Zeitschrift: Freiburger Zeitschrift für Philosophie und Theologie = Revue philosophique et théologique de Fribourg = Rivista filosofica e teologica di Friburgo = Review of philosophy and theology of Fribourg

Band: 64 (2017)

Heft: 2: ó

Artikel: Newton e Einstein : fisica, epistemologia e metafisica

Autor: Laudisa, Federico

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-825807

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 01.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

FEDERICO LAUDISA

Newton e Einstein: fisica, epistemologia, metafisica

1. INTRODUZIONE

Al di là della rilevanza strettamente scientifica della loro opera, Isaac Newton e Albert Einstein rappresentano figure ideali per discutere il rapporto tra filosofia e scienza e la natura di alcuni problemi specificamente filosofici che nascono *dall'interno* delle teorie scientifiche. Newton e Einstein rappresentano infatti figure anche simboliche che svolgono il ruolo di spartiacque: Newton tra scienza antica e scienza moderna, Einstein tra fisica 'classica' e fisica 'post-classica'. La loro opera si presta dunque in modo particolarmente utile per mettere a fuoco vere e proprie rivoluzioni categoriali, nelle quali è più interessante analizzare i rapporti tra scienza, epistemologia e metafisica. Nelle pagine seguenti, dopo un accenno ad alcuni dei più profondi significati della rivoluzione scientifica moderna, ci soffermeremo sull'analisi di alcune implicazioni epistemologiche particolarmente rilevanti della scienza newtoniana ed einsteiniana: come esempio della complessa interazione tra fisica, epistemologia e metafisica nel sistema newtoniano prenderemo in considerazione il problema dello statuto e del ruolo di spazio e tempo assoluti, mentre nel caso di Einstein prenderemo in considerazione il problema dello statuto della simultaneità tra eventi distanti.

2. LE ORIGINI DELLA SCIENZA MODERNA E IL SUO SIGNIFICATO FILOSOFICO

Tra gli eventi che maggiormente contribuiscono alla fondazione della modernità occidentale, accanto alle rivoluzioni economiche, politiche, sociali e culturali un posto di rilievo spetta senza dubbio alla cosiddetta «rivoluzione scientifica», almeno nel senso in cui questa ci è oggi familiare, vale a dire quello di una grande impresa collettiva volta tanto alla scoperta delle leggi naturali fondamentali quanto alle loro implicazioni tecnologiche e applicative in generale. Nei centocinquant'anni che dividono il *De Revolutionibus Orbium Celestium* di Niccolò Copernico (1543) dai *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* di Isaac Newton (1687), si consolida una visione sempre più unitaria del mondo naturale, attraverso un processo culturale che lo separa in modo irreversibile dalle immagini cosmo-teolo-

giche premoderne.[1] Alcune delle caratteristiche di questo processo hanno un significato filosofico autonomo e particolarmente rilevante: si tratta di fondamentali implicazioni che la nascita della scienza moderna determina nella struttura stessa di una razionalità scientifica in senso ampio.

In primo luogo, si sviluppa una diffusa e più marcata disposizione alla *modellizzazione* e all'*astrazione* nella descrizione e spiegazione dei processi naturali. Coloro che sarebbero diventati i protagonisti della nascita della scienza moderna misero all'opera ciò che agli occhi di uno scienziato contemporaneo appare un prerequisito minimale dell'indagine scientifica: per comprendere in senso generale un fenomeno, le proprietà che esso soddisfa e le leggi che ne governano il comportamento, è necessario costruire in prima istanza una *rappresentazione astratta e idealizzata* del fenomeno stesso. Questo rende possibile una migliore integrazione della componente empirica e della componente logica della scienza – che nel passato erano state tenute largamente distinte – e soprattutto un'applicazione sempre più estesa della matematica ai fenomeni naturali: come possiamo ben comprendere oggi, a più di quattro secoli di distanza dalla rivoluzione scientifica, la potenza formale della matematica può dispiegarsi adeguatamente soltanto se applicata a descrizioni semplici e idealizzate dei fenomeni studiati. Si fa strada insomma nella rivoluzione scientifica l'idea che la crescita della nostra comprensione di un determinato fenomeno naturale passi necessariamente attraverso un certo grado di *matematizzazione* nella descrizione di quel fenomeno e, di conseguenza, attraverso la costruzione di un *modello* di quel fenomeno, vale a dire una descrizione astratta che preserva – in forma semplificata – solo quelle caratteristiche del fenomeno originario che appaiono più adatte a essere analizzate in forma rigorosa. Ciò implica che, nel tentare di comprendere le basi di un fenomeno naturale mediante un suo modello, gli scienziati dovranno stare attenti non soltanto alle proprietà che considerano importanti (e che saranno presenti nel modello), ma anche a quelle che decideranno di tralasciare e che quindi il modello ignorerà. Una precisazione essenziale, prima di continuare. Alla nascita di ciò che *oggi* definiamo 'scienza moderna' concorrono un gran numero di scienze e indagini particolari, e soltanto per una parte di esse il processo di matematizzazione cui abbiamo appena accennato ebbe un ruolo decisivo: ci furono in altre parole svariate discipline che contribuirono in modo essenziale a formare una moderna immagine del mondo e nelle quali la matematica ebbe un ruolo limitato o nullo.[2] L'esempio più chiaro è naturalmente la rivoluzione darwiniana, in seguito alla quale si sviluppa nelle scienze biologiche un quadro esplicativo destinato a comprendere sotto di sé l'intero complesso

[1] ROSSI, Paolo: *La nascita della scienza moderna in Europa*. Roma: Laterza 2005.

[2] CLERICUZIO, Antonio: *La macchina del mondo. Teorie e pratiche scientifiche dal Rinascimento a Newton*. Roma: Carocci 2005.

dei fenomeni del vivente. Rimane tuttavia il fatto filosoficamente assai significativo che la scienza moderna esce da uno stato di minorità quando comprende che la conoscenza della natura progredisce attraverso strutture *ideali*, capaci di spiegare i fenomeni concreti proprio come *approssimazioni* di quelle strutture.

Proprio sullo sfondo del radicale rovesciamento di prospettiva implicito nella rivoluzione scientifica, assume allora un effettivo significato il riferimento alla nuova centralità del concetto di *esperimento*, una centralità che nel passato è stata sovente intesa come l'elemento di novità quasi esclusivo di tutta la scienza moderna. Non di rado, infatti, numerose presentazioni più o meno divulgative dei caratteri fondamentali della scienza moderna (presentazioni contenute in volumi di larga diffusione, in testi scolastici o in capitoli introduttivi di manuali scientifici di livello universitario) si concentravano sulla presunta scoperta di un enigmatico 'metodo sperimentale' come evento messianico dell'era moderna: dalla sera alla mattina, una simile scoperta avrebbe magicamente dato avvio alle magnifiche sorti della conoscenza scientifica del mondo (nonché – secondo certe letture più pessimistiche – al dominio tecnico della scienza *sul* mondo). In questa visione la scienza moderna prenderebbe avvio in modo pressoché esclusivo dal ricorso crescente all'esperimento nelle indagini naturali, a scapito di una conoscenza 'libresca' e puramente teorica ereditata dalla cultura antica.

Questa visione è naturalmente inadeguata, e lo è a vari livelli: essa risulta infatti non soltanto incapace di cogliere in modo effettivo alcuni dei principali snodi nella storia del pensiero scientifico, ma anche di mettere nella luce corretta le implicazioni epistemologiche più generali della nascente immagine scientifica del mondo. L'uso di procedure sperimentali sempre più rigorose acquista infatti il suo significato più profondo quando queste procedure vengono messe per così dire 'al servizio' di un modello astratto e ideale del fenomeno naturale che è oggetto di indagine. In questo senso, la formulazione del modello *precede* l'ideazione di un apparato sperimentale, dal momento che essa delinea quella costruzione artificiale – sia essa puramente mentale o concretamente realizzabile – alla quale l'apparato sperimentale può venir applicato in modo mirato e specifico: senza l'orizzonte teorico fornito dalla modellizzazione astratta, in altre parole, l'uso di metodi sperimentali risulterebbe conoscitivamente 'cieco'.[3]

Attraverso una nuova consapevolezza nello studio dei fenomeni naturali, la scienza moderna si trova allora progressivamente a costruirsi un ruolo completamente nuovo nella definizione di un'immagine del mondo. L'elemento realmente rivoluzionario di questo ruolo consiste sostanzialmente nel distacco radicale e irreversibile della scienza dalla filosofia, un

[3] Su questo punto si vedano le puntuali osservazioni di KOYRÉ, Alexandre: *Studi galileiani*. Torino: Einaudi 1976, 5.

distacco che – è opportuno sottolinearlo con grande forza – *è un'assoluta novità del mondo moderno*. Prima della rivoluzione scientifica, una distinzione di principio tra i compiti di quelle che *oggi* chiamiamo scienza da una parte e filosofia dall'altra non esisteva né di fatto né di diritto,[4] mentre dopo tale rivoluzione è la scienza che comincia a competere con la filosofia in modo sempre più deciso per conquistare un diritto di primogenitura a scoprire, e dunque poi a caratterizzare, quale sia l'autentica realtà e cosa significhi davvero per un fenomeno farne parte.

> «Se nel Seicento comincia a delinearsi la scienza ma non ancora lo scienziato, l'età dei Lumi vede ormai come protagonisti l'una e l'altro. [...] Il Settecento rappresenta per l'uomo di scienza una sorta di età-laboratorio della modernità. In quell'epoca infatti giunsero a maturazione processi di lungo periodo come la fase di identificazione di un nuovo sapere, la sua legittimazione, il suo consolidamento istituzionale necessario per creare le basi di una vera e propria professione, così come apparvero all'orizzonte questioni nuove e laceranti tra cui spicca, per la prima volta ufficialmente dibattuto, *il gran tema della demarcazione, cioè l'interrogativo su ciò che debba essere considerato scienza e ciò che invece è da considerarsi estraneo ad essa*».[5]

Nella contemporaneità si è talmente abituati alla pervasività di moduli argomentativi e analogie di origine scientifica da rischiare appunto di dimenticare che la competizione tra scienza e filosofia sul piano della spiegazione del mondo è un'invenzione totalmente moderna e, in quanto tale, relativamente recente. Questa amnesia sarebbe un errore grave, che porterebbe a oscurare una delle implicazioni filosofiche fondamentali della rivoluzione scientifica. È infatti soltanto con l'affermarsi di questo processo di distinzione/competizione che diventa sensato porre il problema di come debba essere fatto il mondo *secondo la scienza* e se sia quest'ultima alla fine a dover avere l'ultima parola su ciò che a questo mondo appartiene o non appartiene in un senso pieno.

3. Newton: matematica e metafisica della natura

La figura di Newton appare come particolarmente adatta ad illustrare l'ambivalenza e la complessità del rapporto tra scienza e filosofia così come si configura alle origini della civiltà moderna. Da un lato, infatti, Newton è la figura che pone su basi solide il moderno processo di allontanamento della scienza (la fisica) dalla filosofia mediante due fattori fondamentali: in primo luogo, la rivendicazione – in particolare contro i cartesiani *Princìpi di filosofia* – che i suoi sono princìpi *matematici*, capaci di includere in

4 Stein, Howard: *On philosophy and natural philosophy in the seventeenth century*, in: Midwest Studies in Philosophy 18 (1993), 177–201.

5 Ferrone, Vincenzo: *L'età dei lumi*, in: Rossi, Paolo/Ferrone, Vincenzo: *Lo scienziato nell'età moderna*. Roma: Laterza 1994, 61–62, corsivo aggiunto.

forma rigorosa risultati scientifici fondamentali ottenuti da altri fisici-filosofi come Galileo (principio di relatività) e lo stesso Cartesio (principio di inerzia); in secondo luogo, l'enfasi sulla centralità dell'esperienza come test delle ipotesi teoriche. Dall'altro lato Newton costruisce proprio mediante la sua fisica una rappresentazione scientifica del mondo che ha implicazioni filosofiche profondissime, che vanno anche oltre la sua stessa figura e i suoi stessi risultati. Tale rappresentazione del mondo naturale si confronta necessariamente con le metafisiche dell'epoca e rende Newton altamente sensibile alle questioni filosofiche oltre che alle questioni scientifiche; questa forma di attenzione alle questioni filosofiche e metodologiche si congiunge a sua volta a un'enfasi particolare sulla necessità di un fondamento *sperimentale* per le teorizzazioni scientifiche.[6] Un passo emblematico in questo senso è contenuto per esempio nella *Prefazione* ai *Principia*:

> «And therefore the present work sets forth mathematical principles of natural philosophy. For the basic problem of philosophy seems to be to discover the forces of nature from the phenomena of motions and then to demostrate the other phenomena from these forces. It is to these ends that the general propositions in books 1 and 2 are directed, while in book our explanation of the system of the world illustrates these propositions. For in book 3 by means of propositions demonstrated mathematically in books 1 and 2, we derive from celestial phenomena the gravitational forces by which bodies tend toward the sun and toward the individual planets. Then the motions of the planets, the comets, the moon and the sea are deduced from these forces by propositions that are also mathematical. If only we could derive the other phenomena of nature from mechanical principles by the same kind of reasoning!»[7]

Si tratta di un autentico manifesto di un grande programma di ricerca. Esso non soltanto ha prodotto risultati scientifici di enorme importanza, ma ha anche fornito le coordinate concettuali di una rappresentazione del mondo che – nell'architettura newtoniana – si caricava anche di una una dimensione teologico-razionale: come afferma eloquentemente nello *Scolio Generale* che chiude l'edizione dei *Principia* del 1713, «to treat of God from phenomena is certainly a part of natural philosophy».[8]

Come *case study* della complessa interazione tra fisica, epistemologia e metafisica nel sistema newtoniano prenderemo in considerazione il problema dello statuto e del ruolo di spazio e tempo assoluti. Studi importanti degli ultimi decenni mostrano infatti che la caratterizzazione newtoniana

[6] Sul ruolo complesso che il concetto di *ipotesi* svolge nella metodologia newtoniana un lavoro classico è KOYRÉ, Alexandre: *Concetto ed esperienza nel pensiero scientifico di Newton*, in: KOYRÉ, A.: *Studi newtoniani*. Torino: Einaudi 1972, 27–58.

[7] NEWTON, Isaac: *The Principia*. Trans. and ed. Ierome Bernard Cohen and Anne Whitman. Berkeley: University of California Press 1999, 382.

[8] NEWTON, I.: *The Principia*, 943.

di spazio e tempo – oltre a mostrare un'ovvia connotazione teologico-metafisica – svolge un preciso ruolo costruttivo nell'edifico della meccanica newtoniana. In questo senso, la formulazione newtoniana e quella einsteiniana, sia pure ovviamente divergenti in alcuni dei loro postulati fondamentali, condividono l'obiettivo di specificare una struttura 'assoluta', espressa nelle leggi fondamentali che descrivono lo spazio-tempo.

L'inquadramento corretto del problema è espresso per esempio in modo efficace dallo storico e filosofo della fisica Robert DiSalle:

> «La teoria newtoniana dello spazio e del tempo non fu mai una semplice ipotesi metafisica. Costituì invece il suo tentativo di definire i concetti presupposti dalla nuova scienza della meccanica – il sistema di riferimento concettuale che diede al moto relativo un'intelligibilità fisica all'interno di una concezione fondata sull'interazione causale. Più che un discutibile complemento empirico alla sua opera scientifica, fu una parte essenziale del suo cammino verso la costruzione di una scienza empirica del moto. Più che semplice bagaglio metafisico al seguito di una teoria altrimenti coronata da successo sul piano empirico, fu inseparabile dallo sforzo compiuto da Newton per definire le quantità empiricamente misurabili della meccanica classica».[9]

Il luogo dove Newton presenta le nozioni di spazio, tempo, luogo e moto è il cosiddetto *Scholium*, una breve sezione dei *Principia* inserito tra le *Definizioni* e le *Leggi del Moto*.[10]

> «Thus far it has seemed best to explain the senses in which less familiar words are to be taken in this treatise. Although time, space, place and motion are very familiar to everyone, it must be noted that these quantities are popularly conceived solely with reference to the objects of sense perception. And this is the source of certain preconceptions; to eliminate them it is useful to distinguish these quantities into absolute and relative, true and apparent, mathematical and common».[11]

Le nozioni di spazio e tempo sono allora presentate come segue:

> «Absolute, true and mathematical time, in and of itself, and of its own nature, without reference to anything external, flows uniformly and by another name is called duration. Relative, apparent and common time is any sensible and external measure (precise or imprecise) of duration by means of motion; such a measure – for example, an hour, a day, a month, a year – is commonly used instead of true time. [...]
> Absolute space, of its own nature without reference to anything external, always remains homogeneous and immovable. Relative space is any movable measure or dimension of this absolute space; such a measure or dimension is

9 DiSALLE, Robert: *Capire lo spazio-tempo. Lo sviluppo filosofico della fisica da Newton a Einstein*. Torino: Bollati Boringhieri 2006, 30.

10 NEWTON, I.: *The Principia*, 408–415.

11 NEWTON, I.: *The Principia*, 408.

determined by our senses from the situation of the space with respect to bodies and is popularly used for immovable space».[12]

Il *luogo*, invece, è «that part of space that a body occupies and it is, depending on the space, either absolute or relative».[13] Il moto è dunque definito di conseguenza: «Absolute motion is the change of position of a body from one absolute place to another; relative motion is change of position of a body from one relative place to another».[14]

Newton assume dunque che spazio e tempo abbiano per così dire due *modi di essere*, che egli caratterizza con i concetti di *relativo* e *assoluto*. Quando, mediante apparati e concrete procedure operative, misuriamo lo 'spazio' e registriamo il 'tempo', l'oggetto delle nostre misure e registrazioni non sarebbero altro che la realizzazione empirica, rispettivamente, di uno Spazio e di un Tempo assoluti, esistenti in sé e indipendenti dalle misurazioni empiriche quanto alla loro natura. Questa assolutezza svolge però, come accennavamo prima, il ruolo di strumento di fondazione teorica e non semplicemente quello di un'appendice metafisica scientificamente irrilevante. Spazio e Tempo newtoniani sono infatti assoluti in quanto *ideali*: sono cioè entità la cui idealità serve a dotare di significato pieno le leggi della meccanica. Spazio e tempo assoluti sono necessari per dare significato fisico alla nozione di moto rettilineo uniforme. La validità del principio di inerzia, prima legge della meccanica, si esprime infatti nell'assunzione di moti *perfettamente uniformi*, secondo cui un corpo che si muovo di moto uniforme percorre spazi *assolutamente* uguali in tempi *assolutamente* uguali. Perché dunque queste uguaglianze abbiano significato in senso ideale, è necessario che le porzioni che poniamo come uguali siano appunto porzioni di entità in sé ideali, le entità Tempo e Spazio. Il senso interessante di assolutezza è quindi, nel caso newtoniano, quello collegato al carattere *ideale* della nuova scienza moderna, quel carattere ideale che un ruolo così importante aveva svolto anche nell'opera scientifica di Galileo e che oggi vediamo a posteriori come strutturalmente connaturato all'indagine fisica e scientifica in senso moderno (l'idealità è anche ovviamente connessa al ruolo della matematica nella descrizione dei fenomeni naturali). Non manca, tuttavia, di presentarsi un problema fondazionale rilevante, connesso alla nozione di spazio assoluto. Da un lato, infatti, Newton assume, in piena consonanza con tutto il pensiero scientifico dell'epoca, che ogni corpo abbia oggettivamente in ogni istante uno stato assoluto (di moto o di quiete) Dall'altro, la meccanica newtoniana, per sua intrinseca costruzione, non è in grado di stabilire se, a un istante t dato, il moto relativo o la quiete relativa di un corpo coincidano o meno con il suo moto assoluto o con la sua quiete assoluta rispettivamente, né di

[12] NEWTON, I.: *The Principia*, 408.
[13] NEWTON, I.: *The Principia*, 409.
[14] NEWTON, I.: *The Principia*, 409.

distinguere tra moto e quiete *nello spazio assoluto*. Nella fisica newtoniana, infatti, moto uniforme e quiete sono relativi, indipendentemente dal fatto che abbiano luogo nello spazio assoluto o in quello relativo (nel senso di Newton).[15] Questa circostanza è peraltro un'ulteriore dimostrazione della compenetrazione di fisica, metafisica e teologia: il fatto che nell'ambito della filosofia naturale sia possibile conoscere per così dire solo gli effetti dei fenomeni e non le loro proprietà e cause sostanziali (tanto nel caso di spazio, tempo e luce quanto nel caso della gravità), è una sorta di riflesso del limite conoscitivo nei confronti di Dio, di cui secondo Newton conosciamo gli attributi ma non la sostanza.[16]

4. Einstein filosofo naturale

Nel caso di Einstein sono molteplici le questioni intorno alle quali interagiscono fisica, metafisica ed epistemologia, questioni che si collocano in ogni caso su uno sfondo intellettuale segnato da profonda curiosità filosofica. Il ruolo assegnato da Einstein alla riflessione filosofica è ben rappresentato da passi come questo, contenuto in una lettera del 1944 a Robert Thornton, un giovane fisico alle prese con la preparazione per il suo primo corso di fisica da docente, che scriveva ad Einstein chiedendo sostegno per la sua ferma intenzione di introdurre «quanta più filosofia della scienza possibile» nelle sue lezioni:

> Concordo completamente con lei sull'importanza e il valore educativo della metodologia, della storia e della filosofia della scienza. Molte persone al giorno d'oggi – compresi scienziati professionisti – mi appaiono come colui che ha visto migliaia di alberi senza mai vedere una foresta. Una conoscenza dello sfondo storico e filosofico fornisce proprio quella indipendenza dai pregiudizi della propria generazione dai quali la maggior parte degli scienziati sono afflitti. *Questa indipendenza determinata dall'analisi filosofica è – a mio giudizio – il segno di distinzione tra un semplice artigiano o specialista e un autentico cercatore di verità*.[17]

[15] DiSalle, Robert: *Newton's philosophical analysis of space and time*, in: Cohen, Ierome Bernard/Smith, George (edited by): *The Cambridge Companion to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press 2002, 33–56.

[16] Guicciardini, Niccolò: *Newton*. Roma: Carocci 2011, 103. Come noto, il carteggio tra Leibniz e il teologo newtoniano Samuel Clarke rappresenta un confronto di ampio respiro non soltanto tra due modi di fare fisica ma tra due contrapposte modalità di inquadramento metafisico-teologico della fisica.

[17] «I fully agree with you about the significance and educational value of methodology as well as history and philosophy of science. So many people today—and even professional scientists—seem to me like somebody who has seen thousands of trees but has never seen a forest. A knowledge of the historic and philosophical background gives that kind of independence from prejudices of his generation from which most scientists are suffering. This independence created by philosophical insight is—in my opinion—the mark of distinction between a mere artisan or specialist and a real seeker after truth» (Einstein to Thornton, 7

Come *case study* einsteiniano prenderemo in considerazione il problema dello statuto della simultaneità tra eventi, sollevato nel celebre articolo del 1905 *Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento* che fonda la teoria della relatività speciale. Questo lavoro prende avvio proprio dal riconoscimento dell'arbitrarietà dell'assunzione di un tempo assoluto comune a tutti gli osservatori inerziali indipendentemente dal loro stato di moto, un'assunzione arbitraria proprio nel senso di non essere 'imposta' dai fatti di esperienza bensì implicitamente adottata sulla linea di una lunga e gloriosa tradizione di storia della fisica.

L'articolo einsteiniano che segna la nascita delle teorie relativistiche[18] si presenta come inusuale fin dalle sue caratteristiche formali. Il titolo ha una relazione tenue con il contenuto, non compare alcun riferimento alla letteratura fisica del tempo, un buon terzo del lavoro appare dedicato a osservazioni filosofiche sulla natura di certi concetti fisici di base, vi si deriva un risultato che scuote l'intero edificio della fisica nota attraverso passaggi che sfruttano una quantità minima di matematica e l'unica persona che al termine dell'articolo Einstein ringrazia per il suo contributo non è un membro della comunità dei fisici di professione dell'epoca ma un amico ingegnere di Einstein – Michele Besso – conosciuto al tempo del lavoro svolto nell'ufficio brevetti di Berna: è infatti a una chiacchierata con Besso che, retrospettivamente, Einstein attribuisce il merito di aver scatenato quella scintilla che gli permetterà di ultimare l'articolo in cinque o sei settimane, dopo lunghi mesi di vano lavoro. Come noto, il punto di partenza del lavoro è rappresentato dall'apparente difficoltà di conciliare i due principali filoni della fisica dell'epoca: le leggi della meccanica di Galileo e Newton da un lato – con la prescrizione del principio di relatività – e le leggi dell'elettromagnetismo di Maxwell-Lorentz dall'altra. Una conseguenza necessaria, infatti, delle leggi elettromagnetiche è che la velocità della luce è una costante universale (indicata con c), che non dipende dallo stato di moto della sorgente. Questo implica una violazione del requisito di addizione delle velocità, un requisito completamente ragionevole in un contesto fisico come quello della meccanica classica. In questo contesto, infatti, le velocità di due sistemi fisici X e Y definite nei rispettivi sistemi di riferimento inerziali S_X e S_Y sono essenzialmente *relative*: esse devono cioè comporsi (vale a dire, sommarsi o sottrarsi) quando vogliamo indicare la velocità di X nel sistema di riferimento S_Y o la velocità di Y nel sistema di

December 1944, EA 61–574), cit. in HOWARD, Don: *Einstein and the Development of Twentieth-Century Philosophy of Science*, in: JANSSEN, Michael/LEHNER, Cristoph (edited by): *The Cambridge Companion to Einstein*. Cambridge: Cambridge University Press 2014, 357, traduzione dell'autore.

[18] La letteratura dedicata al lavoro relativistico del 1905 è naturalmente immensa: un testo classico è MILLER, Arthur: *Albert Einstein's Special Theory of Relativity*. Reading (Mass.): Addison-Wesley 1981, che contiene uno studio dettagliato dell'articolo e un'analisi delle prime reazioni.

riferimento S_X. Nel caso della luce, invece, se immaginiamo che un raggio di luce venga emesso da una sorgente, la costanza del valore *c* per la velocità della luce implicherà che un osservatore A che sia collocato in un sistema di riferimento in quiete rispetto alla sorgente (poniamo, per semplicità, che A si trovi nelle immediate vicinanze della sorgente) troverà per la velocità della luce un valore *uguale* a quello che potrebbe trovare un osservatore B che corra a una certa velocità accanto al raggio! Da qui l'intuizione – una via d'uscita a prima vista ragionevole in un contesto fisico pre-relativistico – che *c* sia la velocità della luce in un *determinato* sistema di riferimento (al quale ci si è riferiti con l'antico termine di 'etere') e che sia quindi possibile in linea di principio verificare il moto terrestre rispetto a questo sistema di riferimento. I ripetuti esperimenti, progettati per ottenere questa verifica, non forniscono però alcun risultato utile: non risulta di fatto possibile scoprire alcun moto terrestre nell'etere.

Invece di andare alla ricerca di una possibile spiegazione nell'ambito della fisica nota, Einstein considera l'inaccessibilità dell'etere come una prova a favore dell'idea che *anche per le leggi elettromagnetiche* debba valere un principio di relatività, la cui validità universale lo rende una sorta di 'meta-criterio' per l'accettabilità di qualsiasi legge fisica fondamentale.[19] Einstein nel suo lavoro mostra dunque come la 'incompatibilità' tra i quadri teorici della meccanica e dell'elettromagnetismo sia soltanto apparente: tale incompatibilità consegue infatti solo dall'ipotesi che il principio di relatività debba essere, per così dire, 'implementato' dalle trasformazioni di Galileo, le quali comportano appunto che la velocità della luce debba assumere valori diversi quando a misurarla siano due osservatori in moto relativo l'uno rispetto all'altro. Ma cos'è esattamente questa 'ipotesi'? Si tratta di una necessità logica, di un fatto empirico o di cos'altro? L'assunzione di questa ipotesi è in realtà una *scelta* teorica, e come tale non suscettibile di una *diretta* derivazione dai 'fatti': è dunque una scelta che, con decisione altrettanto teorica e su basi non strettamente empiriche, può essere modificata se l'obiettivo finale è quello di una precisa compatibilità tra meccanica ed elettromagnetismo, un obiettivo ispirato a quella forte ricerca di unità e sistematicità dell'indagine fisica che ha costantemente guidato Einstein.

Questo particolare rapporto tra teoria ed esperienza, che abbiamo visto esplicitato nel modo einsteiniano di elaborare la 'crisi' della fisica di inizio '900, si rinnova nel caso dello statuto della relazione di simultaneità tra eventi distanti, vale a dire una delle più celebri conseguenze dei due postulati introdotti dalla teoria della relatività ristretta, la costanza della

[19] Numerosi studiosi hanno rilevato come l'effettiva importanza degli esiti di questi esperimenti per la maturazione della teoria della relatività speciale sia stata certamente minore rispetto all'urgenza che nella ricerca di Einstein rivestiva l'estensione del principio di relatività anche alle leggi dell'elettromagnetismo: tra i numerosi testi utili in questo senso segnalo STACHEL, John: *Einstein from 'B' to 'Z'*. Boston: Birkhäuser 2002.

velocità della luce nel vuoto e il principio di relatività. La teoria implica cioè, come noto, che la relazione di simultaneità tra due eventi è una relazione non invariante, cioè una relazione che si trova a dipendere dal particolare sistema di riferimento nel quale sono definiti gli eventi in questione. Se indichiamo con S e S' rispettivamente due sistemi di riferimento in moto relativo e con $\{x, y\}$ e $\{x', y'\}$ due coppie di eventi tali che

- $\{x, y\}$è definita rispetto a S e $\{x', y'\}$è definita rispetto a S',
- x' e y' sono le trasformate di Galileo rispettivamente di x e y nel sistema di coordinate associato a S',

un'eventuale relazione di simultaneità tra x e y non si trasferisce necessariamente ai corrispondenti x' e y'. È la situazione descritta da Einstein nella sua *Esposizione divulgativa*, mediante il celebre esempio di una coppia di osservatori di cui uno è fermo sulla banchina di una stazione mentre l'altro si trova su un treno in movimento che passa dalla stazione.[20]

La lezione filosofica e gneoseologica che questa conseguenza suggerisce ha infatti *due* componenti fondamentali, la cui integrazione determina quella originale sintesi tra l'aspetto operazionale (e quindi in senso lato empiristico) e l'aspetto speculativo-teorico che è una delle cifre più caratteristiche del pensiero scientifico e filosofico di Einstein. Da un lato infatti, Einstein richiede che a un concetto solo apparentemente ovvio come la simultaneità tra eventi sia conferito un fondamento operativo, e questo richiede un'analisi attenta delle *procedure* che è necessario adottare per dare significato fisico all'affermazione che due dati eventi sono 'simultanei'. Questo punto è esplicitato sia nel lavoro del 1905, sia in molti altri testi successivi. La necessità di conferire un fondamento operativo alla definizione di simultaneità è tuttavia solo una delle componenti dell'analisi einsteiniana. L'altra componente, altrettanto fondamentale, consiste nel riconoscere che il postulato di assolutezza del tempo è esso stesso di natura speculativa, nel preciso senso di non essere *imposto dai fatti*. Tale postulato risulta cioè un'assunzione che può essere rimossa se la sua sostituzione risulta funzionale alla possibilità di trovare una sintesi tra le leggi della meccanica e quelle dell'elettromagnetismo. La soluzione del problema che Einstein ha di fronte si sviluppa dunque attraverso un primo momento di analisi critica sull'infondatezza *empirica* del pregiudizio che ostacolava la formulazione della nuova teoria. Ma l'analisi critica dell'assioma sul carattere assoluto del tempo prelude poi, come noto, alla possibilità *teorica* di una riorganizzazione unitaria dei due insiemi di leggi apparentemente inconciliabili. Questa possibilità è garantita esattamente dal fatto che il carattere assoluto del tempo è un'ipotesi teorica liberamente adottata e che, come tale, può essere rimossa e sostituita da altre ipotesi teo-

[20] EINSTEIN, Albert: *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie (gemeinverständlich)*. Braunschweig: Vieweg 1917, tr. it.: *Relatività: esposizione divulgativa*, in: EINSTEIN, Albert: *Opere scelte*. Torino: Bollati Boringhieri 1988, 406–408.

riche, adottate altrettanto liberamente. Il momento operazionale dell'analisi einsteiniana non è dunque l'obiettivo principale, ma è piuttosto una prima fase di indagine: essa risulta *funzionale* a un progetto di riorganizzazione teorica fondato su diversi postulati che, al pari di quello dell'assolutezza del tempo, non sono in alcun senso 'imposti' dai fatti ma che trovano la loro giustificazione nella loro capacità di integrare meccanica ed elettromagnetismo in un quadro coerente e unitario.

Una delle principali implicazioni epistemologiche evocate dall'analisi einsteiniana riguarda quel fenomeno che i filosofi della scienza del '900 hanno definito *sottodeterminazione*, che si verifica quando l'insieme delle evidenze sperimentali relative a una certa classe di fenomeni è di per sé insufficiente per decidere quale tra due (o più) teorie in competizione è la candidata più autorevole a spiegare quei fenomeni. In questo caso, i filosofi della scienza dicono che le teorie in competizione sono sottodeterminate *rispetto ai fatti*, il che implica che – per scegliere tra i due o più contendenti – si dovranno utilizzare criteri supplementari oltre al semplice (si fa per dire!) confronto con i dati empirici. Anche quando Einstein propone la sua teoria nel 1905, sussiste una situazione di sottodeterminazione. Rispetto alle evidenze sperimentali dell'epoca – consistenti principalmente, come abbiamo ricordato, nei ripetuti ma falliti tentativi di individuare il moto della Terra rispetto all'etere – la principale teoria in competizione con la teoria einsteiniana è dovuta nientemeno che a Hendrik Lorentz, prestigioso fisico olandese che ha associato il suo nome alle note trasformazioni e per il quale Einstein stesso nutriva grande stima e ammirazione. La teoria di Lorentz è una teoria *dinamica*, vale a dire una teoria che tenta di rendere conto degli effetti di dilatazione dei tempi e di contrazione delle lunghezze ricorrendo all'assunzione di particolari interazioni tra gli elettroni e l'etere. Queste interazioni avrebbero l'effetto di contrarre la lunghezza di *tutti* i corpi in moto attraverso l'etere: allora anche gli apparati coinvolti negli esperimenti per rivelare il moto stesso attraverso l'etere subirebbero questo tipo di effetti e, di conseguenza, questo spiegherebbe il fallimento di tali esperimenti.[21] Il prevalere della teoria einsteiniana non è quindi dovuto tanto a una qualche ipotetica conferma da parte dei fatti nudi e crudi, quanto a virtù totalmente *teoriche*: la capacità cioè di armonizzare una scoperta fisica 'dura' – l'esistenza di una velocità limite in natura che rimane invariata in qualsiasi sistema di riferimento – con un

[21] Il lavoro in cui Lorentz presenta compiutamente questa teoria è *Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity less than that of light*, in: Proceedings of the Royal Academy of Amsterdam 6 (1904), 809–831 un lavoro di cui Einstein non era a conoscenza quando scrisse il lavoro relativistico del 1905. Come ha osservato, tra gli altri, lo storico della fisica John Stachel, la divergenza tra la reazione di Lorentz e quella di Einstein al fallimento degli esperimenti volti a rivelare il moto terrestre rispetto all'etere è emblematica di due posizioni epistemologiche e metodologiche altrettanto divergenti: cfr. STACHEL, J.: *Einstein from 'B' to 'Z'*, 194.

requisito epistemologico come il principio di relatività che riguarda la natura e la forma delle leggi fisiche.[22] Come abbiamo accennato, questa capacità di armonizzazione è per così dire una virtù a due dimensioni. Nella prima dimensione, essa richiede che i concetti fisici – per acquisire un significato – passino attraverso una loro chiarificazione operativa ma, nella seconda, l'assunzione del tempo assoluto viene rimossa e sostituita con un'assunzione alternativa sulla base della sua natura *convenzionale* e *non empiricamente derivabile*. Il riconoscimento di questo aspetto è esattamente la chiave di volta della sintesi teorica einsteiniana, che passa in modo irrinunciabile attraverso la consapevolezza che tra fatti e teoria c'è comunque uno scarto fondamentale e che la descrizione teorica compie scelte concettuali irriducibili al semplice catalogo delle esperienze.

L'idea della sottodeterminazione, praticata di fatto in occasione dell'articolo relativistico del 1905, viene corroborata anche dal punto di vista concettuale in anni successivi, una circostanza che rende sempre più improbabile considerare anche soltanto la prima parte della carriera scientifica di Einstein come ispirata a una concezione 'machiana' delle teorie fisiche. Un contributo fondamentale in questo senso arriva dalla frequentazione che Einstein va compiendo dell'opera epistemologica di Pierre Duhem. Nato e vissuto in Francia tra il 1861 e il 1916, Duhem è stato un fisico, filosofo e storico della scienza di interessi molto ampi, il cui contributo attivo alla riflessione sui fondamenti delle teorie fisiche tra la fine dell'Ottocento e i primi del Novecento è stato fortemente sottovalutato. Egli pubblica in particolare nel 1906 un libro intitolato *La théorie physique: son objet et sa structure*,[23] un testo che ha ricevuto dall'epistemologia del Novecento un'attenzione certamente inferiore a quanto avrebbe meritato e che è stata peraltro stimolata quasi soltanto grazie al logico e filosofo della scienza Willard V.O. Quine, che in uno dei più celebri articoli di filosofia della scienza di tutto il secolo (intitolato *I due dogmi dell'empirismo*), riprende e sviluppa il cosiddetto *olismo della conferma*, di fatto una delle tesi duhemiane fondamentali.[24]

Einstein incontra gli scritti di Duhem nel 1909 quando assume il suo primo incarico accademico all'Università di Zurigo.[25] Sono due le principali tesi epistemologiche del pensiero duhemiano che impressionano notevol-

[22] Per una discussione sulla rilevanza epistemologica complessiva delle diverse prospettive di Lorentz e di Einstein sulla natura dinamica o cinematica, rispettivamente, degli effetti relativistici, cfr. JANSSEN, Michael: *Reconsidering a Scientific Revolution: The Case of Einstein* versus *Lorentz*, in: Physics in Perspective 4 (2002), 421–446.

[23] DUHEM, Pierre: *La théorie physique. Son objet et sa structure*. Paris: Chevalier et Rivière 1906.

[24] QUINE, Willard van Orman: *By a Logical Point of View*. New York and Evanston: Harper & Row 1953, trad. it.: *Da un punto di vista logico. Saggi logico-filosofici*. Milano: Cortina 2004.

[25] HOWARD, Don: *Einstein and Duhem*, in: Synthese 83 (1990), 367–368.

mente Einstein e che sono relative alla complessa relazione tra teorie ed esperienza: la critica dell'idea di esperimento cruciale e la citata idea della sottodeterminazione delle teorie da parte dell'esperienza. In primo luogo, Duhem critica l'idea di 'esperimento cruciale', vale a dire l'idea che sia possibile immaginare singoli esperimenti capaci – nel caso di un verdetto negativo – di confutare in modo chiaro e definitivo un'intera teoria. Il fisico e filosofo della scienza francese sostiene infatti che lo sviluppo così avanzato della scienza comporta ormai apparati sperimentali che, oltre a risultare estremamente sofisticati dal punto di vista tecnologico, richiedono dosi massicce di *teoria*, dosi necessarie per poter interpretare e valutare i risultati che derivano dall'uso di tali apparati negli esperimenti. Se è richiesta una simile quantità di teoria, l'idea stessa di controllo sperimentale comporterà – sostiene Duhem – «un atto di fede in tutto un insieme di teorie» e tale controllo si baserà sul confronto tra l'esperienza da un lato e un vero e proprio blocco di teorie dall'altro. Ma l'idea che le teorie vengano controllate come un tutto giustifica – ed è la seconda tesi duhemiana importante per Einstein – l'idea della sottodeterminazione, secondo cui l'esperienza esistente può essere compatibile con svariati 'blocchi' di teorie, blocchi che risultano concettualmente irriducibili l'uno all'altro ma empiricamente equivalenti, capaci cioè di rendere conto dello stesso insieme di dati sperimentali. La conseguenza concettuale più importante consiste nella tesi secondo la quale la connessione tra l'esperienza e la teoria – cioè quello che alla fine rappresenta il compito più generale dello scienziato – si stabilisce secondo un percorso in larga misura congetturale e dotato di ampi margini di libertà speculativa, margini che tuttavia non sono così illimitati da non permettere di raggiungere, nella pratica scientifica, un ragionevole compromesso tra 'azzardo' teorico e i vincoli precisi che la sfera sperimentale ed empirica impone. Nella prospettiva che Einstein non abbandonerà mai, la migliore scienza negozia continuamente tra ipotesi teoriche e strettoie sperimentali, nella consapevolezza che l'esperienza *suggerisce* possibili inquadramenti teorici, ma non li *detta*. In un celebre testo del 1918 dedicato a Max Planck per il suo sessantesimo compleanno, Einstein scrive: «La missione più alta del fisico è dunque la ricerca di queste leggi elementari, le più generali, dalle quali si parte per raggiungere, attraverso semplici deduzioni, l'immagine del mondo. *Nessun cammino logico conduce a queste leggi elementari: l'intuizione sola, fondata sull'esperienza, ci può condurre ad essa*».[26]

Sul ruolo che il carattere 'sottodeterminato' dell'indagine teorica è destinato a svolgere Einstein si sofferma ancora in un breve ma efficace articolo del 1919, scritto per il *Berliner Tageblatt* e intitolato *Induktion und De-*

[26] EINSTEIN, Albert: *Motiv des Forschens*, in: *Zu Max Plancks 60. Geburtstag: Ansprachen in der Deutschen Physikalische Gesellschaft*. Karlsruhe: Müller 1918, 32, trad. it: *La ricerca scientifica*, in: *Come io vedo il mondo*. Roma: Newton Compton 1975, 36.

duktion in der Physik. Nell'immagine della scienza di senso comune, scrive Einstein, la teoria scientifica nasce in modo induttivo: in questa immagine, a una prima fase di raccolta di fatti segue la formulazione delle regolarità che sembrano 'emergere' da quei fatti, in un processo che arriva all'individuazione di un vero e proprio sistema teorico di crescente generalità. Questa immagine, tuttavia, si rivela fragile tanto sul piano storico quanto su quello concettuale. Sul piano storico perché lo sviluppo effettivo della scienza non ha seguito le prescrizioni del senso comune. Sul piano concettuale perché la costruzione di una teoria di un certo respiro richiede comunque un certo numero di princìpi guida preliminari senza i quali l'indagine non è in grado di procedere: «Galilei non avrebbe mai potuto trovare la legge della caduta libera dei gravi senza l'idea *preconcetta* stando alla quale, sebbene i rapporti che noi di fatto troviamo sono complicati dall'azione della resistenza dell'aria, nondimeno noi consideriamo cadute di gravi nelle quali tale resistenza gioca un ruolo sostanzialmente nullo».[27] In un'anticipazione di temi cari all'epistemologia di Karl Popper, la conseguenza che ne trae Einstein è perentoria, una conseguenza che mette in evidenza come l'effettiva posizione epistemologica einsteiniana sia incompatibile con letture banalmente positiviste e operazionaliste della rivoluzione relativistica:

> I progressi veramente grandi della conoscenza della natura si sono avuti seguendo una via *quasi diametralmente opposta a quella dell'induzione*. Una concezione intuitiva dell'essenziale di un grande complesso di cose porta il ricercatore alla proposta di un principio ipotetico o di più principi di tal genere. [...] Il ricercatore parte dunque sempre dai fatti, il cui nesso costituisce lo scopo dei suoi sforzi. Ma egli non perviene al suo sistema teorico per via metodica, induttiva; egli piuttosto, si avvicina ai fatti tramite una scelta intuitiva tra teorie pensabili basate su assiomi.[28]

[27] EINSTEIN, Albert: *Induction and Deduction in Physics*, in: *Collected Papers*. Translation vol. 7. Princeton: Princeton University Press 2002, 108–109.

[28] «The truly great advances in our understanding of nature originated in a manner almost diametrically opposed to induction. The intuitive grasp of the essentials or a large complex of facts leads the scientist to the postulation of a hypothetical basic law, or several such basic laws. [...] So, while the researcher always starts out from facts, whose mutual connections are his aim, he does not find his system of ideas in a methodical, inductive way; rather, he adapts to the facts by intuitive selection among the conceivable theories that are based upon axioms», in: EINSTEIN, A.: *Induction and Deduction in Physics*, 108–109.

Abstract
A partire da un'interpretazione filosofica del significato della rivoluzione scientifica moderna, il lavoro si sofferma sull'analisi di alcune implicazioni epistemologiche particolarmente rilevanti dell'opera scientifica di Newton e Einstein. Al di là della rilevanza strettamente scientifica dei loro risultati, Isaac Newton e Albert Einstein rappresentano figure ideali per discutere il rapporto tra filosofia e scienza e la natura di alcuni problemi specificamente filosofici che nascono dall'interno delle teorie scientifiche. La loro opera si presta dunque in modo particolarmente utile per mettere a fuoco vere e proprie rivoluzioni categoriali, nelle quali è più interessante analizzare i rapporti tra scienza, epistemologia e metafisica. Come esempio di questa complessa interazione, prenderemo in considerazione nel sistema newtoniano il problema dello statuto e del ruolo di spazio e tempo assoluti, mentre nel caso di Einstein prenderemo in considerazione il problema dello statuto della relazione di simultaneità tra eventi distanti.

Abstract
Starting from a philosophical interpretation of the meaning of the modern scientific revolution, the paper focuses on the analysis of some epistemological implications of the scientific work of Isaac Newton and Albert Einstein, that turn out to be especially relevant. Beyond their purely scientific significance, the achievements of Isaac Newton and Albert Einstein are especially apt to highlight the philosophy/science relationship and the character of some specifically philosophical issues arising from within scientific theories. Their work, then, serves the role of pointing out true categorical revolutions, in which the relations linking science, epistemology and metaphysics deserve to be taken into account. As instances of these complex interactions, we will consider the issue of the nature of absolute space and time in the case of Newton, and the issue of the nature of the simultaneity relation in the case of Einstein.