

Panoramica sul tempo nella scienza classica

L'approfondimento riguarda alcuni aspetti storicamente rilevanti sul *tempo* nella ricerca scientifica e filosofica.

Il tempo è stato da sempre una sorta di *misura* dell'esistenza umana. «Nelle culture pagane l'idea del tempo fu fortemente influenzata dalle osservazioni dell'ambiente. Il continuo ripetersi di fenomeni naturali suggerì l'idea della sua ciclicità»¹: i giorni, i mesi e le stagioni, ma anche i fenomeni astronomici, davano un ritmo ciclico che trovava corrispondenza nelle maree e nel ciclo di fertilità delle donne, influenzandone l'interpretazione come intimamente legata alla Natura ma anche alla percezione personale.

Prima del periodo d'oro ellenico, come testimoniato da un numero «congruo e significativo di tavolette di contenuto esclusivamente matematico [che] risale a un'età molto più antica, compresa tra il 1800 e il 1600 a.C.»², prima della 'astronomia scientifica' babilonese, lo studio dei fenomeni celesti era di tipo matematico, come sottolinea Paolo Zellini (1946-):

I babilonesi erano tipicamente interessati ai fenomeni del sorgere e tramontare della Luna, come dei pianeti e delle costellazioni. La rappresentazione di questi eventi, così legati all'esperienza visiva, era affidata tuttavia non tanto alle immagini, quanto all'elaborazione arida e astratta dei dati numerici che servivano a definirli e a prevederli. Solo con l'avvento dell'astronomia greca e con la ricerca i modelli geometrici e cinematici, ha osservato Neugebauer, il fenomeno del primo apparire, come altri fenomeni cruciali quali l'opposizione, la congiunzione o i momenti di passaggio dal moto diretto a quello retrogrado [dei pianeti], persero gradualmente il loro interesse primario, assieme alla loro aura di prodigio, acquistando una fisionomia di semplici eventi occorrenti per valori astratti di una «variabile tempo». Sarebbe allora prevalsa l'immagine complessiva di un universo geometrico, di contro al precedente modello numerico costruito per la previsione di quei singoli e portentosi fenomeni dell'apparire e del tramontare che si mostravano sulla linea dell'orizzonte.³

Nell'interpretazione di Aristotele (384-322) il tempo era associato al movimento e al cambiamento, era la *misura* del cambiamento:

Quando, dunque, percepiamo l'ora come uno, e non come anteriore e posteriore nel movimento o come il medesimo ma con qualcosa di anteriore e posteriore, non sembra che sia passato alcun tempo, poiché 'non sembra che si sia verificato' alcun movimento. Quando, invece, 'percepiamo' l'anteriore e posteriore, allora parliamo di tempo. Questo, infatti, è il tempo: numero del movimento secondo l'anteriore e il posteriore.⁴

¹ Pippo Battaglia (1947-) in [Battaglia, 2005] pag. 63

² [Zellini, 1999] pag. 109-110; la seguente citazione è a pag. 112-113; la fonte citata è Otto Neugebauer (1899-1990), in *A History of Ancient Mathematical Astronomy* e in *The Exact Sciences in Antiquity*

³ «Quello che può apparire come il più arido elenco di cifre è in realtà la prova di un possibile ruolo di decifrazione 'razionale', da parte della matematica antica, di ciò che Heidegger chiamava 'essere'», osservazione di [Zellini, 1999] a pag. 119

⁴ Aristotele, *Fisica*, IV, 219a1 30-219b1; questa visione è ancora viva nell'800, se si legge «Non siamo in grado

Una misura che «Plotino⁵ [...] interpretava non nel senso di una misura compiuta a posteriori, bensì come una misura che definisce il movimento stesso.»⁶ Anche se fu Eudosso di Cnido (408-355 o 353) «il primo a definire il tempo come "grandezza" e ad attribuirgli le proprietà del continuo»⁷, pochi decenni dopo Aristotele si mostra più profondo e più cauto:

Riferendosi quindi al moto uniforme di un punto su una linea, egli afferma che il tempo non è la *somma* degli istanti, se questi sono definiti da un generico punto immateriale che, muovendosi, divide il passato dal futuro, ma piuttosto della grandezza percorsa dal punto materiale, punto che rimane invariato nel moto. La definizione di tempo viene quindi ad appoggiarsi a quella di un oggetto empirico (il punto materiale) e della sequenza delle sue posizioni. La persistenza di un oggetto attraverso il fluire del tempo diviene così un assunto fondamentale per la nozione di tempo, contro l'opinione dei Sofisti che affermavano il contrario.

In sostanza Aristotele precisa:

che il tempo è una grandezza che noi enumeriamo (*quod enumeratur*) e non una realtà con una metrica intrinseca come lo spazio (*quod numeramus*) e, nell'ultimo capitolo [di *Fisica*, IV], egli arriva così a concludere che solo il moto possiede una realtà *per sé*, mentre il tempo, quale *mensura motus*, non esisterebbe se non esistesse l'anima e l'intelletto.

Il ruolo del soggetto nella valutazione del tempo fu poi ripreso da Agostino d'Ippona (354-430), che «cercherà, infatti, il principio della continuità del tempo non nell'istante, ma nell'identità del soggetto che rappresenta a sé stesso il tempo»⁸.

A proposito della simultaneità, Max Jammer (1915-2010) ha osservato:

whether it is intended to serve as a definition, Aristotle's statement that temporal simultaneity means 'being in the same now' has no operational content. It does not tell us how to find out, or how to verify, whether spatially separated occurrences happen in the same 'now'.⁹

La visione di Aristotele sul tempo è ripresa da Tito Lucrezio Caro (circa 110-55):

Tempus item per se non est, sed rebus ab ipsis consequitur sensus, transactum quid sit in aevo, tum quae res instet, quid porro deinde sequatur. Nec per se quemquam tempus sentire fatendumst semotum ab rerum motu placidaeque quiete.¹⁰

Analoga ad Aristotele, per il tempo 'lontano' dalla Terra, misura del movimento, la posizione di Giordano Bruno (1548-1600), che si differenzia però sulla visione dei 'corpi semplici' aristotelici, composti dai quattro elementi elementari di Empedocle (V secolo

di *misurare* i mutamenti delle cose rapportandoli al *tempo*. Al contrario il tempo è un'astrazione, alla quale arriviamo proprio attraverso la constatazione del mutamento, grazie al fatto che per la dipendenza reciproca delle cose non siamo costretti a servirci di una *determinata* misura.» in [Mach, 1883] ed. italiana pag. 241

⁵ Plotino (circa 203-270)

⁶ [Horn, 1995] edizione italiana pag. 99

⁷ [Ronchi, 2010] pag. 146-147, anche per le seguenti tre citazioni

⁸ Cfr [Agostino, 401] XI, 28-36 pag. 595

⁹ [Jammer 2006] pag. 41

¹⁰ Dal *De Rerum Natura*, Libro I, 459-463; «Invece il tempo non esiste di per sé. Sono i corpi e la loro posizione nello spazio a dare senso a quanto è successo in passato, succede nel presente e succederà nel futuro. E non si può percepire il tempo di per sé, indipendentemente dalla quiete o dal moto dei corpi.» Traduzione di Piergiorgio Odifreddi (1950-) in [Odifreddi, 2013] pag. 45

a.e.v.¹¹⁾ più l'etere che costituivano i pianeti che si muovevano di moto circolare, riempiendo l'universo (infinito) di *vacuo*:

Non vi è tempo; perché il tempo è numero di moto; il moto non è se non di corpo; però dove non è corpo, non è moto, non v'è numero, né misura di moto; dove non è questa, non è tempo.¹²

Per la tradizione giudaico cristiana il tempo era legato a un processo storico (un inizio nella *creazione* e una fine nell'*apocalisse*), quindi soggetto a una interpretazione *lineare* che implica la *freccia del tempo*¹³ e

le conseguenze [...] si riflettono nella concezione della storia. Gli avvenimenti e le persone assumono la prerogativa dell'irripetibilità e dell'unicità. L'idea biblica di un tempo lineare [...] ha mutato la visione della vita rendendola un *unicum* assoluto nonché ha fatto divenire l'eternità una peculiarità di luoghi metafisici, il paradiso e l'inferno.¹⁴

Una percezione non ciclica della nostra vita mortale è poeticamente espressa da Shakespeare nel famoso verso: «We are such stuff as dreams are made on; and our little life is rounded with a sleep.»¹⁵

Invece «in Cina coesistevano la concezione del tempo ciclico e lineare. Nell'antico libro *I Ching* sono descritti i due modelli antitetici dell'idea di tempo.»¹⁶ In genere le dottrine mistiche orientali non davano e non danno importanza alla 'materializzazione' di spazio e tempo, che rappresentano solo parole di uso comune, non entità dal significato fisico indipendente. Le ragioni sono evidenziate da Fritjof Capra (1939-):

Come i fisici moderni, i Buddhisti vedono tutti gli oggetti come processi in un flusso universale e negano l'esistenza di qualsiasi sostanza materiale. Questa negazione è uno dei tratti più caratteristici di tutte le scuole di filosofia buddhista. Essa è anche tipica del pensiero cinese, che ha elaborato una concezione analoga delle cose, intese come stadi transitori nel *Tao* in perenne fluire, ed era interessato alle interrelazioni fra le cose piuttosto che alla loro riduzione a una sostanza fondamentale. «Mentre la filosofia europea tendeva a trovare la realtà nella sostanza, [...] la filosofia cinese tendeva a trovarla nella relazione.»¹⁷

Non era dissimile la posizione di Ernst Mach (1838-1916), che nel confronto tra somiglianza (relazione che sussiste tra due oggetti fisici) e analogia (relazione fra due concetti), afferma che essi siano «i motivi guida della ricerca»¹⁸:

¹¹ a.e.v. è acronimo di ante era volgare, ovvero prima di 2025 anni fa, senza riferimenti a una particolare religione

¹² [Bruno, 1584b], edizione Enigma pag. 165

¹³ «L'espressione "freccia del tempo" si deve a Arthur Eddington (1882-1944) in *The Nature of the Physical World* [nel quale egli] prevede che il futuro potrebbe vedere la fine della preminenza in fisica delle leggi "primarie" (deterministiche) a vantaggio delle leggi "secondarie" (statistiche, e che danno senso all'irreversibilità termodinamica).» [Prigogine e Stengers, 1988] edizione italiana pag. 214; Ilya Prigogine (1917-2003), Isabelle Stengers (1949-)

¹⁴ [Battaglia, 2005] pag. 66

¹⁵ William Shakespeare (1564-1616), *La tempesta*, Atto IV, 156

¹⁶ [Battaglia, 2005] pag. 63

¹⁷ [Capra, 1975] edizione italiana pag. 236-237, la citazione nella citazione è di Joseph Needham, *Science and civilization in China* (Cambridge University Press, Cambridge 1956), nella traduzione italiana (Einaudi, Torino, 1982)

¹⁸ [Teghil, 2016] pag. 38-39, che cita Ernst Mach (1838-1916) in *Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung* (Leipzig, 1905), ed. italiana *Conoscenza ed errore. Abbozzo per una psicologia della*

Concepire analogie si rivela per Mach di fondamentale ausilio nell'indagine scientifica soprattutto quando non è presente una solida base empirica: in tal caso, la fantasia può supplire alle rappresentazioni mancanti fornite dai dati sensibili. [...] la componente di fantasia presente nell'attività scientifica si esplica in maniera esemplare nell'esperimento mentale. [...] Somiglianza e analogia imprimono perciò un impulso alla scoperta scientifica, alla quale si giunge partendo dalla formulazione d'ipotesi e in tale fase l'uomo di scienza non deve provare vergogna nell'ammettere di avvalersi anche della fantasia per integrare la rappresentazione dei fatti soltanto parzialmente compresi.¹⁹

In sintonia con il pensiero di Einstein «la più bella sensazione è il lato misterioso della vita. È il sentimento profondo che si trova sempre nella culla dell'arte e della scienza pura»²⁰, una nota di Carlo Rovelli (1956-) sottolinea l'importanza dell'atteggiamento, si potrebbe forse dire emotivo, se non culturale, che porta al progresso della conoscenza:

L'Occidente ha saputo usare efficacemente la creatività del pensiero analogico, per costruire concetti nuovi a ogni generazione, fino a lasciare in eredità all'odierna civiltà globale la magnificenza del pensiero scientifico. Ma è l'Oriente che ha riconosciuto prima e con più chiarezza che il pensiero cresce per analogie, non per sillogismi. [...] Il pensiero scientifico fa buon uso della rigidità della logica e matematica, ma questa è solo una delle due gambe che l'hanno portato al successo: l'altra è la creatività liberata dall'evoluzione continua della sua struttura concettuale, e questa si nutre di analogie e ricombinazioni.²¹

Il fluire del tempo è stato coinvolto nell'analisi dell'infinito e degli infinitesimi, in particolare

l'esposizione di Spinoza [Baruch Spinoza, 1632-1677] e quella di Hegel [Georg Wilhelm Friedrich Hegel, 1770-1831]²² già affermano quell'esigenza di staticità che deve soddisfare l'infinito per cessare di esistere come puro sinonimo del divenire temporale. Forse Leibniz [Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716)], pur credendo nell'infinito attuale, non aveva altrettanto insistito su questo punto. È pur vero che l'infinito potenziale trova nelle serie una naturale conclusione nel finito e quindi in qualcosa di fermo e statico, ma l'insistenza di Leibniz è tutta sul movimento, sull'istante della sua germinazione: il differenziale, commentò G. Milhaud [Gaston Milhaud (1858-1918)], non è altro che il «momento infinitesimale di ogni divenire»²³, e il finito è l'atto finale di una generazione dinamica dominata dal tempo.²⁴

Questa visione interpretativa fu in séguito superata «nel periodo dell'800 che fu caratterizzato dall'invenzione di un linguaggio matematico che dell'infinito intese formare una totalità attuale e statica, non governata dal divenire temporale»; il riferimento è al linguaggio della «teoria degli insiemi che intese giustificare, accanto all'infinito potenziale o

ricerca (Einaudi, 1982)

¹⁹ [Teghil, 2016] pag. 45-47

²⁰ [Einstein, 1934] edizione italiana pag. 22

²¹ [Rovelli, 2023] pag. 57-58; corsivo originale

²² Rispettivamente in *XII Lettera* e in *Scienza della logica*

²³ Citato da L. Brunschvicg in *Les étapes de la Philosophie mathématique* (Paris, 1929) pag. 209

²⁴ [Zellini, 1980] pag. 187-188

sincategorematico²⁵ delle successioni infinite, l'infinità attuale di tutti i sottoinsiemi di tali successioni come collezione chiusa di oggetti esistenti di per se stessi»²⁶.

In questa linea di pensiero, Cantor definì la priorità dell'idea del continuo rispetto alla nozione di tempo (delineando la crisi dell'apriorismo kantiano):

Debbo dichiarare innanzitutto che a mio avviso l'introduzione della nozione di tempo e dell'idea di tempo non deve servire a spiegare la nozione molto più primitiva e generale del continuo; il tempo, a mio avviso, è un'idea che presuppone, per essere chiaramente spiegata, la nozione di continuità, indipendente da quella del tempo, e che anche con tale nozione di continuità non può essere concepito né oggettivamente come sostanza né soggettivamente come un'idea necessaria a priori; quest'idea di tempo non è che un'idea ausiliaria e relativa, utile a stabilire il rapporto tra i diversi movimenti che hanno luogo nella natura e che noi percepiamo. Così nulla si presenta mai nella natura che assomigli al tempo oggettivo o assoluto, e di conseguenza non si può assumere il tempo come misura del movimento, ma al contrario si potrebbe considerare il movimento come misura del tempo, se non si fosse impediti dal fatto di non aver guadagnato nulla a considerare il tempo come un'idea soggettiva necessaria a priori.²⁷

Contro Kant era schierato anche il matematico positivista Hans Hahn (1879-1934), che in un saggio degli anni '20, *The crisis in Intuition*, scrisse: «It is not true, as Kant urged, that intuition is a pure a priori means of knowledge, but rather that it is a force of habit rooted in psychological inertia.»²⁸

È interessante la posizione di Weyl sugli enti invarianti, che implicano l'esistenza di una mutabilità temporale alla quale fa fronte

[...] il compito della matematica, ma anche della fisica e della geometria, [ovvero] quello di render conto di quel certo grado di variazione nella configurazione sia dei processi matematici che dei fenomeni [identificando] gli aspetti di tali configurazioni che nella variazione rimangono inalterati, gli invarianti; [...] tale invarianza rende la variabilità descrivibile e rappresentabile attraverso simboli, preservandola dalle variazioni nell'arco temporale. [...] La conoscenza scientifica può confrontarsi con la realtà, sebbene sotto un profilo esclusivamente problematico, solo attraverso la mediazione di simboli.²⁹

²⁵ Nella logica formale, si dice sincategorematico di termine che preso isolatamente non ha un significato suo proprio ma lo acquista solo in unione ad altri termini, detti categorematici (cioè tali che di per sé significano qualcosa), e agisce sul significato di questi ultimi dando luogo a una nuova espressione [enciclopedia Treccani online]

²⁶ [Zellini, 1980] pag. 197 per le due frasi citate; il concetto è citato in [Weyl, 1927] edizione italiana pag. 46; Hermann Weyl (1885-1955)

²⁷ [Zellini, 1980] pag. 199, traduzione da *Fondements d'une théorie générale des ensembles*, Georg Cantor in *Acta Mathematica*, Tome 2, 1883, pag. 403 royalty free edition; sulla continuità, Zellini ha pubblicato anche il saggio *Discreto e continuo. Storia di un errore* [Zellini, 2022]

²⁸ Citato in [Yourgrau, 2005] pag. 50

²⁹ [Weyl, 2011] dalla introduzione di Marta Perego (1981-), pag. 35; la funzione dell'intuizione, caratterizzata dalla limitatezza delle sequenze di intuizioni che non possono essere infinite, portò Weyl ad allontanarsi dalla fenomenologia di Edmund Husserl (1859-1938) e a considerare «ogni stadio della sequenza infinita così originata (stadio che ci è dato come scelta di tale sequenza, coerente con la legge d'origine), [come raffigurazione di] un modo di un infinito "divenire" connesso alla natura della legge, non la specificità di un oggetto.» [Weyl, 2011] dalla introduzione di Marta Perego, pag. 21-22; per fenomenologia si intende oggi «l'indirizzo filosofico [...] che, mettendo fra parentesi l'esistenza del mondo, lo riduce a un insieme di fenomeni che si danno alla coscienza e possono essere colti nella loro 'essenza' logica, universale e necessaria. Per Heidegger, allievo di Husserl, fenomenologia significa così "lasciar vedere in sé stesso ciò che si manifesta", liberandolo dall'occultamento in cui rischiano di farlo cadere i nostri pregiudizi.» [da enciclopedia

In epoca moderna, Heidegger (1889-1976) ha legato il tempo indissolubilmente all'essere:

Se la temporalità costituisce il senso d'essere originario dell'esserci, [...] allora la cura³⁰ ha per forza bisogno 'di tempo' e quindi di tener conto 'del tempo'. La temporalità dell'esserci dà luogo al 'calcolo del tempo'. [...] Il progetto di un senso dell'essere in assoluto può compiersi nell'orizzonte del tempo.³¹

Un originale precursore dei più famosi astronomi dell'era moderna fu Nicola Cusano³² (1401-1464), filosofo e matematico che con il suo *De docta ignorantia* (pubblicato nel 1440) si oppose alla concezione aristotelica con il suo principio dell'ignoranza dotta, ovvero il desiderio dell'intelletto di conoscere una verità indiscutibile. Secondo Cusano

la nostra mente non può conoscere Dio perché Egli è infinitamente lontano da ogni ente conosciuto e quindi non è possibile stabilire alcuna proporzione tra questo essere e le cose conosciute. [...] Ci si può avvicinare alla natura di Dio servendosi della congettura, cioè di un processo basato sull'ipotesi e sulla similitudine. [...] Allora Dio non lo si può mai conoscere, come succede in matematica, ove non vi è nessun rapporto tra l'infinito e il finito³³.

Cusano ha un «concetto totalizzante di infinito» e «paragona Dio e anche l'universo ad un cerchio il cui centro è dappertutto e la circonferenza in nessun luogo, un concetto quanto mai moderno e attuale»³⁴.

È interessante l'estensione di questo concetto di conoscibilità al finito, una sorta di anticipazione filosofica del *principio di indeterminazione* di Heisenberg³⁵ (oltre che dell'incertezza nelle misurazioni di grandezze):

anche nel finito è impossibile ogni conoscenza precisa, o una verità assoluta. La conoscenza, infatti, è il risultato di un confronto. Poiché non si può conoscere se non ponendo in relazione una cosa con un'altra, ricordiamo che ogni relazione non è che approssimativa, poiché di due cose simili se ne possono pensare altre ancora più simili, e così via. Pertanto, stando così le cose, l'essenza della verità è irraggiungibile. I risultati delle misure quindi non possono che essere approssimati; nell'universo vi è dunque l'assenza di una precisione assoluta.³⁶

Come osserva Zellini in un suo saggio, «Nell'antichità i concetti matematici - tanto straordinario e abbagliante doveva risultare il loro potere di collegare le cose e di rendere uguale il diverso - erano stati pensati come un *logos* divino. Gli uomini se ne impossessa-

Treccani online]

³⁰ Secondo la visione di Heidegger, la *cura* è una condizione che accompagna la vicenda esistenziale dell'uomo, è il suo modo di essere nel mondo e col quale definisce relazioni con sé stesso, con gli altri e con la Natura; può significare sollevare gli altri dalle cure, rendendoli così *dominati*, oppure prendersi cura di loro, aiutandoli a essere *liberi*. [Heidegger, 1926] edizione italiana pag. 179 e capitolo 26, passim

³¹ [Heidegger, 1926] edizione italiana pag. 332-333

³² Nome latinizzato di Nikolaus Krebs (o Kryffs), di origini germaniche

³³ [Romano, 2010] pag. 55; Giuliano Romano (1923-2013)

³⁴ [Romano, 2010] pag. 57, che cita *De docta ignorantia* I,1, § 3: «L'infinito, in quanto infinito, poiché sfugge ad ogni proporzione, ci è ignoto»; riconoscere l'esistenza degli enti solo in quanto esprimibili in termini proporzionali era una posizione dei geometri greci ellenistici (oltre che conseguenza della necessità delle costruzioni solo per mezzo di riga e compasso), fu Cartesio (René Descartes, 1596-1650) con l'invenzione della matematica analitica a superare i limiti di queste costruzioni geometriche, anche se si dovette attendere le teorie dei limiti di Leibnitz (1646-1716) e la sistematizzazione del calcolo differenziale e integrale di Isaac Newton (1643-1727) per sperimentarne davvero le potenzialità

³⁵ Werner Heisenberg (1901-1976)

³⁶ [Romano, 2010] pag. 57

rono solo al prezzo di una trasgressione (di cui racconta il mito di Prometeo) e della conseguente inevitabile difficoltà di discriminare e di cogliere l'esatto valore delle misure.»³⁷ Altre interessanti congetture di Cusano sono che la Terra non può essere al centro dell'universo (*machina mundi*) essendo questo in nessun luogo e non può essere ferma perché non c'è un riferimento rispetto al quale dovrebbe essere ferma, che la posizione di un qualunque corpo è sempre relativa al punto di osservazione, che la mancanza di un punto fisso implica che le orbite dei corpi celesti non possano essere perfettamente circolari e che l'universo sia omogeneo e isotropo.³⁸

Merita di essere ricordato anche Geminiano Montanari (1633-1687), che operò a Padova ed è ritratto, con un cannocchiale in mano come Galilei, in un affresco della Sala delle Figure³⁹ alla Specola patavina; un astronomo dei primi passi dell'astronomia osservativa moderna fermo oppositore delle credenze astrologiche⁴⁰, non condannate nemmeno da Galilei che anzi nel corso della propria vita le utilizzò per finanziarsi producendo oroscopi sia a scopo economico sia a scopo politico, per blandire i potenti con previsioni positive⁴¹.

Nell'epoca delle prime scoperte e teorie cosmologiche moderne, dopo Niccolò Copernico (1473-1543), Johannes Kepler (1571-1630), Galileo Galilei e naturalmente Isaac Newton, si sviluppò il metodo scientifico ovvero l'interpretazione della Natura in relazione ai fenomeni realmente osservati e misurati. Fu anche grazie a un atteggiamento filosofico le cui radici risalgono a Talete di Mileto (circa 640-circa 548) e alle prime scuole che superarono le diffuse superstizioni, come ricorda Erwin Schrödinger (1887-1961) in un saggio sugli antichi greci:

La grande idea che animò questi uomini [gli Ioni] era che il mondo intorno a essi *potesse essere compreso* da chi si desse la pena di osservarlo nel modo dovuto; che esso non fosse la scena delle azioni più o meno arbitrarie di dèi, fantasmi e spiriti in preda agli impulsi del momento [...]. Quegli uomini [...] si liberarono da ogni superstizione. Essi consideravano il mondo come un meccanismo piuttosto complicato, che agiva in base a leggi intrinseche esterne, ed erano curiosi di scoprirle. Questo è senza dubbio l'atteggiamento fondamentale della scienza, che si è protratto fino ai giorni nostri.⁴²

La conoscenza razionale basata su osservazioni ed esperimenti si è sempre scontrata con le *verità rivelate* imposte 'ex cathedra' dalle autorità religiose, in particolare quella cattolica,

³⁷ [Zellini, 1999] pag. 475-476; corsivo originale; una sorta di anticipazione nel mito antico del principio di indeterminazione di Heisenberg

³⁸ [Romano, 2010] pag. 58-59 passim, il quale evidenzia che si tratta di interpretazioni puramente filosofiche e non sperimentali, ovvero non supportate da osservazioni astronomiche nemmeno approssimate

³⁹ La Sala delle Figure si trova alla sommità della torre della Specola e raccoglie ritratti a grandezza naturale di scienziati del tempo nel campo dell'astronomia e della meteorologia, realizzati dal pittore Giacomo Ciesa nel 1773

⁴⁰ Montanari ad esempio pubblicò nel 1685, oltre a varie originali opere scientifiche: *Astrologia convinta di falso col mezzo di nuove esperienze e ragioni fisico-astronomiche, o' sia La caccia del frugnuolo*

⁴¹ Galileo però non ci credeva, come confessò ad esempio a Tommaso Campanella nel 1630, inoltre ovviamente non le indovinava sempre... «calcolò, ad esempio, l'oroscopo del granduca di Toscana Ferdinando I su richiesta della moglie. Sembra che fosse molto favorevole. [Però] il nobile signore morì due settimane dopo!»; da <https://www.astronomia.com/progetti/locchio-infinito-di-galileo/chi-era-galileo-galilei/galileo-astrologo> consultato il 16 gennaio 2025

⁴² [Schrödinger, 1958] edizione italiana pag. 212; si osserva come i "giorni nostri" di Schrödinger fossero 70 anni fa; ai 'giorni nostri attuali', invece, la scienza sembra piuttosto orientata ad andare oltre l'osservazione, basandosi su teorie indimostrate o indimostrabili!

che soprattutto nel periodo dei secoli più bui dell'inquisizione non si fece problemi a trucidare i liberi pensatori, pericolosi per il loro primato di conoscenza. Si ricorda ad esempio come nel 1600 il visionario Bruno sia stato condannato a morte sul rogo a Roma in Campo de' Fiori per le sue esplicite posizioni critiche verso la chiesa di Roma, in particolare con i suoi *De la causa, principio et uno*, il cui pensiero è fatto esprimere da Teofilo nel Dialogo quinto:

È dunque l'universo uno, infinito, immobile. Una, dico, è la possibilità assoluta, uno l'atto, una la forma o anima, una la materia o corpo, una la cosa, uno lo ente, uno il massimo ed ottimo; il quale non deve posser essere compreso; e però infinibile e interminabile, e per tanto infinito e interminato, e per conseguenza immobile. Questo non si muove localmente, perché non ha cosa fuor di sé ove si trasporte, atteso che sia il tutto. Non si genera; perché non è altro essere, che lui possa desiderare o aspettare, atteso che abbia tutto lo essere. Non si corrompe; perché non è altra cosa in cui si cange, atteso che lui sia ogni cosa. Non può sminuire o crescere, atteso che è infinito; a cui come non si può aggiungere, cossí è da cui non si può sottrarre, per ciò che lo infinito non ha parte proporzionabili.⁴³

e *De l'infinito, universo e mondi*, con le parole di Filoteo nel Dialogo primo, in un confronto dell'infinità dell'universo con l'infinità di Dio:

Io dico l'universo tutto infinito, perché non ha margine, termino, né superficie; dico l'universo non essere totalmente infinito, perché ciascuna parte che di quello possiamo prendere, è finita, e de mondi innumerabili che contiene, ciascuno è finito. Io dico Dio tutto infinito, perché da sé esclude ogni termine ed ogni suo attributo è uno ed infinito; e dico Dio totalmente infinito, perché tutto lui è in tutto il mondo, ed in ciascuna sua parte infinitamente e totalmente: al contrario dell'infinità de l'universo, la quale è totalmente in tutto, e non in queste parti (se pur, referendosi all'infinito, possono esser chiamate parti) che noi possiamo comprendere in quello.⁴⁴

Considerando l'uomo partecipe della Natura infinita, ne viene trasferita l'innata tensione verso la tradizionale concezione cristiana di propensione dell'anima verso 'Dio creatore' a un piano naturalistico-immanente, rendendo l'intermediazione della chiesa e del sacrificio di Cristo superflui, ferma posizione di Bruno che l'inquisizione valutò esiziale.

Per concludere, possiamo dire che Bruno è il primo ad elaborare una teoria cosmologica moderna fondata sull'eliocentrismo copernicano e sostenuta dall'idea che l'universo è infinito e che è il primo a dare una nuova collocazione all'uomo, posto non più in mezzo ma ai margini di un universo senza centro e senza fine, all'interno del quale la sfera celeste e il mondo terrestre son intimamente connessi da una natura simile.⁴⁵

Si evidenzia però come il pensiero di Bruno in *De l'infinito, universo e mondi* riprendesse in realtà le visioni di Cusano (citato da Bruno anche nel testo stesso) e prima ancora di Lucrezio: «Praeterea cum materies est multa parata, cum locus est praesto nec res nec causa moratur ulla, geri debent nimirum et confieri res.»⁴⁶. Nel merito, Lucio Russo (1944-) os-

⁴³ [Bruno, 1584a], edizione ebook pag. 60

⁴⁴ [Bruno, 1584b], edizione Enigma pag. 52

⁴⁵ Nota dell'editore in [Bruno, 1584b], edizione Enigma pag. 9

⁴⁶ *De Rerum Natura*, Libro II, 1057-1059: «Quando ci sono infinita materia, infinito spazio e infinito tempo a disposizione, e niente che si opponga, è obbligatorio che prima o poi si formino cose inanimate ed esseri ani-

serva come «tra le idee ellenistiche non incluse nell'*Almagesto*⁴⁷ vi sono, se non altro, l'eliocentrismo, l'infinità dell'universo e la relatività del moto.»⁴⁸

Ma si ricorda anche l'abiura alla quale fu costretto Galilei per aver raccontato e acutamente analizzato quello che vedeva con il suo *cannocchiale*, strumento peraltro che sembra essere stato già analizzato da Marco Antonio de Dominis (1560-1624), insegnante di ottica a Padova negli anni di Galilei, e addirittura noto allo scienziato inglese Roberto Grossatesta (1175-1253), come suggerisce la conoscenza del fenomeno della rifrazione e della 'legge di Snell' già nel 983 da parte dell'ottico e matematico persiano Ibn Sahl (940-1000), se non già in epoca ellenistica⁴⁹; addirittura uno scritto del 1024 di Alhacen (965-1040), un naturalista vissuto al Cairo

[...] illustra le proprietà delle sorgenti luminose e delle loro immagini prodotte da specchi sferici. Nella sua opera intitolata La Grande Ottica, Alhacen sviluppò una teoria della riflessione e della rifrazione della luce. La sua ipotesi di partenza era che la luce consistesse in un'onda che si propaga a velocità finita, che varia con la natura del mezzo trasparente. [...] Benché la sua intuizione precorresse la moderna teoria della luce, Alhazen non si avvale in questo suo modello di alcun procedimento matematico (il suo libro non contiene un solo numero), deducendo le proprietà della rifrazione attraverso complicatissime costruzioni e dimostrazioni geometriche.⁵⁰

Galilei sperimentò anche l'utilizzo dello strumento ottico come microscopio, per indagare le cose molto piccole, chiamandolo per questo scopo *perspicillum*, ma non approfondì queste ricerche.

È interessante osservare che il metodo scientifico basato sulle osservazioni, come descritto di seguito alle prossime due citazioni, non sia nato come viene comunemente considerato con Galilei⁵¹ bensì fosse già diffuso ancora in epoca ellenistica, come testimoniato ad esempio da un brano di Filone di Bisanzio (circa 280-circa 220) nel suo *Belopoietica* (50, 21-29) che commenta il perfezionamento della costruzione di catapulte⁵²:

[...] Questo risultato fu raggiunto per la prima volta dai tecnici alessandrini, forniti di ricchi mezzi da re che amavano la fama e la tecnologia. Che non tutto si possa ottenere con il ragionamento e con i metodi della meccanica, ma che molto debba essere scoperto con esperimenti,

mati», traduzione libera di [Odifreddi, 2013] pag. 101

⁴⁷ Opera di Claudio Tolomeo (circa 100-circa 168) rimasta un riferimento per le conoscenze astronomiche per 14 secoli, escluse quelle ellenistiche indicate che sono state 'riscoperte' da Copernico nel XVI secolo (eliocentrismo) e da Galilei nel XVII secolo (relatività del moto), mentre sull'infinità dell'universo non ci sono risposte 'certe' nemmeno oggi

⁴⁸ [Russo, 2021] pag. 267; Russo considera l'inizio dell'epoca ellenistica nel 323 a.C. con la morte di Alessandro Magno e la fine orientativamente nel 30 a.C. con l'annessione dell'Egitto all'Impero romano, in [Russo, 2021] pag. 21-23

⁴⁹ Osservazioni di [Russo, 2021] pag. 422-423 e pag. 312-315

⁵⁰ [Ronchi, 2010] pag. 47

⁵¹ Un precursore delle idee galileiane fu Giovanni Battista Benedetti (1530-1590), un matematico che con il suo pensiero aprì la strada al superamento della fisica aristotelica come ricordato anche in [Mach, 1883] edizione italiana pag. 152, che cita Giovanni Vailati (1863-1909), un altro matematico che diede contributi nell'analisi storica ma anche logica e filosofica di molti autori 'classici'

⁵² Eric Marsden, *Greek and Roman artillery: technical treatises* (Clarendon, Oxford 1971) citato da [Russo, 2021] pag 138

risulta chiaro sia da molte altre cose sia, in particolare, da ciò che dirò in seguito [...].

In particolare è notevole la figura di Erofilo (335-280), medico e anatomista, del quale Russo scrive:

Erofilo, per l'introduzione del metodo sperimentale in medicina, per il contributo dato a una nuova concezione della lingua e, soprattutto, per la sua consapevolezza metodologica, emerge dalle testimonianze come uno dei fondatori del metodo scientifico.⁵³

Erofilo fondò una scuola che fu attiva fino al I secolo d.C.. Tra i suoi discepoli diretti troviamo, secondo il racconto di Igino⁵⁴, la prima donna che osò sfidare l'esclusione del proprio sesso dalla professione medica: Agnodice. Secondo Igino, in seguito al successo professionale di Agnodice la proibizione alle donne di esercitare la medicina fu abolita. È un esempio del ruolo svolto dalle donne nella civiltà ellenistica.⁵⁵

Il saggio [Russo, 2021] compie una robusta rivalutazione di tutta la scienza ellenistica, poi dimenticata nei secoli della dominazione imperiale del Mediterraneo da parte di Roma e riscoperta solo in epoca recente o recentissima; Russo considera *teoria scientifica* non solo ciò che riguarda un profondo pensiero astratto che ricorra a modelli teorici ma che abbia anche una struttura rigorosamente deduttiva e che trasferisca le proprie conclusioni al mondo reale, potremmo dire della fenomenologia e della tecnologia, per mezzo di regole di corrispondenza tra gli enti astratti e gli oggetti concreti⁵⁶. Nel merito Russo osserva anche come «la scienza di Descartes, Kepler e Newton, nonostante la sua potenziale superiorità, dovuta alla sua base fenomenologica più vasta, fosse metodologicamente inferiore a quella antica».⁵⁷

Ad esempio è significativa la misura della *precessione degli equinozi*⁵⁸ che ottenne Ipparco di Nicea (190-120), stimandola 0.10° rispetto al valore reale di circa 0.014° , risultato «impensabile se non fosse basato su misure angolari di precisione»⁵⁹.

Tornando al tempo, come ricorda Paul Davies (1946-):

Il presupposto fondamentale della scienza è che esiste un mondo esterno reale, che noi possiamo comprendere⁶⁰, e quel mondo reale include il tempo. Dato un universo razionale, possiamo cercare delle risposte a questioni razionali sul tempo, come l'origine della freccia del tempo, e la data in cui l'universo ebbe origine, se davvero ebbe un'origine. Tuttavia, la cosmologia razionale basata sul modello newtoniano dell'orologio⁶¹, così come la successiva cosmologia termodina-

⁵³ [Russo, 2021] pag. 187

⁵⁴ Gaio Giulio Igino (circa 64-17), scrittore e bibliotecario romano

⁵⁵ [Russo, 2021] pag. 188

⁵⁶ [Russo, 2021] pag. 25-28 passim

⁵⁷ [Russo, 2021] pag. 479; Russo sottolinea come un'analisi anche non approfondita degli scritti di Kepler e di Newton evidenzia come le basi delle loro deduzioni siano quantomeno influenzate da teologia e filosofia pre ellenistica o aristotelica, lungi dall'essere basate su una struttura teorica; René Descartes (1596-1650)

⁵⁸ Fenomeno di lento spostamento dell'asse di rotazione terrestre dovuto alla forma non perfettamente sferica della Terra stessa

⁵⁹ [Russo, 2013] pag. 125

⁶⁰ Questo postulato proviene dalla cultura greca

⁶¹ [Davies, 1995] edizione italiana pag. 21 afferma che si deve a Galilei il «considerare il tempo come quantità misurabile essenziale nell'attività ordinata del cosmo» ma in realtà gli orologi ad acqua che misuravano lo scorrere del tempo riportandolo in unità di lunghezza risalgono al periodo ellenico; sono noti gli orologi di Archimede (circa 287-212) e di Ctesibio (contemporaneo di Archimede nel III secolo a.e.v.), che risolvevano i problemi dei più antichi dispositivi, imprecisi perché non tenevano conto della diversa pressione dell'acqua nei

mica di un universo morente, erano fondate su una concezione del tempo altamente semplicistica. Anche se funzionò per due secoli, la concezione di Newton del tempo era essenzialmente imperfetta. C'era bisogno del genio di Albert Einstein per mostrarne i difetti.⁶²

La concezione del tempo e dello spazio assoluti di Newton era ben distinta dalla percezione umana, come precisato nel *Principia mathematica*:

Tempo, spazio, luogo e moto sono notissimi a tutti. Si deve tuttavia rilevare che tali quantità vengono comunemente concepite soltanto in relazione alle cose sensibili. E da ciò sorgono alcuni pregiudizi, per togliere i quali conviene distinguere le quantità stesse in assolute e relative, vere e apparenti, matematiche e comuni. I. Il tempo assoluto, vero e matematico, in sé e per sua natura senza relazione a qualcosa di esterno, scorre uniformemente, e con un altro nome si chiama durata. Il tempo relativo, apparente e comune è una qualsiasi misura (accurata o meno) della durata per mezzo del moto, che di solito viene impiegata al posto del tempo vero, come l'ora, il giorno, il mese e l'anno.⁶³ II. Lo spazio assoluto, vero e matematico, in sé e per sua natura senza relazione a qualcosa di esterno, rimane sempre omogeneo e immobile. Lo spazio relativo è la misura di quello assoluto, ossia una qualsiasi dimensione mobile che i nostri sensi definiscono per la sua posizione rispetto ai corpi, ed è comunemente usata al posto dello spazio immobile.⁶⁴

Nonostante queste posizioni di Newton siano tra le più discusse dal punto di vista filosofico⁶⁵, Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995) nel suo [Chandrasekhar, 1995] non ritiene di approfondirle:

[...] concerning the notions of *absolute time* and *absolute space* on which Newton bases his dynamics, it will suffice to say that, in current terminology, the space-time manifold that is assumed is the Cartesian product, $t \times$ Euclidean 3-space, where t is Newton's *equable time*.⁶⁶

Anche Ludwig Boltzmann (1844-1906) in qualche modo 'lascia correre' nel merito, si ritiene peccando di superficialità, scrivendo nel 1899:

La stessa difficoltà⁶⁷ si incontra nell'introdurre il concetto di tempo. Anche questo viene introdotto da Newton come assoluto, mentre a noi non è mai dato un tempo simile: sperimentiamo solo la contemporaneità del corso di più eventi. Però qui è più facile trovare rimedio partendo da un avvenimento che si ripete sempre, periodicamente, nelle stesse condizioni. Certo non è possibile creare l'assoluta uguaglianza delle condizioni, ma si può fare in modo che sia estremamente probabile che tutte le condizioni influenti sui processi essenziali siano uguali. Questo *metodo* può essere rafforzato confrontando fra loro fenomeni di diverso tipo che hanno

contenitori; Galileo li aveva sicuramente studiati, perché cita e utilizza un lemma di Archimede nel suo *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*; [Russo, 2019] pag. 71-74

⁶² [Davies, 1995] edizione italiana pag. 37

⁶³ In questa distinzione Newton precisa come fosse errata la descrizione che del tempo aveva fatto Descartes, associandolo alla 'durata delle cose', nel suo *Principia Philosophiae*; osservazione di Franco Giudice, curatore dell'edizione italiana di [Newton, 1687]

⁶⁴ [Newton, 1687] Definizione VIII, Scolio, edizione italiana pag. 29-30; è evidente come questa visione di Newton sia influenzata dalla religione e dall'idea della presenza di un dio

⁶⁵ [Mach, 1883] edizione italiana pag. 241-242, con riferimento al tempo assoluto di Newton: «Allo stesso modo non si può parlare di "tempo assoluto" (indipendente da ogni mutamento). Infatti questo tempo assoluto non può essere commisurato ad alcun moto, e perciò non ha valore né pratico né scientifico. Nessuno può pretendere di sapere alcunché al riguardo di esso. È dunque un inutile concetto "metafisico".»

⁶⁶ [Chandrasekhar, 1995] pag. 22

⁶⁷ Boltzmann si riferisce alla ipotetica meccanica associata all'etere luminoso, anch'esso ipotetico, immaginato come riferimento per rappresentare lo spazio assoluto al quale si riferiva Newton

questa proprietà (la rotazione terrestre, la rotazione del pendolo e quelle della molla di un cronometro). L'accordo di tutti questi fenomeni nell'indicazione di tempi uguali fa escludere ogni dubbio sull'utilità del *metodo*.⁶⁸

La posizione di Newton sull'analisi delle cause (della gravità) è dichiarata con la sua solita rigidità, in questo caso esempio di pseudo-coerenza⁶⁹ intellettuale ma anche filosoficamente in netta opposizione agli insegnamenti di Platone (428/427-348/347) che «nutriva un deciso disprezzo per l'indagine empirica, sostenendo che sminuiva l'obiettivo che la filosofia deve perseguire, ossia arrivare a capire la natura dell'universo attraverso la logica e la ragione»⁷⁰:

Non sono tuttavia ancora riuscito a dedurre dai fenomeni la causa di queste proprietà della gravità, e non fingo ipotesi [“hypoteses non fingo”]. Qualunque cosa infatti non si deduce dai fenomeni deve essere chiamata *ipotesi*; e le ipotesi, sia metafisiche, sia fisiche, sia delle qualità occulte, sia meccaniche, non hanno spazio nella *filosofia sperimentale*. In questa filosofia le proposizioni si deducono dai fenomeni e sono rese generali per induzione.⁷¹

Questa posizione di Newton non era molto lontana da Lucrezio (98/94-50/55):

Nam quid in hoc mundo sit eorum ponere certum difficile est; sed quid possit fiatque per omne in variis mundis varia ratione creatis, id doceo plurisque sequor disponere causas, motibus astrorum quae possint esse per omne; e quibus una tamen siet hic quoque causa necessest quae veget motum signis; sed quae sit earum praecipere haudquaquamst pedetemptim progredientis.⁷²

che a sua volta riprendeva un pensiero di Epicuro (341-270):

Nel caso in cui si accetti una spiegazione rifiutandone un'altra, altrettanto concordante con il *fenomeno*⁷³, è chiaro che si cadrebbe al di fuori di ogni discorso di filosofia della natura e si scivolerebbe nel mito.⁷⁴

Lo spazio newtoniano fu criticato, da un punto di vista fisico, in particolare da Gottfried

⁶⁸ Dal testo delle lezioni tenute nel 1899 alla Clark University (Massachusetts, US), dal titolo *Über die Grundprinzipien und Grundleichungen der Mechanik* (*Sui principi e le equazioni fondamentali della meccanica*), in [Boltzmann, 1905] edizione italiana pag. 132, corsivo aggiunto; Boltzmann definisce quindi l'utilizzo del tempo un *metodo*, analogamente all'interpretazione alla quale si giunge nelle *Conclusioni epistemologiche*

⁶⁹ Si afferma questa critica concordando con quanto espresso da Ernst Mach citato da [Teghil, 2016] a pag. 189, che cita lo stesso Mach in *Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschun* (opera già citata in questo paragrafo): «Preso senza nessuna cautela, l'espressione "hypoteses non fingo" suonerebbe così: "Non congetturo nulla al di là di quel che vedo, non mi faccio assolutamente idee che oltrepassino l'osservazione". In ogni pagina dei suoi scritti Newton contraddice questa interpretazione. Egli spicca proprio per la ricchezza di congetture.»

⁷⁰ [Lindley, 2020] edizione italiana pag. 28

⁷¹ [Newton, 1687] Scolio generale al libro III, edizione italiana pag. 95

⁷² *De Rerum Natura*, Libro V, 526-533. «È difficile dire quale possibilità sia quella vera. Ma io ti espongo non soltanto le cose come sono, quando so come sono, ma anche come possono essere, quando non lo so. Naturalmente, la causa del moto delle stelle è una sola, ma in mancanza di prove a favore non possiamo fingere che le nostre ipotesi siano delle tesi.»; traduzione libera di [Odifreddi, 2013] pag. 207

⁷³ Sul concetto di *fenomeno* cfr anche § 13

⁷⁴ Epicuro in Lettera a Pitocle, riportato in Diogene Laerzio, *Vitae philosophorum*, X, § 87, 5-8, Citato da [Russo, 2021] pag. 220

Leibnitz e da Ernst Mach⁷⁵. Da un punto di vista filosofico fu criticato da Immanuel Kant, con un tentativo di rifondare la scienza newtoniana definendo lo spazio come una forma a priori della nostra intuizione («noi non possiamo pensare al mondo se non in forma spaziale»), in qualche modo sottraendo l'entità *spazio* e riportandolo a come «lo percepiamo», una forma a priori nella nostra mente⁷⁶. Kant sbaglia quando afferma che tutta la fisica newtoniana è un a priori, dice giusto sul fatto che dipenda dal modo in cui «lo comprendiamo» ma questa comprensione non è un a priori come egli sostiene⁷⁷.

Henri Poincaré (1854-1912) partecipò al dibattito sostenendo il *convenzionalismo*, per il quale le idee fondamentali della fisica non appartengono al mondo se non in modo convenzionale, quali descrizioni utili solo all'organizzazione e rappresentazione dell'esperienza. In séguito, l'intuizione di Einstein fu di associare il campo gravitazionale allo spazio definito da Newton, generando uno spazio mobile, che può curvarsi anche se normalmente è piano: lo spazio e il tempo di Newton sono il campo gravitazionale.

A proposito dell'infinito, così Weyl ne commenta il punto di vista scientifico e soggettivo:

[...] nelle scienze naturali siamo in contatto con una sfera che è inaccessibile all'evidenza intuitiva: qui necessariamente la conoscenza diviene costruzione simbolica.

[...] L'infinito completo può solo essere rappresentato con l'aiuto di simboli e da tale relazione ogni atto creativo dell'uomo riceve la propria profonda consacrazione e la propria dignità; ma solo in matematica e in fisica, per quanto posso vedere, la costruzione simbolico-teorica ha acquisito sufficiente solidità per apparire convincente a chi si ponga di fronte a queste scienze in modo non dogmatico.⁷⁸

Per il ruolo del tempo è interessante l'osservazione di Davies, ancorché lontana dalle conclusioni personali (cfr le *Conclusioni epistemologiche*):

Prima di Galileo e di Newton, il tempo era qualcosa di organico, di soggettivo, e non un parametro da misurare con precisione geometrica. Era parte integrante della natura. Newton lo isolò, attribuendogli una esistenza astratta, indipendente, privandolo degli elementi che tradizionalmente gli appartenevano. Venne incluso nella rappresentazione newtoniana del mondo solo come strumento per la descrizione matematica del moto. [...] Einstein gli riassegnò il suo ruolo nel cuore della natura, come parte integrante del mondo fisico.⁷⁹

L'intento iniziale del presente approfondimento era quello di 'andare oltre' questa posizione, ipotizzando che il tempo antropicamente osservato si manifestasse come proprietà della singola particella in viaggio (come *tempo specifico*), piuttosto che essere un ente esterno (un

⁷⁵ «Leggendo questi passi si ha l'impressione che Newton sia ancora sotto l'influenza della filosofia medievale, e non abbia mantenuto il proposito di attenersi al *fattuale*.» [Mach, 1883] edizione italiana pag. 241; corsivo originale

⁷⁶ In particolare nella *Critica della ragion pura*, dove tempo e spazio sono *forme a priori*, intuizioni pure della sensibilità umana, ma il tempo è «condizione formale di tutti i fenomeni in generale» (pag. 74-79 versione italiana UTET, Torino 1967 dell'originale *Kritik der reinen Vernunft*, Hartknoch, Riga, 1787 seconda edizione)

⁷⁷ Pareri espressi da [Rovelli, 2018] citato liberamente in questo capoverso e nel successivo

⁷⁸ Dal saggio *L'infinito*, in [Weyl, 2011] pag. 81-83

⁷⁹ [Davies, 1995] edizione italiana pag. 7

tempo universale come quello newtoniano). Lo studio e le conclusioni non hanno supportato però questa ipotesi, come risulta nelle analisi delle parti II e III.

A proposito della ‘visione del mondo’ di Einstein, si riportano dei pensieri di Wolfgang Pauli (1900-1958):

[...] Questi primi lavori di Einstein sulla teoria della relatività ristretta mostravano già il successo di un metodo, nel campo della fisica, che non procede da un sapere ricevuto per autorità riguardo a quel che le cose sono in sé e per sé. Einstein ci ha nuovamente fatto vedere come il fisico debba imparare a nuotare, senza sostegni del genere e senza regole fisse, in un mare sconfinato di idee, alle quali egli può ben essere ispirato da un mare egualmente sconfinato di materiale empirico, ma che a loro volta non possono essere dedotte da questo in modo puramente logico.⁸⁰

Come ricorda Schrödinger, in quegli anni, «la filosofia positivista afferma[va] che noi non dobbiamo distinguere tra la conoscenza che possiamo ottenere di un oggetto fisico e il suo stato reale. Le due cose s’identificano»⁸¹.

In questo approfondimento un po’ ‘naïf’ si riporta un pensiero di Giacomo Leopardi (1798-1837) sulla relatività soggettiva del tempo:

Quanto più del tempo si tiene a conto, tanto più si dispera d’averne che basti, quanto più se ne gitta, tanto par che n’avanzi.⁸²

e la personalizzazione di Lewis Carrol (1832-1898) nelle parole del Cappellaio Matto:

“If you knew Time as well as I do,” said the Hatter, “you wouldn’t talk about wasting *it*. It’s *him*.” “I don’t know what you mean,” said Alice. “Of course you don’t!” the Hatter said, tossing his head contemptuously. “I dare say you never even spoke to Time!”⁸³.

Un ostacolo allo sviluppo dell'algebra e del simbolismo matematico, che «rimaneva rudimentale e arbitrario [era l'utilizzo dell'abaco⁸⁴ e del sistema di numerazione] romano a base bi-quinaria. Quando Leonardo Fibonacci (1170-1250) a metà del sec. XIII propose il sistema decimale indo-arabo con il posizionamento delle cifre dallo 0 al 9 e, nel suo Liber Abaci, ne dimostrò la praticità con numerosi esempi, ottenne il plauso e l'assenso immediato [anche se] gli abacisti continuarono a prevalere fino al tardo Rinascimento.»⁸⁵

A proposito del metodo scientifico, fu Leibnitz «il primo ad auspicare una logica modellata sulla struttura formale della matematica (che chiamò *mathesis universalis* o *logica*

⁸⁰ [Pauli, 1958] edizione italiana pag. 90, saggio su *Albert Einstein, La teoria della relatività e la scienza* (1955-1958)

⁸¹ [Schrödinger, 1958], edizione italiana pag. 258

⁸² Giacomo Leopardi (1798-1837) in *Pensieri di varia filosofia e di bella letteratura* (detto *Zibaldone*, Le Monnier, Firenze, 1898, 43,2) volume 1, pag. 143

⁸³ Lewis Carrol, *Alice's Adventures in Wonderland*, first edition 1865; chapter VII

⁸⁴ Strumento di calcolo per effettuare semplici operazioni matematiche, basato su una tavoletta con scanalature o aste sulle quali scorrono delle palline (forate) rappresentanti le cifre; modernamente trasformato nel *pallottoliere* (in base 10) utilizzato per l'apprendimento di numeri e primi calcoli nell'infanzia; lo strumento continuò quindi a essere utilizzato per secoli

⁸⁵ [Ronchi, 2010] pag. 50

matematica)»⁸⁶, successivamente formalizzata da George Boole (1815-1864) che «con la sua *Analisi matematica della logica* riuscì per la prima volta a tradurre in equazioni la logica tradizionale.»⁸⁷ Lo stesso Boole nella introduzione al suo saggio scrisse:

Ciò che rende possibile la logica è l'esistenza, nella nostra mente, di nozioni generali: la nostra capacità di concepire una classe e designare con un nome comune gli individui che ne sono membri. La teoria della logica è in tal modo intimamente connessa con quella del linguaggio.⁸⁸

La frase successiva

Nella misura in cui riuscisse il tentativo di esprimere proposizioni logiche mediante simboli le cui leggi di combinazione si fondassero sulle leggi dei processi mentali che tali simboli rappresentano, si compirebbe un passo avanti verso un linguaggio filosofico⁸⁹

sembra essere un preambolo alle posizioni di Ludwig Wittgenstein (1889-1951). Infatti il suo *Tractatus logico-philosophicus*⁹⁰ influenzò il gruppo che prese il nome di *Circolo di Vienna* (*Wiener kreis*) e che si oppose fermamente alla metafisica, fondando sulla logica simbolica una interpretazione (detta anche neopositivismo) che si poneva criticamente rispetto alle filosofie empiriste e positiviste. L'intento fu quello di superarle sia adottando un empirismo radicale sia estremizzando la logica simbolica, per diffondere una concezione scientifica del mondo e contrastare il pensiero metafisico e teologizzante. Si evidenzia come il circolo fosse inizialmente intitolato *Verein Mach*, in onore di Ernst Mach, che pur essendo ormai scomparso, ancora esercitava forte influenza nell'approccio alla filosofia della scienza e in generale della conoscenza per il suo spirito illuministico e la mentalità liberale⁹¹.

Non fu però possibile superare alcune criticità implicite, ad esempio che la logica fosse

rigorosamente deduttiva quindi in grado di costruire il sistema sempre e soltanto dall'alto verso il basso e mai viceversa [...] attribuendo a ogni proposizione teorica così riformulata un significato che poteva realmente apparire come la mera somma delle proposizioni da essa derivanti ma non spiegava come si era giunti alle proposizioni teoriche stesse⁹²,

oppure superare la necessità di creare enunciati atomici 'protocollari' che finivano per perdere universalità.

Una diversa critica alla matematica (espressione della logica), si potrebbe dire dal punto di vista del contenuto semantico della realtà stessa, è portata da Federico Faggin (1941-) in epoca contemporanea:

Nella metodologia corrente, abbiamo sostituito la comprensione della realtà con la comprensione della teoria matematica della realtà, come se le due fossero uguali. Pertanto, la

⁸⁶ [Musso, 2004] pag. 40

⁸⁷ [Musso, 2004] pag. 41

⁸⁸ [Boole, 1847] edizione italiana pag. 6

⁸⁹ [Boole, 1847] edizione italiana pag. 6-7

⁹⁰ [Wittgenstein, 1921]

⁹¹ Lo studio di Mach, stimato tra gli altri anche dallo stesso Einstein come uno dei suoi maestri (sicuramente per la convinzione «che dalla fisica dovessero essere eliminati tutti i concetti che non abbiano una base empirica», non certo per la visione delle teorie scientifiche, per Mach «solo un modo economico per descrivere una vasta collezione di fatti» e non per interpretare le leggi della Natura), merita un approfondimento ad esempio in *Le ragioni di una rilettura di Ernst Mach*, di Massimo Debernardi, in [Mach, 1923], edizione italiana a cui si è fatto riferimento in questo capoverso, pag. 93-103 passim

⁹² [Musso, 2004] pag. 56

comprensione della realtà oggi si esaurisce dicendo: “È così perché la matematica dice così”. Questa attitudine sarebbe quasi corretta, se fossimo sicuri che la teoria matematica della realtà descrive accuratamente la realtà, ma sappiamo invece che le teorie correnti lasciano fuori la vita, la coscienza e il libero arbitrio. La matematica può descrivere solo l’aspetto simbolico della realtà, non quello semantico. La matematica è solo descrittiva, non prescrittiva, come diffusamente si crede.⁹³

Una posizione che supera le discussioni fondazionali sulla assiomatizzazione e la formalizzazione della matematica di inizio Novecento, con posizioni estreme rappresentate da un lato da Giuseppe Peano (1858-1932) e dall’altro forse da Federigo Enriques (1871-1946)⁹⁴, nel mezzo David Hilbert (1862-1943), uno dei sostenitori dell’assiomatizzazione della matematica nonché uno dei padri della matematica moderna, per l’ampiezza e il peso dei suoi contributi, anche nell’ambito della Fisica teorica.

«Al culmine del positivismo logico, Hilbert credeva che non esistessero enunciati indimostrabili»⁹⁵ ma Gödel con il suo *teorema di incompletezza* dimostrò

che qualsiasi sistema abbastanza potente da formalizzare almeno l’aritmetica, se è coerente, allora è incompleto (cioè dai suoi assiomi non possono essere dedotte tutte le proposizioni vere che in esso possono essere espresse)⁹⁶,

si potrebbe dire determinando quindi l’impossibilità logica del predominio assoluto della logica, per quanto anche questa affermazione possa essere criticata come auto-contraddittoria. «What Gödel proved is that mathematical truth is not reducible to (formal or mechanical proof). Syntax cannot supplant semantics»⁹⁷. In positivo, il fatto che tali proposizioni possano essere riconosciute come vere, ma non possano essere dimostrate come tali, implica che «la ragione umana ha una capacità di comprensione che va al di là dell’aspetto puramente logico formale.»⁹⁸ A conferma di questo, Alan Turing (1912-1954) concepì nel 1936 «una ‘macchina universale’ con un esperimento mentale volto a dimostrare che il cosiddetto *problema della decisione* posto dal matematico David Hilbert nel 1928 era irrisolvibile»⁹⁹, gettando peraltro le basi con il suo modello astratto per «una classe di macchine universali in grado di eseguire qualsiasi algoritmo generale», poi diventate gli odierni hardware e software. L’evoluzione della tecnologia informatica ha portato alla cosiddetta *intelligenza artificiale* e alla credenza che gli algoritmi potranno sostituire gli umani in tutte le loro attività, non solo in quelle meccaniche ripetitive, posizione analizzata e criticata in [Faggin, 2022] dal creatore dei processori degli elaboratori

⁹³ [Faggin, 2022] pag. 287

⁹⁴ Considerazioni in [Lolli, 2016] pag. 63; Gabriele Lolli (1942-2025)

⁹⁵ [Faggin, 2022] pag. 269

⁹⁶ [Musso, 2004] pag. 44

⁹⁷ Palle Yourgrau (1950-) in [Yourgrau, 2005] pag. 57

⁹⁸ [Musso, 2004] pag. 47

⁹⁹ [Faggin, 2022] pag. 63-64 anche per l’altra citazione nel capoverso, corsivo aggiunto; «Il ‘problema della decisione’ di David Hilbert era il seguente: dato un enunciato all’interno di un sistema assiomatico, esiste un algoritmo in grado di stabilire se esso sia vero o falso? Turing dimostrò che esistono enunciati per i quali un tale algoritmo non esiste, perché andrebbe avanti all’infinito senza poter mai prendere una decisione. Il risultato di Turing è simile al teorema di incompletezza di Gödel e pone un limite a ciò che è calcolabile con un algoritmo.» [Faggin, 2022] pag. 269

elettronici¹⁰⁰. Si osserva nel merito come l'espressione *intelligenza artificiale* sia fuorviante, non replicando gli elaboratori e gli algoritmi in alcun modo le attività umane normalmente classificate come 'intelligenti', eppure superando queste nei risultati (incluso l'autoapprendimento di giochi o test), in modo anche notevole, basandosi sulla conoscenza di enormi quantità di dati e trattandoli in modo 'semplicemente' statistico.¹⁰¹

Al Circolo di Vienna parteciparono (direttamente o indirettamente) anche matematici e logici (tra cui Gödel), oltre ai filosofi, ma il gruppo di studio si sciolse all'avvento del nazismo e delle persecuzioni di alcuni suoi membri. Si cita per l'importanza anche un altro importante centro di sviluppo scientifico, nato nel dopoguerra con intenti enciclopedici e di 'rifondazione' dell'intera matematica su nuove basi assiomatiche, il gruppo 'Nicolas Bourbaki'¹⁰², fondato a Parigi nel 1952 da grandi matematici dell'epoca¹⁰³ e in séguito origine di una gloriosa produzione scientifica (matematica).

Nel contesto epistemologico del periodo prebellico, nel 1929 furono pubblicate con grande risonanza pubblica (soprattutto negli Stati Uniti, mentre in Europa si sviluppava il dominio nazista in Germania e stavano nascendo le premesse della seconda guerra mondiale) le rivoluzionarie osservazioni di Hubble sulle distanze di alcune galassie, sicuramente esterne alla nostra che si riteneva all'epoca costituire l'intero universo, e sulle velocità di recessione delle galassie stesse, stimata sulla base dell'effetto Doppler associato al redshift, interpretate come una prova dell'espansione dell'intero universo.

Letteratura e fonti

Agostino, 401 - Aurelio Agostino d'Ippona, *Confessiones* (*Confessioni*, edizione italiana a cura di Aldo Moda)

Battaglia, 2005 - Pippo Battaglia, *Il tempo nelle cosmogonie e nelle cosmologie*, in *L'idea del tempo*, raccolta di scritti di Margherita Hack, Pippo Battaglia, Rosolino Buccheri (Utet, Torino, 2005)

Boltzmann, 1905 - Ludwig Boltzmann, *Modelli matematici, fisica e filosofia. Scritti divulgativi* (Bollati Boringhieri, 1999); edizione originale *Populäre Schriften* (Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1905)

¹⁰⁰ La biografia e le realizzazioni di Federico Faggin, fondamentali per il mondo contemporaneo, sono da lui raccontate in *Silicio* [Faggin, 2019]

¹⁰¹ Il saggio [Cristianini, 2023] è interamente dedicato a delineare le caratteristiche dell'intelligenza artificiale come strumento affatto alternativo di analisi e conoscenza

¹⁰² Nome scherzoso forse ispirato al nome di un generale francese dell'800

¹⁰³ Tra i fondatori André Weil (1906-1998), Jean Dieudonné (1906-1992), Henri Cartan (1904-2008) ma in séguito partecipò anche Alexander Grothendieck (1928-2014), un genio del calibro dei grandi matematici dell'800 come Richard Dedekind (1831-1916) o Bernhard Riemann (1826-1866), che produsse una discontinuità nella concezione globale della matematica, come fu il caso di Einstein; egli stesso scrive nel suo *Récoltes et semailles* (1986) che sono entrambi autori di un'opera che «trova compimento attraverso un cambiamento dell'idea che abbiamo dello "spazio" (in senso matematico in un caso, in quello fisico nell'altro) [...] e che prende la forma di una visione unificatrice, in grado di abbracciare un'ampia moltitudine di fenomeni e di situazioni che fino a quel momento apparivano separati gli uni dagli altri». In [Giorello et al., 2014], pag. 49-50 e passim

Boole, 1847 - George Boole, *L'analisi matematica della Logica* (Universale Bollati Boringhieri, Torino 1993); edizione originale *The Mathematical Analysis of Logic* (Macmillan, Barclay & Macmillan, Cambridge, 1847)

Bruno, 1584a - Giordano Bruno, *De la causa, principio et uno*, secondo dialogo filosofico del ciclo dei *Dialoghi cosmologici londinesi* (stampato a Londra nel 1584; ebook edizione liberliber.it tratto dalla edizione Einaudi, 1973)

Bruno, 1584b - Giordano Bruno, *De l'infinito, universo e mondi*, terzo dialogo filosofico del ciclo dei *dialoghi cosmologici londinesi* (stampato a Londra nel 1584; Enigma edizioni, 2021)

Capra, 1975 - Fritjof Capra, *Il Tao della fisica* (Adelphi Edizioni spa, 1982); edizione originale *The Tao of Physics* (1975)

Chandrasekhar, 1995 - Subrahmanyan Chandrasekhar, *Newton's Principia for the common reader* (Oxford University Press, Inc., 1995)

Cristianini, 2023 - Nello Cristianini, *La scorciatoia - Come le macchine sono diventate intelligenti senza pensare in modo umano* (Il Mulino, Bologna, 2023)

Davies, 1995 - Paul Davies, *I misteri del tempo. L'universo dopo Einstein* (Mondadori 1996); edizione originale *About Time* (1995)

Einstein, 1934 - Albert Einstein, *Come io vedo il mondo* (Newton Compton Editori, 1975); edizione originale *Mein Weltbild* (1934)

Faggin, 2019 - Federico Faggin, *Silicio* (Mondadori, 2019)

Faggin, 2022 - Federico Faggin, *Irriducibile, La coscienza, la vita, i computer e la nostra natura* (Mondadori Libri spa, 2022)

Giorello et al., 2014 - Giulio Giorello et al., *Matematica ribelle. Le due vite di Alexander Grothendieck* (RCS MediaGroup spa, 2014)

Heidegger, 1926 - Martin Heidegger, *Essere e tempo* (Mondadori, 2016); edizione originale *Sein und Zeit* (1926)

Horn, 1995 - Cristoph Horn, *Sant'Agostino* (Il Mulino, Bologna, 2024); edizione originale *Augustinus* (Beck, Munchen, 1995)

Jammer, 2006 - Max Jammer, *Concept of Simultaneity, from Antiquity to Einstein and Beyond* (The John Hopkins University Press, Baltimore, 2006)

Lindley, 2020 - David Lindley, *Quale universo? Come la fisica fondamentale ha smarrito la strada* (Einaudi, 2021); edizione originale *The Dream Universe: How Fundamental Physics Lost Its Way*

Mach, 1883 - Ernst Mach, *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico* (Universale Scientifica Boringhieri, 1977); edizione originale *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt* (F.A. Brockhaus, Leipzig 1883)

Mach, 1923 - Ernst Mach, *L'evoluzione della scienza, Nove "lezioni popolari"* (raccolta di scritti con ampia introduzione critica di Massimo Debernardi, edizioni Melquiades, Milano, 2010); edizione originale *Populär-wissenschaftliche Vorlesungen* (Lipsia, 1923)

Musso, 2004 - Paolo Musso, *Forme dell'epistemologia contemporanea* (Urbaniana University Press, Città del Vaticano, 2004)

Newton, 1687 - Isaac Newton, *Principi matematici della filosofia naturale* (Piccola Biblioteca Einaudi, Torino 2018); edizione originale *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (London, 1687)

Odifreddi, 2013 - Piergiorgio Odifreddi, *Come stanno le cose, Il mio Lucrezio, la mia Venere* (RCS Libri spa, Milano, 2013)

Pauli, 1958 - Wolfgang Pauli, *Fisica e conoscenza* (Paolo Boringhieri, 1964), edizione originale *Aufsätze und Vorträge über Physik und Erkenntnistheorie* (come raccolta a cura dell'autore 1933-1958)

Prigogine e Stengers, 1988 - Ilya Prigogine e Isabelle Stengers, *Tra il tempo e l'eternità* (Bollati Boringhieri 1989); edizione originale *Entre le temps et l'éternité* (Librairie Arthème Fayard, Parigi, 1988)

Romano, 2010 - Giuliano Romano, *I primi giganti dell'astronomia moderna, da Cusano a Newton* (Ateneo di Treviso, 2010)

Ronchi, 2010 - Claudio Ronchi, *L'albero della conoscenza. Luci e ombre della scienza* (Jaca Book, Milano, 2010)

Rovelli, 2018 - *Il successo empirico della relatività generale e le sue implicazioni anche filosofiche per la comprensione della natura dello spazio e del tempo* (Lettura Corsiniana Accademia nazionale dei Lincei del 3/6/2018, www.lincoln.it/en/node/4616, visitato 15/1/23)

Rovelli, 2023 - Carlo Rovelli, *Buchi bianchi, dentro l'orizzonte* (Adelphi, Milano, 2023)

Russo, 2013 - Lucio Russo, *L'America dimenticata, I rapporti tra le civiltà e un errore di Tolomeo* (Mondadori Università, collana Scienza e Filosofia, 2013)

Russo, 2019 - Lucio Russo, *Archimede, un grande scienziato antico* (Carocci Editore, Roma, 2019)

Russo, 2021 - Lucio Russo, *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna* (prima edizione Feltrinelli 1996, edizione completamente rivista Feltrinelli, Milano, 2021)

Schrödinger, 1958 - Erwin Schrödinger, *La mia visione del mondo* (raccolta di saggi pubblicati tra il 1929 e il 1958, pubblicata con variazioni da Bollati Boringhieri come *L'immagine del mondo*, Torino, 2017)

Teghil, 2016 - Alberto Teghil, *La concezione dell'esperimento mentale in Ernst Mach* (Editrice Universitaria Udinese, Forum 2016)

Yourgrau, 2005 - Pallo Yourgrau, *A World Without Time: The Forgotten Legacy of Godel And Einstein* (Basic Books, 2005)

Weyl, 1927 - Hermann Weyl, *Filosofia della matematica e delle scienze naturali* (Boringhieri editore, 1967); edizione originale *Philosophie der Mathematik und Naturwissenschaft* (Oldenbourg Verlag, München, 1927)

Weyl, 2011 - Hermann Weyl, *Pensare la matematica, Saggi e Prolegomeni* (raccolta di scritti a cura e con ampia introduzione di Marta Perego, Edizioni Melquiades, 2011)

Wittgstein, 1921 - Ludwig Wittgstein, *Tractatus Logico-Philosophicus* (Einaudi, 1995); edizione originale *Logisch-philosophische Abhandlung* (Annalen der Naturphilosophie, 1921)

Zellini, 1980 - Paolo Zellini, *Breve storia dell'infinito* (Adelphi Edizioni, 1980)

Zellini, 1999 - Paolo Zellini, *Gnomon. Una indagine sul numero* (Adelphi Edizioni, 1999)

Zellini, 2022 - Paolo Zellini, *Discreto e continuo. Storia di un errore* (Adelphi Edizioni, 2022)