteri «son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche». Le sensate esperienze di Galileo permettono la raccolta dei dati impiegabili negli esperimenti mediante i quali la natura viene investigata ed interrogata e non semplicemente osservata, come nella scienza antica⁵. Le «sensate esperienze» e le «necessarie dimostrazioni» consentono, secondo Galileo, di indagare la natura cogliendone l'essenza.

La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto dinanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscere i caratteri ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi [sic] è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto.⁶

Tuttavia, l'uomo non può conoscere il libro della natura nella sua completezza, come Dio lo conosce direttamente e immediatamente («extensive»), ma solo in minima parte («intensive») combinando le sensate esperienze e le certe dimostrazioni; di questa minima parte però può avere una conoscenza certa e necessaria.

L'intendere si può pigliare in due modi, cioè *intensive*, o *extensive*: e che *extensive*, cioè quanto alla moltitudine degli intelligibili, che sono infiniti, l'intender umano è come nullo, quando bene egli intendesse mille proposizioni, perché mille rispetto all'infinità è come un zero; ma pigliando l'intendere *intensive*, in quanto cotal termine riguarda perfettamente qualche proposizione, dico che l'intelletto umano ne intende alcune così perfettamente, e ne ha così assoluta certezza, quanto se n'abbia l'istessa natura divina; e tali sono le scienze matematiche pure, cioè la geometria e l'aritmetica, delle quali l'intelletto divino ne sa bene infinite proposizioni di più, perché le sa tutte, *ma di quelle poche intese dall'intelletto umano credo che la cognizione agguagli la divina nella certezza obiettiva, poiché arriva a comprenderne la necessità, sopra la quale non par che possa esser sicurezza maggiore.*⁷

Questa coesistenza ed equilibrio delle due istanze galileiane, cioè l'esperimento, che corrisponde all'idea di sensata esperienza, e la matematica, ha un'importante matrice, come è stato mostrato dagli studi pionieristici di Paul Lawrence Rose, Enrico Gamba e Vico Montebelli, nell'umanesimo matematico di Federico Commandino e della sua scuola. Tra i più importanti allievi non possiamo fare a meno di ricordare il matematico Guidobaldo del Monte, il poliedrico

⁴ G. GALILEI, *Lettera a Madama Cristina di Lorena Granduchessa (1615)*, in A. FAVARO (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei*, Vol. V, Firenze, Tipografia di Barbera, 1898, pp. 316-317.

⁵ Nella scienza antica la natura veniva osservata, perché provare a riprodurla, mediante esperimenti, sarebbe stato un atto di *hybris*, come nel caso di Prometeo o di Dedalo e Icaro. Sul tema si veda per esempio E. J. DIJKSTERHUIS, *Il meccanicismo e l'immagine del mondo. Dai presocratici a Newton*, Milano, Feltrinelli, 1980.

⁶ G. GALILEI, *Il Saggiatore*, O. BESOMI e M. HELBING (a cura di), *Medioevo e Umanesimo 105*, Roma-Padova, Editrice Antenore, 2005, pp. 119-120.

⁷ G. GALILEI, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo (1632)*, in A. FAVARO (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei*, Vol. VII, Firenze, Tipografia di Barbera, 1897, pp. 128-129, corsivo nostro.

Bernardino Baldi e l'architetto Muzio Oddi⁸. Il grande ruolo di Commandino nella rinascita degli studi matematici fu la sua vasta attività di traduttore delle opere dei matematici dell'epoca greco-ellenistica. Tra le tante traduzioni, ricordiamo gli *Elementi* di Euclide e *Sui corpi galleggianti* di Archimede⁹. Il più importante degli allievi di Commandino fu Guidobaldo del Monte, il quale nel 1577 pubblicò a Pesaro il *Mechanicorum Liber*, il primo testo a stampa integralmente dedicato alla meccanica¹⁰. Nel *Mechanicorum Liber* Guidobaldo utilizza ampiamente il contenuto matematico dei classici per dimostrare nuovi teoremi riguardanti il funzionamento geometrico e le applicazioni delle cinque macchine semplici (bilancia, asse della ruota, carrucola, cuneo e vite), riducendo queste ultime al principio della leva. Guidobaldo fu anche amico e primo sostenitore di Galileo. Quest'ultimo riteneva Guidobaldo tra i suoi migliori maestri, soprattutto per la felice integrazione che il pesarese seppe realizzare tra la tradizione delle matematiche e la tradizione delle arti meccaniche. La fabbricazione degli strumenti, grazie in particolare alla bottega dei Barocci, aveva raggiunto nel Ducato di Urbino uno stadio molto avanzato, soprattutto in riferimento alla costruzione di orologi e di strumenti scientifici di straordinaria sensibilità e precisione. Tuttavia, la scuola commandiniana deve essere a sua volta collocata all'interno di un più generale percorso di consapevolezza dell'importanza pratica e sociale delle *discipline mathematiche*, percorso che affonda le sue radici nella cultura rinascimentale, di cui Leonardo da Vinci è stato una delle massime espressioni¹¹.

La storiografia ha convenzionalmente individuato il termine ultimo del lento e complesso processo che ha caratterizzato la rivoluzione scientifica nei *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* di Isaac Newton¹². Newton, nella fondazione della meccanica classica, astrarrà dall'estensione dei corpi, che costituiva l'assunto fondamentale della fisica cartesiana, identificandoli (o meglio identificando i loro baricentri) con punti massa. Tali punti massa, che Newton definisce come *quantitas materiae*, vengono collocati all'interno dello spazio assoluto, vero e matematico, al quale viene riconosciuta una ontologia primaria rispetto ai corpi in esso contenuti. Se per Gottfried Wilhelm Leibniz lo spazio non è altro che la relazione che si stabilisce tra almeno due o più corpi, per Newton i corpi non possono essere neppure concepiti se non si assume l'esistenza prioritaria dello spazio. In tutte le edizioni dei *Principia*, le dimostrazioni sono geometriche: curiosamente Newton non fece ricorso alla nuova nozione infinitesimale di flusso (che in termini moderni è la derivata rispetto al tempo) da lui stesso introdotta¹³.

Alla fine del XVII fino all'inizio del XX secolo con l'opera di Newton prima e poi di James Clerk Maxwell, il baricentro della ricerca scientifica si sposterà in Inghilterra, ma è altrettanto vero che ciò non accadde nella fase iniziale della rivoluzione scientifica in concomitanza con la svolta empiristica baconiana, come ha per anni sostenuto una certa storiografia della scienza non solo anglosassone, quando Francis Bacon sferrava una dei più importanti colpi alla scienza libresco e delle autorità, rivendicando la base empirica della conoscenza. Tuttavia, come è noto, la centralità baconiana dell'esperienza coglie solo in modo parziale questo aspetto della nuova scienza, dato che esso si colloca all'interno di una prospettiva legata essenzialmente alla raccolta e alla

⁸ P. L. ROSE, *The Italian Renaissance of Mathematics: Studies on Humanists and Mathematicians from Petrarch to Galileo*, Geneva, Librairie Droz, 1975; E. GAMBA e V. MONTEBELLI, *Le scienze a Urbino nel Tardo Rinascimento*, Urbino, Edizioni QuattroVenti, 1988.

⁹ F. COMMANDINO, *Euclidis Elementorum libri XV, una cum scholiis antiquis*, Pisauri, Camillum Francischinum, 1572; F. COMMANDINO, *Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo*, Bononiae, Alexandri Benacii, 1565.

¹⁰ GUIDOBALDO DEL MONTE, *Mechanicorum Liber*, Pisauri, Hieronymum Concordiam, 1577.

¹¹ Le *discipline mathematiche* comprendevano tutte quelle arti che avevano a che fare con la matematica. Queste erano tradizionalmente distinte in pure, se si occupavano di cose intelligibili (come ad es. aritmetica e geometria), e miste, se il loro ambito di applicazione era la materia (come ad es. ottica, meccanica, astrologia, musica, geodesia, l'arte di fare i conti). Sul tema si veda E. GAMBA e V. MONTEBELLI, *Le scienze a Urbino nel Tardo Rinascimento*, Urbino, Edizioni QuattroVenti, 1988, pp. 35-39.

¹² I. NEWTON, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, London, Benjamin Motte, 1687.

¹³ Sul tema si veda anche A. FOLIGNO, *The Point Mass as a Model for Epistemic Representation. A Historical & Epistemological Approach*, Ph.D. Tesis, Supervisor: Vincenzo Fano, Università di Urbino, 2016/2017.

generalizzazione dei dati, senza prevedere l'uso dell'esperimento e quindi di un ruolo attivo da parte dell'esaminatore. Nel nuovo modo di fare scienza, ereditato dalla rivoluzione scientifica, la natura non viene più semplicemente osservata ma interrogata, superando quel pregiudizio epistemologico che aveva impedito la nascita della scienza, almeno come la intendiamo oggi, nel mondo antico. Il limite dell'empirismo baconiano può essere individuato nella mancata comprensione del ruolo della matematica, poiché quest'ultima non assume nella sua concezione rigidamente empiristica alcun ruolo particolare. Il richiamo di Bacon all'esperienza come fondamento della conoscenza, in contrapposizione alla tradizione, al principio di autorità e al sapere libresco appare già perfettamente e compiutamente presente nell'opera di Leonardo, il quale tuttavia, considerando la scienza come un'impresa soggettiva e personale, non aveva pubblicato i risultati delle sue ricerche¹⁴.

2. Il metodo di Leonardo e la sua intuizione del duplice fondamento della scienza

Leonardo da Vinci trascorse la sua giovinezza a stretto contatto con il nonno paterno. Successivamente, all'età di circa 17 anni, fu avviato alla bottega di Andrea del Verrocchio a Firenze presso la quale imparò le arti e le tecniche della pittura e della scultura. Da autodidatta e grazie all'aiuto di alcuni illustri amici, Leonardo apprese tardivamente i rudimenti della geometria e della lingua latina.¹⁵ Potremmo quindi collocare Leonardo in quella variegata categoria sociale per la quale Carlo Maccagni ha introdotto la definizione di «strato culturale intermedio»¹⁶. Nonostante non avesse mai avuto particolare dimestichezza con l'aritmetica né con le dimostrazioni matematiche e neppure quella formazione umanistica che era indispensabile per accedere alla letteratura matematica antica, Leonardo non si limitò a sostenere l'assoluta priorità del ruolo dell'esperienza rispetto alla tradizione, al principio di autorità e al sapere libresco, come avrebbe fatto più tardi Bacon, ma fu tra i primi a intuire e a sottolineare la funzione che la matematica avrebbe potuto rivestire nei confronti dello studio e dell'indagine della natura e nella descrizione dei suoi fenomeni. Nella sua sete pervasiva di conoscenza, Leonardo riuscì a intuire l'importanza della scienza di Archimede, nella quale la matematica veniva applicata alla descrizione del mondo fisico e alla costruzione di ingegnose macchine, attività alla quale Leonardo diede un contributo straordinario. Questo rapporto di Leonardo con la tradizione matematica antica, seppure in gran parte confinato nei suoi manoscritti, ci consegnano un artista-scienziato in grado di superare la contrapposizione medievale tra arti meccaniche (non ancora matematizzate) e arti liberali, anticipando il processo di fondazione della scienza moderna.

¹⁴ G. TAROZZI, *Introduzione*, in E. PEDRETTI, *Leonardo da Vinci. Studi di ottica & geometria. Tre casi*, Poggio a Caiano, CB Edizioni, 2018, pp. 11-15.

¹⁵ Egli stesso si definiva «omo senza lettere», LEONARDO DA VINCI, *Codice Atlantico*, folio 327v (<https://www.leonardodigitale.com/sfoglia/codice-atlantico/0327-v/>, consultato il 15/07/2020).

I manoscritti di Leonardo sono consultabili online grazie all'archivio digitale curato dalla Biblioteca Leonardiana (<https://www.leonardodigitale.com/>).

Ricordiamo in particolare l'importanza della figura di Luca Pacioli per l'apprendimento della matematica da parte di Leonardo (sul tema si vedano per esempio gli atti del convegno internazionale che si è tenuto il 13 e 14 giugno 2019 a Sansepolcro, *Arte e matematica in Luca Pacioli e Leonardo da Vinci*, M. MARTELLI (a cura di), Biblioteca del Centro Studi "Mario Pancrazi", Edizioni Nuova Prhomos, 2020, testo disponibile online

<https://www.centrostudimariopancrazi.it/images/publicazioni/arte-e-matematica-in-luca-pacioli-e-leonardo-da-vinci/Arte-e-Matematica%20in-Luca-e-Leonardo-ATTI.pdf>, consultato il 15/07/2020). Su Leonardo e la lingua si veda

per esempio M. BIFFI, *Tra tradizione e innovazione: Leonardo e le parole*, Istituto della Enciclopedia Italiana, Treccani, 27 maggio 2019, e la relativa bibliografia

(http://www.treccani.it/magazine/lingua_italiana/speciali/Leonardo/Biffi.html, consultato il 15/07/2020).

¹⁶ C. MACCAGNI, *Leggere, scrivere e disegnare la «scienza volgare» nel Rinascimento*, Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa. Classe di Lettere e Filosofia, Serie III, Vol. 23, No. 2, 1993, pp. 631-675: «Riassumendo, lo strato culturale intermedio tra i dotti e gli analfabeti appare caratterizzato dalla capacità di esprimersi nelle forme del volgare parlato sia per messo della scrittura, individuata nella mercantesca, sia del disegno, e dal ricorso abituale al procedimento analogico che appare essere la conseguenza tanto del curriculum scolastico che dell'apprendistato», p. 646.

Scienza è detto quel discorso mentale il quale ha origine da' suoi ultimi principi, de' quali in natura nell'altra cosa si può trovare che sia parte di essa scienza, come nella qualità continua, cioè la scienza di geometria, la quale, cominciando dalla superficie de' corpi, si trova avere origine nella linea, termine di essa superficie; ed in questo non restiamo soddisfatti, perché noi conosciamo la linea aver termine nel punto, ed il punto esser quello del quale null'altra cosa può esser minore. Adunque il punto è il primo principio della geometria, e niuna altra cosa può essere né in natura, né in mente umana, che possa dar principio al punto.¹⁷

Sebbene Leonardo rivendichi l'importanza e la centralità della matematica nell'indagine della natura, come nella nota affermazione secondo la quale «nessuna umana investigazione si può dimandare vera scienza, se essa non passa per le matematiche dimostrazioni; e se tu dirai che le scienze, che principiano e finiscono nella mente, abbiano verità, questo non si concede, ma si nega per molte ragioni; e prima, che in tali discorsi mentali non accade esperienza, senza la quale nulla dà di sé certezza»¹⁸, i suoi appunti rivelano in più luoghi l'infallibilità dell'esperienza, che lo portano a sostenere la necessità e la priorità sopra a ogni altra istanza, di un'osservazione diretta della natura, come appare da altrettanti celebri passi:

La sapienza è figliola dell'esperienza.¹⁹

E' piu sicuro andare alle cose naturali, che a quelle d'esso naturale con gran peggioramento imitate, e fare tristo abito, perché chi po andare alla fonte non va al vaso.²⁰

A me pare che quelle scienze sieno vane e piene d'errori le quali non sono nate dall'esperienza, madre d'ogni certezza.²¹

Nonostante la straordinariamente moderna intuizione della necessità della matematica per investigare la natura, per Leonardo è l'esperienza, «madre d'ogni certezza», che preserva le scienze dall'errore. Tuttavia, la sua posizione appare altalenante nei suoi scritti, in quanto sembra oscillare tra una fondazione empiristica della scienza, quando sostiene l'infalibilità dell'esperienza, e razionalistica, quando afferma che senza matematica non si dà scienza. Probabilmente questa incoerenza, che emerge dai manoscritti di Leonardo, può essere dovuta al fatto che nel corso del tempo i suoi lavori sono stati oggetto di furti, di dispersione e di arbitraria catalogazione, tanto che fino a qualche anno fa risultava difficile collocarli secondo una corretta cronologia. Solo recentemente gli studiosi sono riusciti a datare correttamente gran parte dei suoi scritti.

La piena portata del metodo di Leonardo è venuta in luce solo di recente grazie a una precisa datazione dei suoi appunti, che oggi permette di seguire l'evoluzione delle sue idee e delle sue tecniche. [...] Grazie a quest'opera meticolosa, compiuta per alcuni decenni sotto la direzione di Carlo Pedretti, tutti i manoscritti di Leonardo sono stati pubblicati in edizioni in facsimile, accompagnate da versioni trascritte e annotate dei testi originali. I passi risalenti a periodi diversi della vita.²²

¹⁷ LEONARDO DA VINCI, *Libro di pittura di M. Leonardo da Vinci pittore*, folio 1r
(<https://www.leonardodigitale.com/sfoglia/libro-di-pittura/0001-r/>, consultato il 15/07/2020).

¹⁸ LEONARDO DA VINCI, *Libro di pittura di M. Leonardo da Vinci pittore*, folio 1v
(<https://www.leonardodigitale.com/sfoglia/libro-di-pittura/0001-v/>, consultato il 15/07/2020).

¹⁹ LEONARDO DA VINCI, *Codice Forster III*, folio 14r
(<https://www.leonardodigitale.com/sfoglia/codice-forster-III/0014-r/>, consultato il 15/07/2020).

²⁰ LEONARDO DA VINCI, *Codice Atlantico*, folio 534v
(<https://www.leonardodigitale.com/sfoglia/codice-atlantico/0534-v/>, consultato il 15/07/2020).

²¹ LEONARDO DA VINCI, *Libro di pittura di M. Leonardo da Vinci pittore*, folio 19r
(<https://www.leonardodigitale.com/sfoglia/libro-di-pittura/0019-r/?term=bWFkcmU=&exactTerm=0>, consultato il 15/07/2020).

²² F. CAPRA, *La scienza universale. Arte e Natura nel genio di Leonardo*, Milano, Rizzoli, 2007, pp. 228-229.

Questa possibilità di definire correttamente la cronologia dei suoi appunti potrebbe aiutarci anche a capire maggiormente l'evoluzione del suo pensiero, soprattutto in quegli ambiti delle scienze fisico matematiche in cui c'è ancora molto da fare.

3. Intuizioni leonardiane sulla via della fisica moderna

Dire che alcune idee di Leonardo hanno aperto la strada alla rivoluzione scientifica è storicamente inesatto, perché almeno fino al Settecento rimasero confinate nei suoi taccuini dispersi nelle biblioteche private²³. Quelle di Leonardo sono geniali intuizioni che ancora oggi non mancano di stupirci e meravigliarci per la loro fecondità. Sebbene i pensieri del genio toscano non furono curati e alimentati dai suoi successori, nei manoscritti possiamo intravedere alcune intuizioni che ricordano le successive conquiste della rivoluzione scientifica. Per esempio l'appunto di Leonardo

Prima farò alcuna esperienza, avanti ch'io più oltre proceda, perchè mia intenzione è allegare prima la speranza e po' colla ragione dimostrare perché tale esperienza è costretta in tal modo ad operare; e questa è la vera regola come gli speculatori delli effetti naturali hanno a procedere.²⁴

ricorda il metodo scientifico di Galileo basato sulle sensate esperienze.

Un'altra analogia può essere individuata tra la riflessione leonardiana

Vedi l'alie percosse contro all'aria far sostenere la pesante aquila sulla suprema sottile aria [...].Tanta forza si fa colla cosa in contro all'aria, quanto l'aria in contro alla cosa.²⁵

e la III legge del moto di Newton, il celebre principio di azione e reazione, formulato nei *Principia*:

Actioni contrariam semper et equalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.²⁶

4. Macchine e strumenti di Leonardo

Un altro aspetto per il quale Leonardo viene considerato uno tra i più importanti anticipatori della rivoluzione scientifica è il suo ruolo nella ideazione e progettazione di strumenti e macchine, le quali giocheranno un ruolo decisivo nel processo che avrebbe portato alla nascita della scienza moderna. Lo strumento, infatti, non consentiva soltanto il potenziamento dei sensi e soprattutto della vista, come nel caso del cannocchiale di Galileo, ma era emblema della sintesi tra matematica ed esperienza. I procedimenti di misurazione permettevano la quantificazione dell'esperienza attraverso l'applicazione delle leggi matematiche e mediante l'attribuzione di valori numerici a proprietà osservabili in rapporto alla loro evoluzione temporale. Se confrontiamo i due compassi disegnati da Leonardo nel *Manoscritto H* (Fig. 1) – manoscritto datato 1493-1494 – con il compasso oggetto del trattato *Fabbrica et uso del Compasso Polimetro* (1633) del matematico

²³ C. PEDRETTI e M. CIANCHI, *Leonardo. I codici*, Art e dossier, Firenze, Giunti, 1995; C. PEDRETTI, *Leonardo e io*, Milano, Mondadori, 2008; R. MARCUCCIO e C. PANIZZI (a cura di), *Un fisico reggiano a Parigi. Giovanni Battista Venturi e una nuova immagine di Leonardo da Vinci*, [Reggio Emilia], Biblioteca Panizzi edizioni, 2020; F. ORI, *Giovanni Battista Venturi nella storia della scienza*, Reggio Emilia, Antiche Porte editrice, 2019.

²⁴ LEONARDO DA VINCI, *Manoscritto E*, folio 55r

(<https://www.leonardodigitale.com/sfoglia/manoscritto-e-dell-institut-de-france/0055-r/>, consultato il 15/07/2020).

²⁵ LEONARDO DA VINCI, *Codice Atlantico*, folio 1058v

(<https://www.leonardodigitale.com/sfoglia/codice-atlantico/1058-v/>, consultato il 15/07/2020).

²⁶ L'azione è sempre uguale e opposta alla reazione: le azioni dei due corpi sono vicendevolmente in direzioni uguali e opposte (in I. NEWTON, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, London, Benjamin Motte, 1687, p. 13: *Axiomata sive Leges Motus*).

urbinate Muzio Oddi (Fig. 2), notiamo che il compasso descritto da Oddi presenta diverse scale metriche, perché ideato come un vero e proprio strumento di calcolo.

Al contrario, i due compassi di Leonardo qui presi in considerazione sembrerebbero piuttosto strumenti che consentivano soprattutto di controllare le proporzioni. Tuttavia, questi non sono gli unici compassi da lui disegnati; altri danno l'impressione di essere stati ideati per svolgere alcune semplici operazioni geometriche e stereometriche e non solo per comparare. In generale, possiamo dire che la diversità dei compassi rispecchia la diversità delle epoche e degli interessi degli ideatori. Nel primo Rinascimento essi venivano progettati prevalentemente per risolvere problemi legati all'eterogeneità delle unità di misura, in quanto queste ultime erano antropomorfe (pollici, piedi, braccia) e variavano da regione a regione a causa della frammentazione politica italiana.

Invece, per la ricchezza delle sue funzionalità, il compasso polimetro di Oddi, così come quello di Guidobaldo (compasso di proporzione a gambe piatte) e di Galileo (compasso geometrico militare, variante del compasso di proporzione a gambe piatte) – solo per citarne alcuni –, rappresentava una sorta di *personal computer* dell'epoca. Si trattava infatti di uno strumento di calcolo che permetteva di dividere segmenti e circonferenze, di costruire poligoni, di trovare i lati di qualsiasi figura regolare equivalente a una data, di determinare diametri di palle di uno stesso materiale ma di pesi diversi e diametri di palle di stesso peso ma di diversi materiali, di determinare i lati dei cinque corpi regolari e di eseguire velocemente calcoli anche piuttosto complessi²⁷. Oddi aveva ideato tale compasso per rispondere a esigenze di calcolo, mentre probabilmente per Leonardo era più importante il valore estetico e pratico dei suoi dispositivi, che la possibilità di un loro impiego nelle procedure di misurazione e di computazione. La diversità dei compassi e delle loro funzionalità, progressivamente sempre più complesse, riflettono la rivoluzione culturale e scientifica, alle cui radici possiamo tuttavia collocare le riflessioni di Leonardo da Vinci.

Altri aspetti che riflettono una distanza significativa tra le concezioni leonardiane e l'epistemologia della scienza moderna sono l'organicismo e l'olismo, che sono alla base dell'approccio conoscitivo non sistematico da curioso osservatore della natura, in contrapposizione al meccanicismo e riduzionismo galileiano, cartesiano e newtoniano, imperniati su una mentalità scientifica completamente diversa e sul ruolo pervasivo della fisica-matematica. Quelli che sono apparsi finora come dei limiti delle concezioni leonardiane rispetto alla sintesi galileiano-newtoniana possono essere considerati un indizio del fatto che Leonardo aveva visto molto più avanti dei fondatori della scienza moderna, giungendo ad anticipare alcune istanze olistiche, sistemiche e antiriduzionistiche che emergeranno in relazione ad alcuni importanti sviluppi della scienza contemporanea e in particolare della meccanica quantistica²⁸.

5. La scienza delle proporzioni di Leonardo e la sostituzione dei concetti classificatori qualitativi con concetti comparativi

Leonardo riesce a portare al livello più alto la scienza dell'osservazione e della rappresentazione visuale e non formale della realtà (nonostante l'assenza di quel simbolismo matematico che costituirà l'elemento caratterizzante della rivoluzione scientifica in cui la fisica matematica verrà a configurarsi come la nuova metafisica), mediante l'applicazione della geometria e della scienza della prospettiva. Tuttavia egli non arriva mai a sviluppare né un qualche concetto di misurazione né quello di esperimento, a partire dai quali, come verrà mirabilmente mostrato da Immanuel Kant con un esplicito riferimento alla rivoluzione galileiana, la natura viene interrogata da una ragione giudicante e non più passivamente osservata, come nella scienza antica e medievale.

²⁷ E. GAMBA e V. MONTEBELLI, *Le scienze a Urbino nel Tardo Rinascimento*, Urbino, Edizioni QuattroVenti, 1988, pp. 145-155. Sul tema si vedano anche F. CAMEROTA, *Il compasso di Fabrizio Mordente. Per la storia del compasso di proporzione*, Firenze, Olschki, 2000 e E. GAMBA, *Documenti di Muzio Oddi per la storia del compasso di riduzione e di proporzione*, in «Physis», XXXI, 3, 1994, pp. 799-815.

²⁸ F. CAPRA, *Il Tao della fisica*, Milano, Adelphi, 1997.

Allorché Galilei fece rotolare lungo un piano inclinato le sue sfere, il cui peso era stato da lui stesso prestabilito, e Torricelli fece sopportare all'aria un peso, da lui precedentemente calcolato pari a quello d'una colonna d'acqua nota, e, più tardi ancora, Stahl trasformò dei metalli in calce, e questa, di nuovo, in metallo, con l'aggiunta o la sottrazione di qualcosa, una gran luce risplendette per tutti gli indagatori della natura. Si resero allora conto che la ragione scorge soltanto ciò che essa stessa produce secondo il proprio disegno, e compresero che essa deve procedere innanzi coi princìpi dei suoi giudizi secondo leggi stabili, costringendo la natura a rispondere alle proprie domande, senza lasciarsi guidare da essa, per così dire, con le dande. In caso diverso le nostre osservazioni casuali, fatte senza un piano preciso, non trovano connessione in alcuna delle leggi necessarie di cui invece la ragione va alla ricerca ed ha impellente bisogno. È pertanto indispensabile che la ragione si presenti alla natura tenendo, in una mano, i princìpi in virtù dei quali soltanto è possibile che i fenomeni concordanti possano valere come leggi e, nell'altra mano, l'esperimento che essa ha escogitato in base a questi princìpi; e ciò al fine di essere sì istruita dalla natura, ma non in veste di scolaro che stia a sentire tutto ciò che piace al maestro, bensì di giudice che nell'esercizio delle sue funzioni costringe i testimoni a rispondere alle domande che egli loro rivolge. Pertanto la fisica è debitrice della rivoluzione del modo di pensare che le ha arrecato tanti vantaggi solo all'idea che la ragione deve (senza indulgere in fantasticherie) cercare nella natura, in conformità a quanto essa stessa vi pone, ciò che vuole sapere intorno ad essa, e che a nessun titolo potrebbe ritrovare in se stessa. In tal modo la fisica è stata posta per la prima volta sulla via sicura della scienza, mentre per tanti secoli non aveva fatto altro che procedere brancolando.²⁹

La posizione di Leonardo, acuto osservatore di una natura che può essere descritta e ricostruita nella sua interezza indagando le molteplici relazioni tra i suoi vari costituenti, appare molto distante dalla posizione metodologica dei moderni, per i quali la natura può essere interrogata attraverso un potente sistema predittivo di leggi matematiche. Tuttavia, possiamo cogliere nei suoi scritti delle idee fortemente innovative, le quali ci consegnano un uomo geniale che fu in grado di utilizzare le sue doti artistiche sia per studiare e indagare la natura sia per sopperire a quelle conoscenze matematiche che saranno successivamente acquisite con la rivoluzione scientifica.

Va comunque sottolineato che la scienza di Leonardo, se non è ancora la scienza delle misurazioni della rivoluzione galileiana che realizzerà il definitivo trapasso dal qualitativo al quantitativo, gioca un ruolo fondamentale nel processo di transizione verso la scienza della misura, configurandosi come una profondamente innovativa scienza delle proporzioni. Quest'ultima è esemplificata, come abbiamo visto, dal suo compasso senza scala metrica con il quale non si possono fare misurazioni di lunghezze, ma confrontare comunque tra loro lunghezze diverse.

Nella genesi dei concetti scientifici, come è stato rilevato da Rudolf Carnap, massimo esponente del positivismo logico, «accade spesso che un concetto comparativo diventi successivamente la base per uno quantitativo»³⁰. Tali concetti verrebbero quindi a giocare un “ruolo intermedio” tra i concetti classificatori qualitativi, come ad esempio caldo e freddo e i concetti quantitativi misurabili delle scienze matematizzate della natura, come temperatura. Per questo motivo noi non dovremmo, secondo Carnap, sottostimare l'utilità dei concetti comparativi, specialmente nei campi in cui il metodo scientifico e i concetti quantitativi non sono stati ancora sviluppati. Infatti, mentre un concetto classificatorio, come “warm” o “cool” colloca semplicemente un concetto all'interno di una classe, un concetto comparativo come “warmer” o “cooler”

tells us how an object is related, in terms of more or less, to another object. Long before science developed the concept of temperature, which can be measured, it was possible to say, “This

²⁹ I. KANT, *Critica della ragion pura*, P. CHIODI (a cura di), Novara, UTET, 2013, *Prefazione alla seconda edizione*, pp. 38-39.

³⁰ R. CARNAP, *Philosophical Foundations of Physics. An Introduction to the Philosophy of Science*, M. GARDINER (a cura di), New York, Basic Books, 1969, p. 53, traduzione nostra.

object is warmer than that object". Comparative concepts of this sort can be enormously useful.³¹

Per le stesse ragioni non possiamo sottovalutare l'importanza della scienza delle proporzioni geometriche di Leonardo, all'interno della quale le grandezze vengono confrontate le une con le altre, prima di poter essere misurate attribuendo loro un numero (e più tardi, quando con l'avvento della meccanica quantistica emergerà l'impossibilità di compiere misurazioni ideali non perturbative, un intervallo tra due numeri). Tale scienza porta infatti alla sostituzione dei concetti qualitativi classificatori della scienza aristotelica con concetti comparativi, presentandosi come passaggio ineludibile verso i concetti quantitativi misurabili, le cartesiane qualità primarie, della scienza moderna.

³¹ *Ivi*, p. 52.