DOPPIOZERO

La rivoluzione incompiuta di Einstein

Emilia Margoni
29 Dicembre 2020

Di Leibniz Gilles Deleuze dice: «[A]ma i principî, è senz'altro il solo filosofo che non si stanca di inventarne, li inventa con piacere ed entusiasmo, per brandirli poi come armi», per altro verso, «egli gioca coi principî, ne moltiplica le formule, ne varia i rapporti, è ossessionato dall'idea di "provarli"» (Gilles Deleuze, *La piega. Leibniz e il barocco*, Einaudi, 1988, p. 73). Non sorprende quindi che Lee Smolin, uno dei fisici contemporanei più riconosciuti e innovativi, combini la devozione per il grande filosofo tedesco con un rinnovato amore per i principi, che brandisce come punta di lancia per una nuova rivoluzione in fisica. Il principio, spiega Smolin, è qualcosa che tocca i limiti di un linguaggio ma non se ne fa mai vittima. Il principio è un vincolo in grado di forzare un'apertura anziché confinare il campo d'azione di una disciplina. Ma per capire come i principi, per Smolin, possano fendere il terreno un poco inaridito della fisica del Novecento, bisogna prima capire l'origine del suo inaridimento.

Su questa origine Smolin è piuttosto reciso, e le sue tesi tutt'altro che misurate.

La rivoluzione incompiuta di Einstein (Einaudi, 2020) apre infatti con un'asserzione che fa tremare i polsi a chi della fisica abbia almeno i rudimenti e certo suscita sgomento in chi vi lavora da esperto: la meccanica quantistica è una teoria "sbagliata" e la radice dell'errore sta proprio nel suo successo (p. x). E per quanto definire "sbagliata" una teoria *tout court* possa tradire il desiderio di un *coup d'éclat*, la tesi che sta dietro una conclusione di così vasta portata è persino più eclatante: è il modo stesso in cui la fisica produce i suoi saperi che va completamente ripensato. La proposta di Smolin va quindi presa nella sua radicalità, vale a dire come ripensamento non di un paradigma o di una proposta specifica, ma di un intero ambito della conoscenza, che, nel bene o nel male, ha cambiato il corso del Novecento, e che oggi comunque rimane alla base delle innovazioni tecnologiche più radicali e significative. Varrà quindi la pena chiedersi perché Smolin intenda dissestare quelle che, quantomeno agli occhi dei non specialisti, appaiono certezze che hanno la forza di leggi di natura.

Se in altri testi Smolin aveva preso di petto una teoria dalla incomparabile capacità d'incidenza, come la relatività, i cui effetti si sono registrati in ogni ambito del sapere, in *La rivoluzione incompiuta di Einstein*, l'oggetto della sua critica è la meccanica quantistica. Da decenni, l'intento del Nostro – e di altri/e studiosi/e che sono impegnati/e in questa battaglia epocale – è dire addio a entrambe, o quantomeno superarle dialetticamente, in ragione del conflitto insanabile che le oppone. In effetti, queste teorie immaginano universi tra loro incompatibili.

L'universo della fisica relativistica è un *continuum* di eventi puntiformi che non seguono quella che noi esseri umani intendiamo come linearità temporale. Si tratta di un mondo in cui tutti gli eventi sono già dati, fissi nella loro posizione assegnata, che preclude una loro descrizione in termini di evoluzione, passaggio, cambiamento di stato. Una teoria quindi deterministica, ovvero popolata di eventi che non godono di alcun grado di probabilità, e per cui lo spazio e il tempo non sono quei contenitori assoluti che si è appreso ad immaginare con lo studio della fisica newtoniana. Questo esercita effetti dirompenti sulla concezione del

tempo, inteso come sequenza di eventi che può dirsi lineare solo in rapporto a un sistema di riferimento. Nella teoria della relatività, non c'è infatti alcun tempo assoluto che disponga tutti gli eventi in una sequenza unica.

All'opposto, l'universo della meccanica quantistica è *discreto*, ovvero composto di particelle separate le une dalle altre, il cui movimento risente di un surplus probabilistico nel momento in cui è fatto oggetto di osservazione. Queste particelle evolvono in un tempo contenitore *à la* Newton, immaginato alla stregua di uno spazio in cui le cose accadono. Detto in altri termini, benché il dibattito sulla natura deterministica dei processi quantistici sia ancora vivo, la meccanica quantistica (almeno nella sua formulazione standard) ritiene che il momento osservativo introduca immancabilmente un fattore di probabilità circa l'evoluzione dinamica di una particella in un senso o in un altro. Sicché, l'universo quantistico è affatto incompatibile con quello della relatività: è discreto, probabilistico, sensibile all'evoluzione del movimento particellare nello spazio. Quest'ultimo, in particolare, è inteso come quella dimensione fisica in cui si dà l'interazione tra le particelle.

Vedremo verso la conclusione di questo breve scritto come e perché Smolin rigetti nozioni di tempo e spazio così concepite. A questo stadio, il problema è che un grado di incompatibilità così sorprendente tra le immagini del mondo di queste due teorie, ad avviso dell'autore, è dovuto a una sorta di punto cieco, o meglio, un punto di partenza inquestionato, che gode del carattere di assioma. Benché differenti, il modo di concepire lo spazio e il tempo costituisce un assunto di base cui la relatività e la meccanica quantistica non possono rinunciare. Detto altrimenti, spazio e tempo così concepiti fanno parte del loro *modello*, ossia del loro specifico modo di tradurre e semplificare l'universo ai fini dell'articolazione teorica. Così inteso, un modello è il frutto di un processo di astrazione, in cui l'universo viene privato di alcuni elementi sì caratteristici, ma non essenziali ai fini della sua trattazione teorica. Una depurazione di tutto ciò di cui la teoria non ha bisogno e di cui anzi intende non dare conto. La contraddizione tra i due paradigmi, quindi, è inscritta in una scelta iniziale – la definizione del modello – che sembra ipotecare la possibilità di una integrazione tra esse.

La scelta di mettere in opera dei modelli è, beninteso, tutt'altro che incomprensibile, giacché sarebbe impossibile in fisica prendere come riferimento oggetti infinitamente complessi, come ad esempio un uccello che vola o un gatto che salta per catturare una preda – scene di vita minima, in cui tuttavia si registra un numero ingestibile di punti-evento e di movimenti particellari. Ma, per paradosso, il difetto più insidioso del modello è che esso garantisce risultati: limita il numero delle entità in campo e serra le loro caratteristiche tipiche con l'effetto di restituire un'immagine coerente, gravida di forza predittiva. Questa "effettività", tuttavia, paga agli occhi di Smolin un prezzo troppo alto: zavorra il linguaggio di base della teoria con una strutturale incapacità di superare i propri limiti. Detto alla maniera di Smolin, i modelli incorporano le idee che già abbiamo sulla natura e limitano così la possibilità di rivederle. Per questo, allorché si cerca di superare modelli che, pur rivelatisi effettivi, offrono descrizioni tra loro incompatibili dell'universo, non si può che ripartire da una *fisica dei principi*. Il principio, sostiene Smolin, "è una condizione generale che limita la forma che può assumere una legge di natura" (p. 185). Come tale, segna i limiti del possibile, ma non precostituisce il linguaggio con cui lo si andrà a descrivere. Da questa limitazione virtuosa, si possono derivare *ipotesi*, che solo in ultimo potranno condurre a *modelli* capaci di produrre *teorie complete* – laddove "complete" si oppone appunto a "effettive", perché si tratta di teorie che non solo hanno capacità predittiva, ma sono anche in grado di descrivere l'universo *per come esso è*.

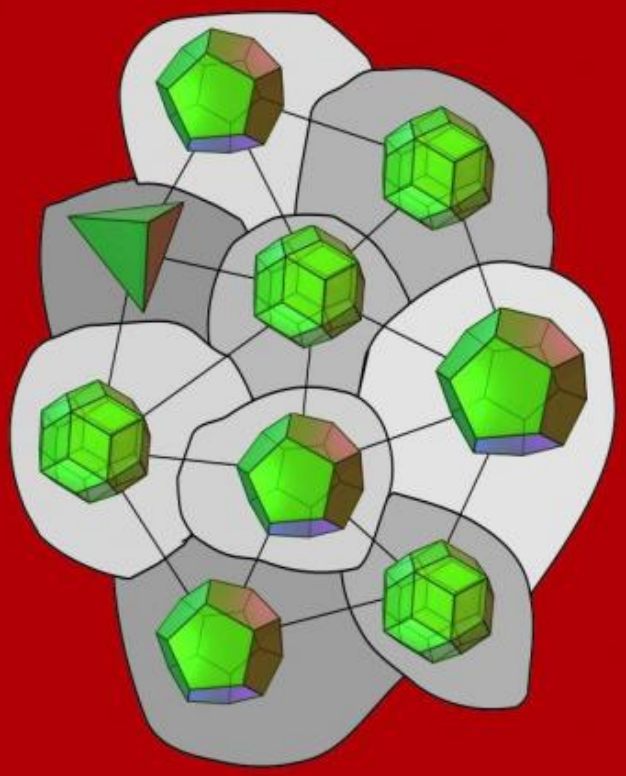
Intraprendere la via dei principi chiama a ripensare la teoria della relatività e la meccanica quantistica quali formulazioni contrastanti di un unico problema, cioè di un universo che è lo stesso per entrambe, benché il loro modello di partenza lo ritragga come diverso. È in tal senso che Smolin si definisce *realista*, giacché il

modello è semplicemente una formulazione epistemica di una realtà oggettiva che esso tenta di rendere in termini teorici. Il modello, quindi, è l'accesso a un mondo che esso deve quanto più e meglio descrivere, senza confidare troppo nell'unico criterio della coerenza interna. Per questo, le due teorie fisiche che hanno tenuto banco nel Novecento vanno intese come modelli rivedibili. Ma un tale programma, consapevolmente ambizioso, rischierebbe di fallire se non si garantisse l'opportuna integrazione tra l'una e l'altra teoria – compito che Smolin affida a quell'apparato di principi – cinque per l'esattezza – con cui intende combinare i fenomeni quantistici con lo spaziotempo della relatività.

Piccola Biblioteca 705

CARLO ROVELLI

L'ordine del tempo



ADELPHI

Forte della lezione della relatività generale, Smolin dismette lo spaziotempo assoluto della fisica newtoniana (la scatola in cui le cose avvengono) e promuove un'idea della fisica quale descrizione delle relazioni tra entità – Smolin preferisce il termine "eventi", e da qui in poi a questo ci atterremo – che fanno emergere i fenomeni dello spazio e del tempo (principio di indipendenza dal *background*, p. 188) In altre parole, la fisica non descrive il comportamento di certi eventi entro un dato spazio e in un dato tempo, che fanno da cornice all'evento osservato e rimangono impermeabili ad esso. Tutto all'opposto: la fisica dovrebbe far riferimento solo a *osservabili relazionali*, vale a dire proprietà che descrivono come certi eventi si relazionano gli uni agli altri e, così facendo, danno corso a processi che generano lo spaziotempo (principio di relazionalità dello spazio e del tempo, p. 190).

D'altra parte, continua Smolin, gli osservabili relazionali inquadrano gli eventi nei loro nessi causali, grazie ai quali ciascun evento trova la propria ragion d'essere. Perché una teoria possa dirsi completa, essa deve essere in grado di descrivere tutto ciò che figura nell'universo come dotato di una causa che ne spieghi l'esistenza (principio di completezza causale, p. 190). Questo principio implica altresì che un dato evento viene ad essere identificabile con l'insieme di relazioni reciproche che intrattiene con altri eventi (principio di reciprocità, p. 190). Ed è proprio in ragione di questa mutualità che Smolin necessita del più leibniziano dei principi, che consente di distinguere gli eventi tra loro proprio in ragione delle diverse relazioni che intrattengono con altri eventi. Si tratta del principio di identità degli indiscernibili (p. 202), secondo cui due entità che possiedono esattamente lo stesso insieme di proprietà sono invero la stessa entità.

Sono questi i criteri che Smolin ritiene debbano costituire l'impalcatura di base per una teoria fisica che intenda superare l'*impasse* con cui abbiamo aperto questo breve scritto, e che a suo avviso possono nel loro insieme essere ricompresi in quell'unico principio che Leibniz indicò come *ragion sufficiente*: non c'è fatto vero o entità esistente che non possano ricondursi a una causa per cui essi sono quel che sono e non altrimenti. Alla base della fisica c'è quel rapporto di causa-effetto che, di contro agli esiti della relatività, ripropone il tempo come fondamentale, dato che esso non è altro che la catena lineare di cause ed effetti che ordina la struttura degli eventi secondo un prima e un dopo. Questa conclusione porta Smolin, assieme ad altri/e collaboratori/trici, a ritenere che alla base della realtà fisica non vi sia altro che reti di relazioni, in continua evoluzione temporale, matematicamente esprimibili attraverso la nozione di *grafo*. Un grafo è un ente matematico costituito da un insieme di vertici (o nodi) e di linee che connettono tali vertici (o nodi). Come tale, rende conto del carattere relazionale dei fenomeni fisici, nella misura in cui gli effetti su un vertice si ripercuotono su altri vertici, al primo connessi attraverso le linee del grafo (pp. 196-197).

Ma come questa ridda di principi assolve il suo compito rivoluzionario? Come Smolin supera il conflitto tra relatività e meccanica quantistica circa la natura dello spaziotempo? La sua soluzione è, di nuovo, radicale: rigetta la concezione del tempo offerta dalla relatività e la concezione dello spazio offerta dalla meccanica quantistica.

Cominciamo dal tempo. Il nesso causale di cui parla Smolin mette in questione la concezione del tempo ancorata alla teoria della relatività. Come brevemente accennato sopra, infatti, in relatività non è possibile definire una sequenza *assoluta* degli eventi. Questi possono essere ordinati in una sequenza di "prima e dopo" solo laddove si introduca un sistema di riferimento locale: rispetto al sistema S1, l'evento B segue l'evento A. Tuttavia, secondo un altro sistema S2, l'evento B potrebbe precedere l'evento A. Quello che in S1 viene prima, in S2 viene dopo. Tutto dipende dal sistema di riferimento prescelto. Nella felice sintesi di Carlo Rovelli, il quale invece incorpora tale esito della relatività nel mondo dei quanti: "Anche la distinzione

fra presente, passato e futuro diventa quindi fluttuante, indeterminata. Come una particella può essere diffusa nello spazio, così la differenza fra passato e futuro può fluttuare: un avvenimento può essere insieme prima e dopo un altro" (Carlo Rovelli, *L'ordine del tempo*, Adelphi, 2017, p. 79). Questo, nell'ipotesi di Smolin, è un errore. Credere che il tempo sia fondamentale significa credere che la sequenza di cause ed effetti sia la stessa per tutti i sistemi di riferimento, unica e irreversibile.

Se vogliamo tenere il tempo come fondamentale, però, bisogna rinunciare allo spazio: "Solo uno dei due può essere presente al livello di comprensione più profondo; l'altro deve essere emergente e contingente" (p. 193). Cosa comporta la contingenza dello spazio? È qui che nasce la divergenza tra la proposta di Smolin e la meccanica quantistica. Benché, come detto sopra, quest'ultima adotti lo spaziotempo newtoniano, in cui lo spazio definisce la distanza tra una particella e un'altra, si possono osservare fenomeni in cui due particelle, pur distanti l'una dall'altra, ovvero separate da un certo spazio, operano come se fossero unite: "[L]e due particelle dovrebbero essere completamente autonome, eppure toccare una delle due significa toccare anche l'altra, come se la distanza non avesse per loro alcun significato" (George Musser, *Inquietanti azioni a distanza*, Adelphi, 2019, p. 18). Come racconta l'interessante libro di Musser, il dibattito sulla *non-località*, ovvero sul comportamento di particelle che sono distanti nello spazio ma operano come se non lo fossero, è tra i più accesi. La proposta di Smolin per superare tale controversia è semplice quanto drastica: lo spazio non esiste a livello fondamentale. Esso non è che una "descrizione approssimativa e a grana grossa della rete di relazioni tra gli eventi" (p. 194).

Per farsi un'idea di tale soluzione, intrigante ma controintuitiva, chiamiamo a un ultimo sforzo. Si tratta in effetti di un vero e proprio ribaltamento della nozione convenzionale di spazio. Come abbiamo visto, per Smolin, nella struttura di fondo dell'universo, gli eventi sono legati da un ordine lineare di causalità, ma non occupano una posizione nello spazio, né quindi sono ordinati secondo rapporti di prossimità o di distanza spaziale. La prossimità tra eventi, pertanto, non è da intendersi in termini spaziali; all'opposto, possono dirsi prossimi quegli eventi che possiedono un numero ampio di proprietà in comune – laddove per proprietà si deve intendere, come raccomandano i cinque principi sopra sintetizzati, l'insieme di relazioni che un evento intrattiene con il resto dell'universo. Smolin descrive le proprietà in termini (leibniziani) di "visioni" dell'universo: due eventi che intrattengono con l'universo relazioni simili hanno visioni simili.

Qui torna di nuovo utile il principio dell'identità degli indiscernibili di matrice leibniziana. In primo luogo, per descrivere un evento occorre identificare le sue proprietà. Mentre due eventi che hanno le stesse proprietà sono lo stesso evento, due eventi sono tanto più "vicini" quanto più ampio è lo spettro di proprietà che condividono, anche se lo "spazio emergente" (il "nostro" spazio, per intenderci) li farebbe descrivere come distanti. Questa *teoria delle visioni* sostiene che non è la vicinanza spaziale, come comunemente la si intende, a determinare il grado di probabilità delle interazioni tra eventi. Viceversa, questa probabilità aumenta "insieme alla somiglianza delle [loro] visioni". Tanto più vicine le visioni degli eventi (ovvero l'insieme di relazioni che un evento intrattiene con gli altri), tanto più probabile la loro interazione – a prescindere da quella che "emerge" come la loro disposizione spaziale. Se questo è poco probabile per oggetti macroscopici, come l'uccello e il gatto degli esempi di poco sopra, composti da un numero altissimo di parti che intrattengono rapporti con altre parti, a livello atomico la probabilità di visioni simili è assai più significativa: "[A]tomi che sono distanti nello spazio, possono comunque avere intorni simili, dato che i loro intorni locali possono assumere un numero di configurazioni enormemente più piccolo. Ciò suggerisce che forse atomi simili, con gli stessi costituenti e dintorni simili, interagiscono solo perché hanno visioni simili" (p. 202). Nessun mistero avvolge il fenomeno della non-località, quindi, là dove lo spazio non è fondamentale.

In sintesi, è questo l'universo descritto dalla fisica dei principi di Smolin: un insieme di eventi, ciascuno dei quali possiede una visione dell'universo "che riassume le sue relazioni con il resto" (p. 198). Il sistema di relazioni entro cui un evento si colloca è ciò che fa la differenza rispetto ad altri eventi, ed è pertanto ciò che consente di individuare l'evento stesso all'interno di una rete più ampia di eventi e la sua probabilità di interagire con essi.

Rinunciare ai modelli fisici più consolidati è impresa che si pratica solo alle frontiere della fisica teorica, per la quale l'obiettivo di una comprova sperimentale è al momento tutt'altro che realistico. Ma la proposta di Smolin convince soprattutto in ragione della sua singolare capacità di combinare una enorme competenza fisico-teorica con un'indubbia capacità di innovare il lessico e l'apparato concettuale della fisica – campo del sapere che consente come pochi altri di esercitare la facoltà di articolare alternative rispetto alle modalità abituali di comprendere la realtà. Il metro di misura di una tale proposta, quindi, non è tanto la sua capacità di perimetrare un dominio di applicazione e ottenere una validazione in termini predittivo-applicativi. Il suo merito, notevolissimo, è un altro. Quantunque complesso per chi, pur erudito, non sappia muoversi nelle strettoie della fisica relativistica e quantistica, *La rivoluzione incompiuta di Einstein* chiama a un esercizio intellettuale i cui effetti eccedono di gran lunga il campo della fisica: dove si tocca il limite, e questo fa da costrizione più che da condizione, occorre "passa[r]e di nuovo a una pagina bianca e inizia[r]e a pensare" (p. 230).

Se continuiamo a tenere vivo questo spazio è grazie a te. Anche un solo euro per noi significa molto.
Torna presto a leggerci e SOSTIENI DOPPIOZERO

Lee Smolin

La rivoluzione incompiuta di Einstein

La ricerca di ciò che c'è al di là dei quanti