

Panoramica sul tempo agli inizi della scienza moderna

*La scienza naturale non descrive e spiega semplicemente la natura;
essa è una parte dell'azione reciproca tra noi e la natura;
descrive la natura in rapporto ai sistemi usati da noi per interrogarla.*
Werner Heisenberg¹

Si intende come *moderna* la scienza sviluppata in séguito alla *teoria quantistica* di Max Planck (1858-1947) sull'emissione non continua di radiazione, sviluppata agli inizi del Novecento². La crisi della scienza classica non mancò di creare dei *contrast*i nei gruppi di scienziati che aderivano o meno alle nuove teorie³, come lucidamente analizzato in séguito anche da Thomas Kuhn (1922-1996), determinando forse una *apertura mentale* alla creazione di teorie che da una parte ponevano il massimo accento sulla logica e la matematica, dall'altra sfidavano affatto il senso comune e le conoscenze fisiche consolidate.

Nello sfondo del contesto scientifico di inizio secolo era infatti presente una nuova visione della realtà fisica, sintetizzata da Werner Heisenberg (1901-1966) in epigrafe ma anche in una sua pubblicazione precedente:

[...] the new mathematical formulae no longer describe nature itself but *our knowledge* of nature. We have had to forego the description of nature which for centuries was considered an obvious aim of all exact science. [...]

When we speak of the picture of nature in the exact science of our age, we do not mean a picture of nature so much as a *picture of our relationships with nature*.⁴

Per la logica è necessario ricordare il fondamentale contributo di un *continuatore* degli studi di Boole, Gottlob Frege (1848-1925), la cui *Begriffsschrift* (*Scrittura per concetti*) del 1879 «rappresenta un tentativo di costruzione di un linguaggio formalizzato, ossia di un sistema simbolico sulla base del criterio di verità e validità delle preposizioni.»⁵ Da un punto di vista filosofico, assunto

un certo concetto di scienza, come *episteme*⁶, il criterio di verità è fornito dall'immediata

¹ Heisenberg in *Fisica e Filosofia* [Heisenberg, 1958] edizione italiana pag. 85; questa posizione di Heisenberg è *antirealista*, basata sulla meccanica quantistica che caratterizza la scienza moderna

² Anche se il termine 'Fisica moderna' è solitamente associato alla meccanica quantistica e ai suoi sviluppi

³ Il periodo di transizione dalla scienza classica alla scienza moderna è efficacemente raccontato in forma romanzata in [McCormach, 1982]

⁴ [Heisenberg, 1955] edizione inglese pag. 25 e 29

⁵ [Danielis, 1996] pag. 4; si ricordano anche gli altri due importanti lavori di Frege per la fondazione su basi logiche dell'aritmetica, il *Die Grundlagen der Arithmetik* (*I Fondamenti dell'Aritmetica*) e il *Grundgesetze der Arithmetik* (*I Principi dell'Aritmetica*); da un punto di vista pragmatico, si devono a Frege i concetti di *variabile*, *costante*, *funzione*, *contenuto concettuale* e l'adozione di una notazione simbolica per la costruzione degli enunciati; prima di Frege un determinante sviluppo nel simbolismo dell'aritmetica fu dato da François Viète (1540-1603), come ricorda anche Weyl nella conferenza del 1940 *Il modo di pensare matematico* in [Weyl, 2011] pag. 102

⁶ Nel linguaggio filosofico greco, *episteme* indicava l'aspetto rigoroso e teorico della conoscenza; nella fi-

denotazione delle premesse (il vero), ossia che ciò che viene detto è così e non altrimenti. La verità sarà dunque, da un lato, la *necessità del porsi a noi in contraddittorio del dato* e, dall'altro, *in quanto riferita al vero, fondante la coerenza per la quale da quelle premesse seguono proposizioni vere*. L'essere fondante e l'essere coerente, come necessità rispettivamente ontologica e logica, sono la scientificità del sapere che in tale portata sintetica supera l'apparente tautologia o il carattere "chiuso" del sistema. L'uso del linguaggio simbolico, consentito dal contenuto che è stato precedentemente attribuito ai segni, ossia a quel riferimento al vero, permetterà inoltre la formulazione di proposizioni rigorose e immuni da equivocità.⁷

Senza togliere meriti al lavoro di Frege, non bisogna dimenticare come una certa affinità tra la logica proposizionale stoica (del periodo ellenistico) e quella formulata da Frege ricordi come molte idee ellenistiche siano alla base di altrettante idee moderne che non sono quindi nate da zero ma che probabilmente sono state ispirate dalla lettura diretta o indiretta (grazie alle citazioni) degli autori ellenistici, purtroppo abbandonati e dimenticati in sèguito al tracollo culturale conseguente alla conquista romana del Mediterraneo nel II secolo a.e.v.⁸.

Per la fisica i riferimenti sono almeno i rivoluzionari lavori sulla relatività di Albert Einstein (1879-1955) ma anche il suo studio su inerzia ed energia [Einstein, 1905] e sulla corretta interpretazione dell'effetto fotoelettrico (per la quale gli fu assegnato il premio Nobel nel 1921); questi lavori si basano anche sui risultati di altri scienziati, i contributi dei quali sono stati fondamentali: tra questi, per la relatività sicuramente Ernst Mach (1838-1916), Bernhard Riemann (1826-1866), Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), Henri Poincaré (1854-1912). Essi singolarmente produssero corrette intuizioni su modelli che superavano la visione tradizionale consolidata ma ci volle il genio di Einstein per sistematizzare tutto in una teoria completa, come fu esplicitamente riconosciuto dagli stessi (a parte Riemann, deceduto prima della nascita di Einstein).

L'apprezzamento della teoria della relatività all'inizio non fu affatto unanime, anche per ragioni diverse dalle potenziali criticità meramente scientifiche, come ricorda Andrea Oppo (1970-):

Nel 1932 apparve in Unione Sovietica – ad opera di Vladimir G. Friedman, autore di articoli sulla storia della fisica da un punto di vista marxista – una critica devastante della teoria della relatività di Einstein, accusata di essere una fisica borghese e parzialmente idealista che rifletteva in pieno la crisi del capitalismo moderno. La fisica di Einstein veniva esplicitamente paragonata dall'autore al genere di 'fantasie' metafisiche e religiose espresse da Florenskij negli *Immaginari in geometria*. [...] Molti fisici sostenitori delle idee di Einstein morirono nelle prigioni politiche.⁹

I filosofia contemporanea il termine comprende l'insieme delle conoscenze positive e delle teorie scientifiche che caratterizzano una data epoca [adattato da enciclopedia Treccani online]; «conoscenza più alta delle verità generali e necessarie» secondo [Pauli, 1958] edizione italiana pag. 125, nel saggio *La scienza e il pensiero occidentale* (1958)

⁷ [Danielis, 1996] pag. 4-5; corsivo originale

⁸ Processo ampiamente analizzato e dimostrato in [Russo, 2022]; il commento su Frege è a pag. 234-235

⁹ Andrea Oppo, nell'Introduzione (pag. 15-16) a Pavel Florenskij (1882-1937), *Gli immaginari in geometria, estensione del dominio delle immagini bidimensionali nella geometria* (Mimesis, Milano, 2021), edizione italiana di *Mnimosti v geometrii. Rassirenje oblasti dvuchmernych obrazov geometrii (Opyt novogo istolkovanija mnimostej)* (Pomor'e, Mosca, 1922); lo stesso Florenskij fu fucilato dopo quattro anni trascorsi in un gulag con l'accusa di anti-modernismo da parte del governo sovietico.

Negli Stati Uniti uno dei principali oppositori alla *relatività (ristretta)* fu Dayton Miller (1866-1941), sostenitore della teoria dell'*etere* e autore di presunte misurazioni interferometriche della sua deriva, con le quali intendeva confutare la teoria di Einstein, rivelatesi poi frutto di errore sperimentale¹⁰.

E mentre «il tempo è sempre rimasto al di fuori del dominio della fisica quantistica, e i tentativi di inglobarlo finiscono, paradossalmente, per eliminarlo»¹¹, «Einstein ancorò l'esperienza del tempo all'osservatore individuale»¹². La cosmologia derivante dalla *relatività generale* postula invece l'esistenza di un *tempo universale*, sul quale si basa l'evoluzione del *fattore (spaziale) di scala* nelle equazioni di Aleksandr Fridman (1888-1925) della dinamica cosmica.

In un certo senso la *relatività ristretta* ha superato la *visione antropica* del tempo, legato a una universalità che ne poneva però il centro nel sistema di riferimento umano, spostando di fatto il concetto di *ora* ('il mio tempo') a quello di *contemporaneità* o di *sincronizzazione* di eventi, annullando il senso tradizionale della sequenza temporale degli eventi riferita a un solo osservatore.

The bold concept of a universal now has been replaced with the more modest 'here and now', the *event*, which associates an instant of time only with a single point in space.¹³

Una delle conseguenze del punto di vista antropico è il *percepito psicologico* dello scorrere del tempo, che dà origine al malinteso che legittima il concetto di *asimmetria* del tempo stesso; Rosolino Buccheri (1943-) la chiama *freccia del tempo psicologica*¹⁴.

Come precisa Paul Davies:

A closer inspection reveals that it is more appropriate to regard the asymmetry as a collective property of physical systems *in* (space-)time. In this sense, time as such does not possess any *intrinsic* orientation, asymmetry, movement, direction or arrow. In an empty universe such things do not exist. Time asymmetry is here taken to mean the basic fact of nature that the contents of the world possess a structural distinction between past and future facing orientations.¹⁵

Quindi la freccia del tempo, anche relativamente all'entropia, è in qualche misura sopravvalutata come importanza, essendo

an explanation of what is *actually observed* by macroscopic human beings, and *not* an attempt at a theoretical description of a special quality with an independent existence. Contrary to wide-

¹⁰ Thomas J. Roberts, *An Explanation of Dayton Miller's Anomalous 'Ether Drift' Result* (Illinois Institute of Technology, Chicago US, 2006)

¹¹ [Davies, 1995] edizione italiana pag. 9; Paul Davies (1946-)

¹² [Davies, 1995] edizione italiana pag. 24

¹³ [Davies, 1974] pag. 2

¹⁴ [Buccheri, 2005] pag. 140

¹⁵ [Davies, 1974] pag. 3-4; corsivo originale

spread belief, time asymmetry is only a *type of description*, relevant to macroscopic worldview of the physicist, rather than an extra *physical* ingredient to be added to the laws of mechanics.¹⁶

Tra gli importanti contributi teorici significativi fino agli anni '80, quando le conoscenze cosmologiche consentivano molti modelli di universo ancora possibili, quello di Richard Chace Tolman (1881-1948) fu

the discovery that *gravitation* provides the ultimate and inexhaustible reservoir of negative entropy for the universe, and such lies at the very foundation of the subject of time asymmetry.”¹⁷

Le teorie evolutive stellari non comprendono esplicitamente la variabile tempo e la direzione evolutiva implicita verso un aumento della stessa sembra essere conseguenza di un valore iniziale incredibilmente basso, che sembra suggerire una non casuale visione antropica del *tutto*, da interpretare semplicemente come la (fortuita!) possibilità che il *tutto* sia antropicamente osservato, *non* la necessità!

Davies approfondisce come

the event referred to as the *beginning* of the universe (in the big-bang sense) may be described as the temporal extremity at which there is a *mismatch* between the boundary conditions on the global dynamical motion as determined by gravity, and the microscopic particle motion of the cosmological material, as determined by electromagnetic, weak and strong interaction. [...] Therefore this mismatch might be regarded as the ultimate origin of time asymmetry in the world, and for the ever expanding big-bangs models, the mismatch simply accepted as a fact of nature, like the mass of proton.¹⁸

Uno dei fondamentali contributi di Einstein, «che le leggi della natura devono essere espresse in una forma che non presuppone che lo spazio abbia una geometria fissa»¹⁹ (principio dell'*indipendenza dal background*), significa che lo spazio e il tempo emergono dalle leggi stesse, più che rappresentare il *luogo* dove si verificano gli eventi.

Un altro aspetto dell'*indipendenza dal background* è che non esiste un tempo privilegiato. La relatività generale descrive la storia del mondo più che altro in termini di eventi e relazioni tra gli eventi. Le relazioni principali hanno a che vedere con la causalità; un certo evento può appartenere alla catena di cause che portano ad un altro evento. Da questo punto di vista, lo spazio è un concetto secondario, perché la realtà è totalmente dipendente dal concetto di tempo.²⁰

Pertanto

non esiste un modo privilegiato di registrare il tempo. Va bene ogni sorta di orologio, purché mostri che le cause precedono gli effetti. Tuttavia, poiché la definizione dello spazio dipende dal tempo, esistono tante definizioni diverse dello spazio quante ne esistono del tempo. Poc' anzi ho

¹⁶ [Davies, 1974] pag. 4; corsivo originale

¹⁷ Citato da [Davies, 1974] pag. 6

¹⁸ [Davies, 1974] pag. 7; corsivo originale

¹⁹ [Smolin, 2006] edizione italiana pag. 82

²⁰ [Smolin, 2006] edizione italiana pag. 82

parlato della geometria dello spazio che si evolve nel tempo. Questo è vero non per un unico concetto universale del tempo, ma *per ogni possibile concetto del tempo*.²¹

Si osserva che, pur essendo «l'idea dell'indipendenza dal background nella sua accezione più ampia [...] un saggio suggerimento su come fare scienza»²², nello sviluppo delle teorie quantistiche e della fisica delle particelle elementari questo principio fondante sia stato abbandonato nel corso del Novecento dalla maggior parte dei ricercatori, certamente influenzati dagli aspetti di convenienza sociale del rimanere *nel paradigma* corrente (cattedre e finanziamenti di ricerca piuttosto che incarichi post-doc a scadenza) che vincolava la direzione della ricerca, indirizzata verso sviluppi più 'promettenti' legati alle particelle elementari e agli acceleratori. Le ricerche dei primi pionieri nello studio della gravità quantistica (teoria unificatrice di gravità e fisica quantistica quindi indipendente dal background), come il russo Matvei Petrovič Bronstein (1906-1938) o il francese Jacques Solomon (1908-1942), anche a causa della loro morte prematura (per coinvolgimento politico e bellico) non hanno avuto séguito fino alla fine del secolo. Solo abbandonando le idee, dimostratesi errate, che la geometria di background fosse fissa e che gli oggetti che si muovono nella geometria di background fossero particelle, si ottennero buoni risultati verso la teoria della gravità quantistica.²³

Quanto affermato nel precedente capoverso è relativo ai *paradigmi* e alle loro implicazioni nello sviluppo della conoscenza scientifica.

In una visione completa dello spaziotempo, la gravità, conseguenza della presenza di massa o energia, non solo distorce lo spazio ma rallenta anche il tempo e si potrebbe affermare che «un sasso cade perché segue una traiettoria diritta nello spaziotempo distorto dal rallentamento locale del tempo»²⁴.

L'*eliminazione* del tempo alla quale accenna Davies nella citazione relativa alla *fisica quantistica* si riferisce alla sua granularità, come precisa Carlo Rovelli (1956-):

La granularità è ubiqua in natura: la luce è fatta di fotoni, particelle di luce. L'energia degli elettroni negli atomi può prendere solo certi valori e non altri. [...] Una volta capito che spazio e tempo di Newton sono entità fisiche come le altre, è naturale aspettarsi che anch'essi siano granulari. La teoria conferma questa idea: la gravità quantistica a loop prevede che i salti temporali elementari siano piccoli, ma finiti.²⁵

Esiste una scala minima per tutti i fenomeni²⁶. Per il campo gravitazionale questa si chiama 'scala di Planck'. Il tempo minimo è chiamato 'tempo di Planck'²⁷.

La natura continua o discontinua della materia e dell'energia è stata oggetto di un approfondimento anche storico già da Luis de Broglie (1892-1987), che ne evidenziò la

²¹ [Smolin, 2006] edizione italiana pag. 82-83, corsivo aggiunto

²² [Smolin, 2006] edizione italiana pag. 83-86 e passim per le osservazioni del paragrafo

²³ [Smolin, 2006] edizione italiana pag. 98

²⁴ [Rovelli, 2023] pag. 43

²⁵ [Rovelli, 2017] pag. 76

²⁶ «Non è possibile localizzare un grado di libertà in una regione del suo spazio delle fasi con un volume più piccolo della costante di Planck.» [Rovelli, 2017] pag. 189

²⁷ [Rovelli, 2017] pag. 75; il tempo di Planck corrisponde a 10^{-44} secondi

dipendenza delle interpretazioni quantistiche²⁸, inclusa la sovrapposizione ondulatoria e corpuscolare, precisando nella conclusione che

Quando, discendendo la scala delle grandezze, il fisico affronta il mondo atomico, il mondo dei corpuscoli, vi incontra un elemento interamente nuovo e irriducibile, il quantum d'azione, il cui intervento trascina seco le importanti conseguenze che abbiamo cercato di analizzare. Il valore finito della costante di Planck, permettendo di definire e di opporre la scala microscopica a quella macroscopica, ha per effetto che, nel mondo fisico, l'infinitamente piccolo non è affatto una riduzione omotetica dell'infinitamente grande.²⁹

Inoltre, tornando così in qualche modo all'interpretazione aristotelica, è necessario

pensare il mondo come un insieme di eventi, di processi, è il modo che ci permette di meglio coglierlo, comprenderlo, descriverlo. È l'unico modo compatibile con la relatività. Il mondo non è un insieme di cose, è un insieme di eventi.³⁰

L'assenza del tempo non significa quindi che tutto sia gelato e immoto. Significa che l'incessante accadere che affatica il mondo non è ordinato da una linea del tempo, non è misurato da un gigantesco tic-tac. Non forma neppure una geometria quadridimensionale. È una sterminata e disordinata rete di eventi quantistici.³¹

Letteratura e fonti

Buccheri, 2005 - Rosolino Buccheri, *Le frecce del tempo*, in *L'idea del tempo*, raccolta di scritti di Margherita Hack, Pippo Battaglia, Rosolino Buccheri (Utet, Torino, 2005)

Danielis, 1996 - Adriana Danielis, *Per una lettura istituzionale del 'Begriffsschrift' di Frege* (Edizioni Lint, Trieste, 1996)

Davies, 1974 - Paul Davies, *The Physics of Time Asymmetry* (University of California Press Berkeley and Los Angeles, 1974)

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

de Broglie, 1937 - Louis de Broglie, *Materia e luce* (Bompiani, Milano, 1940), edizione originale *Matière et lumière* (Albin Michel, Paris, 1937)

Einstein, 1905 - Albert Einstein, *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energiegehalt abhängig?* (Annalen der Physik, 18:639, 1905), tradotto in *The Principle of Relativity* (Methuen and Co. Ltd, London 1923), col titolo *Does the inertia of a body depend upon its energy-content?*

²⁸ In particolare nella raccolta di scritti [de Broglie, 1937]

²⁹ [de Broglie, 1937] edizione italiana pag. 253

³⁰ [Rovelli, 2017] pag. 87

³¹ [Rovelli, 2017] pag. 92

Heisenberg, 1955 - Werner Heisenberg, *The physicist's Conception of Nature* (Beaverbrook Newspaper, London 1962); edizione originale *Das Naturbild der Heutigen Physik* (Rowohlt, 1955)

Heisenberg, 1958 - Werner Heisenberg, *Fisica e Filosofia* (Il Saggiatore, Milano 1961); edizione originale *Physics and Philosophy* (1958)

McCormmach, 1982 - Russel McCormmach, *Pensieri notturni di un fisico classico* (Editori Riuniti, 1990); edizione originale *Night thoughts of a classical physicist* (Harvard University Press, Cambridge, Massachussets, London, 1982)

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

Rovelli, 2017 - Carlo Rovelli, *L'ordine del tempo* (Adelphi, Milano, 2017)

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

Smolin, 2006 - Lee Smolin, *L'universo senza stringhe* (Giulio Einaudi Editore, Torino, 2007); edizione originale *The trouble with physics. The rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes next* (Houghton Mifflin Harcourt, Boston, 2006)

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)