

E. Castellani, Filosofia e la teoria delle stringhe

La teoria delle stringhe rappresenta una delle più accreditate candidate al ruolo di “teoria fondamentale” nella descrizione fisica del mondo degli ultimi decenni. Oggi, grazie soprattutto all'opera di divulgazione da parte di alcuni dei suoi principali protagonisti, la teoria comincia ad essere nota nei suoi tratti più salienti anche al di fuori della comunità scientifica. Questo non sempre in senso positivo, però. In particolare, se ne è sentito parlare molto in riferimento alle critiche e agli attacchi di cui viene fatta oggetto, con ampio risalto anche sui media e social networks. Il punto centrale di discussione è la presunta non controllabilità sperimentale, o falsificabilità, della teoria. La critica, in sostanza, è la seguente: occupandosi di cosa succede a scale di energia paragonabili a quelle verificatesi nei primi istanti dell'universo, la teoria non permetterebbe di compiere nuove predizioni di fatti osservabili con la tecnologia a disposizione non solo al giorno d'oggi, ma anche, presumibilmente, nel vicino futuro. La teoria, così, non sarebbe controllabile in senso empirico, e quindi, secondo un requisito minimale di buon senso metodologico, non sarebbe una buona teoria scientifica o, secondo alcuni, non sarebbe proprio una teoria scientifica.

Questo tipo di critica, si noti bene, non è rivolta solo alla teoria delle stringhe, ma colpisce tutti quei modelli teorici che riguardano ambiti della realtà fisica molto lontani dalle attuali capacità tecnologiche di osservazione – per esempio, i modelli cosmologici che riguardano quelle parti dell'universo che distano da noi più di quanto sia fisicamente possibile perché un segnale ci possa pervenire. Nel caso della teoria delle stringhe, tuttavia, la critica di non controllabilità empirica diventa particolarmente sentita per le caratteristiche stessa della teoria: *in primis*, il fatto di presentarsi come una teoria fondamentale e unificata del mondo fisico – cioè, se vogliamo usare un'espressione piuttosto controversa, una “teoria del tutto”.

Ha senso la nozione di teoria del tutto? Che cosa significa dire che una teoria è “fondamentale” e “unificata”? Qui entrano in gioco questioni tradizionalmente discusse nella filosofia della scienza e collegate, in particolare, al dibattito sul riduzionismo scientifico. Rispetto a questo ambito di riflessione filosofica sulla scienza, la teoria delle stringhe costituisce sicuramente un *case study* di particolare interesse. Ma l'interesse filosofico della teoria riguarda anche un ambito più generale: proprio il problema messo in rilievo negli attacchi alla teoria – cioè quello della sua presunta non controllabilità sperimentale che, quindi, la porterebbe a non essere caratterizzabile come scientifica -- ripropone, portando nuovi “dati”, la riflessione sulla natura, sul ruolo e sulle modalità dello stesso metodo scientifico. In particolare, la domanda centrale intono a cui ruota la discussione è se, con la teoria delle stringhe, si possa parlare di un cambiamento nel modo di procedere nella scienza -- un cambiamento che, di solito, da coloro che sostengono che sia in atto, è interpretato in senso molto negativo, come un “andare fuori strada” di una parte della fisica teorica degli ultimi tempi.¹

Qui di seguito, passeremo in rassegna le principali questioni filosofiche messe in gioco dalla teoria articolando la discussione in tre punti: 1) la ricerca di una teoria fondamentale; 2) la nascita della teoria delle stringhe come caso esemplare di “razionalità della scoperta”; 3) il ruolo dei criteri extra-empirici nel dibattito sulla metodologia scientifica e lo statuto della teoria delle stringhe.

1) La ricerca di una teoria fondamentale

Una questione su cui discutono con vivo interesse, seppure con motivazioni diverse, sia gli scienziati sia i filosofi è quella relativa a che cos'è fondamentale nella scienza. La risposta più comune è che sia fondamentale quella parte della scienza che si occupa di ciò che sta a fondamento di tutte le cose: gli ultimi costituenti del mondo fisico e le leggi che ne governano il comportamento e le interazioni. Chi accetta questa posizione deve però avere un criterio per distinguere un livello più fondamentale da un altro meno fondamentale. Il criterio più naturale è quello di fare riferimento a una scala fisica: tipicamente, una scala di energie, una scala di lunghezze, o una scala temporale. Un livello viene così definito in corrispondenza a un determinato ambito di valori della scala scelta:

¹ Ben rappresentativo di questo tipo di critiche è il testo di S. Hossenfelder, *Lost in Math: How Beauty Leads Physics Astray*, New York, Basic Books, 2018.

per esempio, un livello L_i è considerato più fine – e quindi più fondamentale – di un livello L_j se corrispondente a valori dell'energia più alti. Su scala cosmologica, cioè dal punto di vista dell'evoluzione dell'universo, questo significa attribuire il valore di più fondamentale alla teoria che descrive ciò che succede andando il più possibile indietro nel tempo, a distanze più piccole possibile, e a energie più grandi possibile.

Ovviamente non tutti accettano di caratterizzare la nozione di fundamentalità nei termini del livello più fine della scala fisica. La critica a questo tipo di criterio riguarda essenzialmente il collegamento che viene fatto tra l'idea che ci sia un livello di descrizione più fondamentale della realtà fisica e la tesi, nota come “riduzionismo esplicativo”, che tutto possa essere descritto e spiegato a partire da quel livello. A tale riguardo viene chiamato in gioco il fatto che ci siano fenomeni “emergenti” – cioè il fatto che a ogni nuovo livello di complessità della materia appaiano proprietà del tutto nuove, che non sono né deducibili né prevedibili a partire dal livello più fine (cioè meno complesso) -- per sostenere una concezione diversa di cosa sia fondamentale nella scienza. L'idea è che il mondo fisico consista di una molteplicità di livelli di diversa complessità, ognuno dei quali è caratterizzato da una propria ontologia e descritto dalle proprie leggi fondamentali. Questa posizione viene di solito caratterizzata come “anti-riduzionista”, dove l'anti-riduzionismo e il riduzionismo a cui si contrappone vanno qui intesi nel senso esplicativo, non ontologico o teorico. Ideologie a parte, il punto decisivo, in questa contrapposizione, è come si considerino i rapporti tra i diversi livelli di descrizione della realtà. Ricordiamo, a tale riguardo, che il fatto dell'emergenza, di per sé, non va necessariamente contro la concezione che ci sia un livello più fondamentale di realtà e, corrispondentemente, una scienza più fondamentale nel senso visto all'inizio.

È chiaro comunque che anche un criterio di fundamentalità come quello che riposa sulle scale fisiche dipende dallo stato della nostra conoscenza. Il Modello Standard delle particelle elementari affermatosi a partire dagli anni Settanta, per il carattere apparentemente unificato e basilare della descrizione fornita, è sembrato per un certo tempo il paradigma di “teoria fondamentale”. Il Modello Standard descrive infatti con grande successo la fisica delle particelle che compongono la materia e tre delle quattro forme fondamentali di interazione: quelle elettromagnetiche, quelle forti che tengono insieme le componenti dei nuclei atomici e quelle deboli, responsabili dei decadimenti radioattivi. Tuttavia, per quanto efficace e ben confermato sperimentalmente, il Modello Standard resta una descrizione incompleta, non includendo una delle quattro forze della natura, la gravità, e contenendo un certo numero di parametri arbitrari. È vero che alle energie accessibili negli esperimenti l'attrazione gravitazionale tra le particelle elementari è così piccola da essere trascurabile, ma è chiaro che, se l'obiettivo è quello di raggiungere una rappresentazione davvero completa e unificata del mondo fisico, bisogna andare “oltre il Modello Standard” (per usare l'espressione che caratterizza una gran parte dell'attività teorica nella fisica fondamentale dagli anni Ottanta in poi).

Un'obiezione naturale, a questo punto, è perché si debba per forza cercare una “teoria del tutto”, intendendo con questa espressione una descrizione completa e unificata del mondo fisico. Ha davvero senso questo tipo di ricerca? Le risposte possibili sono di varia natura. Una prima e ben nota motivazione è fornita dalla storia della scienza: la ricerca di una descrizione unitaria della natura è stata sicuramente un potente motore di sviluppo per la conoscenza scientifica. Basti pensare all'unificazione della fisica celeste e terrestre realizzata nell'opera di Newton, o alla descrizione unitaria dei fenomeni elettrici, magnetici e ottici ottenuta da Maxwell con la sua teoria del campo elettromagnetico. Ma se anche volessimo mettere tra parentesi l'indubbio valore euristico ed esplicativo dell'unificazione teorica, è la fisica stessa a dettare l'esigenza di un quadro teorico e osservativo unitario, e questo in particolare per quanto riguarda quella parte dell'indagine fisica che si occupa della nascita e prima evoluzione dell'universo.

Succede, infatti, che a scale di energia paragonabili a quelle che caratterizzano i primissimi istanti dell'universo le particelle si trovino a distanze così ravvicinate che non sia più possibile trascurare l'effetto dell'attrazione gravitazionale, per quanto piccole siano le loro masse. Per descrivere questa situazione, c'è dunque bisogno d'una teoria che metta insieme la meccanica

quantistica, con cui si descrivono i fenomeni fisici a scala microscopica, e la relatività generale, che è la teoria formulata da Einstein per descrivere tutti i fenomeni gravitazionali e sulla quale si basano, in particolare, i modelli cosmologici. Si tratta di quel campo attuale d'indagine che va sotto il nome di “gravità quantistica”. Una teoria quantistica della gravità, che sia in grado di unificare in una sola struttura le quattro interazioni fondamentali della natura – la gravità, l'elettromagnetismo, le interazioni forti e le interazioni deboli – dalle scale cosmiche alle scale subatomiche fino addirittura alla cosiddetta scala di Planck (10^{-33} cm) è, se vogliamo, una “teoria del tutto”.

La teoria delle stringhe, nella versione che si sviluppa a partire dalla metà degli anni Settanta, ha la pretesa di essere una teoria del tutto in questo senso. In accordo a questo quadro teorico, i componenti ultimi della materia non sono più le particelle elementari ma delle cordicelle o stringhe, che possono essere aperte o chiuse e vibrare come le corde di un violino. I diversi modi di vibrazione si manifestano come diverse particelle: il gravitone, mediatore della forza di gravità; il fotone, mediatore delle interazioni elettromagnetiche; l'elettrone, i quark, e così via per tutte le altre particelle elementari. Si tratta di una teoria ancora in fase di elaborazione e, nonostante la sua storia si sviluppi ormai da cinque decenni, con diversi problemi aperti e ancora nessuna diretta conferma empirica.

Come già accennato, questo stato di cose ha suscitato un acceso dibattito sullo statuto della teoria delle stringhe. In particolare, di fronte al fatto che la teoria continui a essere perseguita e sviluppata da una parte consistente della ricerca fisica fondamentale nonostante non abbia ancora avuto successi sperimentali, si sono delineate due tipi principali di reazioni: da una parte, c'è chi parla di pure speculazioni o addirittura fantasie, guidate solo da un criterio di bellezza formale; dall'altra parte, c'è chi vuol vedere nella teoria un cambiamento del metodo scientifico, un nuovo paradigma metodologico.

Del primo atteggiamento si trovano molti esempi: a cominciare dal libro *Not Even Wrong* pubblicato nel 2006 dal fisico Peter Voigt,² accanito detrattore della teoria delle stringhe che, appunto, ritiene “neanche sbagliata” perché non scientifica, per finire con il libro *Lost in Math: How Beauty Leads Physics Astray* pubblicato nel 2018 dalla fisica Sabine Hossenfelder, nota per il suo blog e molti interventi a carattere divulgativo. Il messaggio che l'autrice vuole fare passare è proprio quello propagandato nel titolo: una parte dei fisici teorici, tra cui *in primis* quelli che si occupano della teoria delle stringhe, starebbero andando fuori strada perché seguirebbero solo le sirene ingannatrici del criterio della bellezza (identificata con la bellezza matematica) senza curarsi delle conferme sperimentali.

La seconda posizione è rappresentata in particolare dal filosofo della fisica Richard Dawid, che nel suo libro del 2013, *String Theory and the Scientific Method*, sostiene la tesi di un cambio di metodologia scientifica nell'ambito della teoria delle stringhe: per essere più precisi, per Dawid si tratta sempre di una teoria scientifica, ma basata su criteri di conferma che non sono più quelli tradizionali, cioè basati sul confronto con l'esperienza. Dawid individua tre tipi di criteri di conferma extra-empirica: a) l'assenza di teorie alternative (*No Alternatives Argument*); b) il fatto che altre teorie comparabili abbiano poi trovato conferma empirica (*Meta-inductive Argument*); c) il fatto che la teoria fornisca una spiegazione per risultati che esulano dal suo originario ambito di applicazione (*Unexpected-Explanation Argument*). Secondo Dawid, se la teoria soddisfa a tutti e tre questi criteri presi insieme si può dire confermata. L'idea è appunto che, per teorie che vertono su ambiti troppo lontani da quanto possa essere accessibile all'osservazione, vadano trovati altri criteri, e quindi una nuova metodologia.

Questa posizione ha suscitato sia interesse sia accese critiche. Ne tratteremo in maggiore dettaglio nella terza e ultima parte, dopo aver preso in considerazione la storia della teoria delle stringhe e, in particolare, come è nata e si è inizialmente sviluppata. L'impressione è infatti che entrambe le posizioni illustrate siano viziate da forzature ideologiche, dovute a una non sufficiente attenzione al contesto in cui si sono sviluppate le idee, principi o teorie di cui si sta parlando.

² Il sottotitolo significativamente recita: “Il fallimento della teoria delle stringhe e la sfida continua della ricerca di unità nelle leggi”.

2) La nascita della teoria delle stringhe e la “razionalità della scoperta”

La nascita e lo sviluppo iniziale della teoria della stringhe fornisce un interessante *case study* alla riflessione su uno dei temi tradizionali della filosofia della scienza: vale a dire, la distinzione tra la “scoperta” e la “giustificazione” (o conferma) di una teoria, e la presunta “irrazionalità della scoperta”, uno degli assunti di base della filosofia della scienza della prima metà del Novecento. L'idea che non sia possibile ricostruire in modo razionale il processo attraverso cui si arriva a formulare una teoria – un'idea sposata in pieno sia dagli empiristi logici sia da Popper –³ è stata superata, ma la discussione continua ed è utile arricchirla con nuovi esempi. In particolare, come si vedrà, la storia della teoria delle stringhe offre una significativa illustrazione di uno sviluppo teorico guidato da una precisa euristica, in cui concorrono in modo spesso intrecciato scoperta e giustificazione (inizialmente, notiamo, una giustificazione basata proprio sugli esperimenti). Di questo cerchiamo di dare un'idea in quanto segue, attraverso una breve ricostruzione della prima fase della teoria, in cui nasce e si configura come una descrizione delle sole interazioni forti.

Tra la fine degli anni Cinquanta e l'inizio degli anni Sessanta del secolo scorso, nella fisica che si occupava di descrivere i costituenti fondamentali della materia e le loro interazioni, rimaneva aperto il problema di una descrizione soddisfacente delle interazioni deboli e specialmente di quelle forti. Nel caso delle interazioni forti, infatti, una descrizione nel linguaggio della teoria quantistica dei campi, che era stata applicata con notevole successo alla descrizione quantistica delle interazioni elettromagnetiche (la cosiddetta elettrodinamica quantistica), presentava difficoltà notevoli. Da una parte, dato il valore non piccolo della costante di accoppiamento (la costante caratteristica dell'interazione considerata), non sembrava più possibile procedere come nel caso dell'elettrodinamica quantistica, cioè utilizzando un approccio “perturbativo”.⁴ Dall'altra parte, le particelle osservate che interagivano in modo forte, i cosiddetti “adroni”, erano troppe per essere descritte nei termini di campi fondamentali: più precisamente, nessuno degli adroni sembrava essere più fondamentale degli altri, cioè “elementare” -- una uguaglianza ontologica tra gli adroni chiamata, all'epoca, “democrazia nucleare” .

Questi problemi spinsero a cercare un approccio alternativo alla teoria delle interazioni forti, noto come approccio della *matrice S*, dove *S* sta per *scattering*, cioè urto tra particelle. Questo approccio, fortemente sostenuto dal fisico Geoffrey Chew di Berkeley e la sua scuola, si ispirava direttamente a lavori precedenti di Werner Heisenberg e John Wheeler: l'assunzione di base era che le grandezze appropriate da prendere in considerazione fossero solo grandezze direttamente collegabili con gli esperimenti, come appunto le *ampiezze di scattering* (gli elementi della matrice *matrice S*). La strategia era di ottenere una descrizione fisica completa del mondo adronico solo sulla base della matrice di *scattering* e di alcune condizioni molto generali: l'*unitarietà*, l'*analiticità*, determinate *simmetrie* e un numero minimo di assunzioni addizionali.⁵

Una di queste assunzioni, in particolare, era il cosiddetto *principio di dualità*, noto anche come *dual bootstrap*, o “dualità DHS” (dai fisici Dolen, Horn e Schmid, che la formularono per primi nel 1967 sulla base di risultati sperimentali). Senza entrare in dettagli, il principio rappresenta una realizzazione concreta dell'idea dominante nell'approccio della matrice *S* di una forma di auto-consistenza, o *bootstrap*,⁶ associata alla democrazia nucleare sopra menzionata: le particelle

3 Ricordiamo, a titolo di esempio, la seguente nota affermazione di Hans Reichenbach, uno dei principali rappresentanti dell'empirismo logico, tratta dal suo testo *The Rise of Scientific Philosophy* del 1951 (trad. it. *La nascita della filosofia scientifica*, Bologna, Il Mulino, 1961, p. 227): <<L'atto della scoperta sfugge all'analisi logica; non vi sono regole logiche nei termini delle quali si possa costruire “una macchina scopritrice” che assolva la funzione creativa del genio>>.

4 Cioè un approccio basato su un'approssimazione graduale alla descrizione completa, attraverso uno sviluppo in serie dei elementi della matrice di scattering nei termini della costante di accoppiamento (caratteristica del tipo di interazione considerato).

5 Per dettagli su questo e in generale gli argomenti trattati in questa sezione, si rimanda alla Parte I del volume *The Birth of String Theory*, curato da A. Cappelli, E. Castellani, F. Colomo e P. Di Vecchia, Cambridge, Cambridge University Press, 2012.

6 Letteralmente, linguetta di scarpone: l'espressione sta a significare il volersi innalzare tirandosi su per le linguette

adroniche non solo dovevano essere trattate alla pari, ma tutte potevano essere viste come composte da tutte le altre. L'idea, in altre parole, era quella di una struttura auto-consistente in cui l'intera collezione di adroni forniva le forze che rendevano possibile la loro stessa esistenza.

Nel 1968, un giovane fisico italiano, Gabriele Veneziano, fu in grado di trovare una brillante soluzione al problema di costruire una matrice di *scattering* che soddisfacesse ai requisiti ricordati, tra i quali anche il principio di dualità, per il caso particolare di quattro particelle *bosoniche*. La scoperta di questa prima “ampiezza duale” segnò l'inizio di un periodo di intensa attività di costruzione teorica, nota come la *teoria duale delle interazioni forti*, che rappresenta di fatto la prima fase della teoria delle stringhe. In questa fase, che si estende dal 1968 a circa la fine del 1973, si procedette inizialmente a estendere immediatamente il risultato di Veneziano in modo da superarne i limiti: come le approssimazioni fatte, il numero di particelle considerate (inizialmente solo quattro), e il loro tipo specifico (in modo da includere anche le particelle *fermioniche*).

Allo stesso tempo, venne naturale cercare subito un'interpretazione fisica dei modelli che si costruivano; già nel 1969, i fisici Yoichiro Nambu, Holger Nielsen e Leonard Susskind arrivarono, in modo indipendente, alla cruciale congettura che si trattasse di una teoria descrivibile nei termini della dinamica di una stringa quantistica e relativistica. Congettura, ma guidata da analogie suggerite dal formalismo matematico: in particolare, l'analogia formale tra lo spettro degli stati fisici dei modelli duali e quello delle frequenze di una corda vibrante. Alla scoperta della stringa seguirono rapidi sviluppi, tra cui l'introduzione di dimensioni spaziali extra,⁷ fino al completamento della teoria con la quantizzazione della descrizione nei termini della stringa ottenuta nel 1973. Ma i risultati sperimentali ottenuti in quel periodo, così come alcuni aspetti molto sorprendenti e problematici della teoria quantistica di stringa, portarono a quella che si può chiamare, utilizzando la terminologia popperiana, una falsificazione della teoria. Già l'anno dopo, però, la teoria venne ripresa, ma con un nuova interpretazione: proprio gli aspetti che la rendevano implausibile come teoria delle interazioni forti trovarono invece una naturale collocazione nell'ambito dell'interpretazione della teoria di stringa come una teoria unificata di tutte le interazioni fondamentali, inclusa quella gravitazionale. E questa è la veste in cui la teoria delle stringhe ha poi continuato a svilupparsi.

Come si può vedere anche da questi brevi cenni storici, il processo attraverso cui si è arrivati alla costruzione della teoria di stringa, se non si è sviluppato seguendo una precisa “logica della ricerca” (cioè un insieme preciso di regole applicando le quali ottenere la nuova teoria), ha seguito comunque un'euristica del tutto razionale: un'euristica, si noti bene, per nulla diversa da quella che ha caratterizzato lo sviluppo di teorie di successo come, per esempio, il Modello Standard delle particelle elementari. In questo senso si può dire che la storia della teoria porti un forte argomento contro la tesi che ci sia un cambiamento di metodologia nell'ambito della teoria delle stringhe, almeno per quanto riguarda i procedimenti seguiti nella costruzione teorica. A questo punto, esaminiamo allora la discussione relativa all'ambito della “giustificazione”, rispetto a cui si è particolarmente concentrato il dibattito critico sulla teoria, tenendo comunque in mente che la distinzione tra scoperta e giustificazione è spesso artificiosa: come si è visto anche nel caso della prima fase della teoria delle stringhe, i due momenti del procedere scientifico sono spesso intrecciati e concorrono entrambi al progresso teorico.

3) Criteri extra-empirici e statuto della teoria delle stringhe

I fisici che lavorano nell'ambito del programma di ricerca noto come “teoria delle stringhe” seguono una metodologia scientifica oppure hanno preso ormai un'altra strada? Questa è in sostanza la domanda su cui verte il dibattito recente sullo statuto della teoria. Come osservato nella sezione precedente, il punto in discussione riguarda essenzialmente l'aspetto della conferma: il continuare a

delle proprie scarpe.

7 Ben 22 dimensioni spaziali in più nel caso in cui si consideravano solo bosoni, per cui si arrivava a 26 dimensioni spazio-temporali. Includendo anche i fermioni, le dimensioni spazio-temporali diventavano invece 10.

procedere nel programma di ricerca nonostante la perdurante assenza di conferme empiriche sarebbe il segno di un cambiamento metodologico. Un cambiamento che viene letto in due modi, come già messo in evidenza: da una parte, come “un andare fuori strada” che non ha più che vedere con la scienza; dall'altra parte, come un cambiamento del metodo scientifico richiesto dalle peculiarità della teoria. Il cambiamento consisterebbe nel minor peso dato all'evidenza empirica, controbilanciato da un maggior ruolo attribuito ai criteri di conferma extra-empirici. Esaminiamo qui di seguito che cosa s'intende con conferma in questo senso.

Si possono individuare due principali tipologie di criteri extra-empirici, a seconda che si tratti di criteri esterni alla teoria (tipicamente basati sul confronto con altre teorie), oppure criteri interni, che si fondano cioè su caratteristiche inerenti alla teoria.

Nel primo caso, abbiamo i tre “argomenti di conferma non empirica” proposti da Dawid nel 2013, già ricordati in precedenza. Si tratta di criteri *a posteriori*, che si applicano alle teorie già costituite. L'assunzione di Dawid che questi argomenti, se presi insieme, costituiscano una base scientificamente accettabile per la giustificazione d'una teoria, anche in assenza di evidenza empirica, è stata molto discussa e spesso criticata. Un articolo che ha particolarmente animato il dibattito, portandolo all'attenzione anche dei *media*, è stato quello che il cosmologo George Ellis e l'astrofisico Joe Silk hanno pubblicato su *Nature* nel dicembre 2014, significativamente intitolato *Defend the Integrity of Physics*. In quest'articolo i due fisici, nel considerare la questione se sia necessaria una revisione della metodologia scientifica alla luce degli sviluppi recenti della fisica fondamentale, criticano argomenti del tipo di quelli utilizzati da Dawid perché contrari all' “integrità della fisica”, scienza basata sul metodo sperimentale. L'articolo ha avuto un seguito, portando Ellis e Silk a organizzare insieme allo stesso Dawid un convegno intitolato “Perché avere confidenza in una teoria” (*Why Trust a Theory?*) a Monaco di Baviera il dicembre successivo, per discutere, appunto, se sia il caso di riconsiderare la metodologia scientifica alla luce della fisica moderna (come recita il sottotitolo del convegno: *Reconsidering Scientific Methodology in Light of Modern Physics*). Un convegno, si noti, che ha visto la partecipazione di fisici (tra cui un Premio Nobel come David Gross) e filosofi da tutto il mondo, a testimonianza di come il problema sia davvero sentito.⁸

Si possono ben criticare argomenti meta-teorici come quelli di Dawid, soprattutto se considerati un'alternativa al controllo sperimentale. Ma questo non significa che non ci siano “buone ragioni” che possano motivare, insieme alla ricerca di evidenze sperimentali, una certa confidenza nel programma di ricerca della teoria delle stringhe. Si tratta della seconda tipologia di criteri extra-empirici, quelli di carattere “interno”, influenti anche nel processo stesso di elaborazione teorica dove svolgono un importante ruolo euristico. Esempi tipici sono i criteri fondati sulle cosiddette “virtù teoriche” o, appunto, extra-empiriche: la semplicità, la coerenza, l'eleganza, la fecondità, il potere esplicativo e il carattere unificante, per ricordare quelle più utilizzate.

Nell'ambito della filosofia della scienza, questa tipologia di “virtù” è tipicamente discussa in riferimento a una situazione di “sottodeterminazione” delle teorie da parte dell'esperienza: cioè la situazione che si verifica quando si hanno a disposizione più teorie per descrivere in modo empiricamente adeguato lo stesso ambito fenomenico. La questione che si pone, allora, è la seguente: a parità di “virtù empiriche”, quali altre virtù si possono usare come criteri nella scelta tra teorie? O anche, in assenza di alternative teoriche: quali ulteriori criteri, rispetto all'evidenza empirica, ci motivano nell'adozione di una certa teoria?

Il riferimento tradizionale per identificare i fattori che possono ricoprire questo ruolo è l'elenco di buone ragioni da usare nella scelta teorica proposto da Thomas Kuhn in un testo del 1970 in cui interviene in risposta ai suoi critici: tra queste, l'accuratezza, la portata, la semplicità e la fecondità d'una teoria. Nella letteratura di riferimento, si aggiungono tipicamente qualità (non necessariamente indipendenti tra loro) come quelle già ricordate sopra: la coerenza, l'eleganza o bellezza, il potere di unificazione e il potere esplicativo delle teorie.

Meno studiato, ma non per questo meno rilevante nella pratica scientifica, è un altro tipo di

⁸ Il volume degli atti del convegno, a cura di R. Dawid, R. Dardashti e K. Thébault con il titolo *Epistemology of Fundamental Physics: Why Trust a Theory?*, è in corso di stampa presso la Cambridge University Press..

criterio interno che si può chiamare “l'argomento della convergenza”: ovvero l'argomento secondo cui un importante supporto (non empirico) alla teoria è fornito dal fatto che alcuni risultati teorici, che hanno un ruolo cruciale nella costruzione della teoria, vengano ottenuti in modi alternativi e indipendenti e, a volte, anche da punti di partenza diversi. L'argomento ha tanta più forza quanto più sorprendenti o audaci sono questi risultati teorici. La teoria delle stringhe ne fornisce diversi esempi: la stessa ipotesi della stringa, a cui arrivarono in modo indipendente e quasi contemporaneamente Nambu, Nielsen e Susskind; e il caso delle 22 dimensioni spaziali in più rispetto alle tre conosciute, ipotizzate seguendo percorsi indipendenti e a partire da problematiche del tutto diverse all'interno del quadro teorico che si andava costruendo. Era una congettura davvero audace e difficile da accettare, ma il fatto che si fosse arrivati a un tale numero di dimensioni da punti di partenza diversi e seguendo strade indipendenti ebbe indubbiamente un ruolo determinante nel renderla più plausibile.⁹

L'argomento della convergenza non è certo nuovo nella storia della scienza, e gode di un precedente illustre nel diciannovesimo secolo: si tratta del criterio che William Whewell, personaggio all'epoca molto influente nel mondo britannico, chiamò “concordanza delle induzioni” (*consilience of inductions*). La concordanza di Whewell, posta come uno dei criteri principali per la conferma d'una teoria nella sua monumentale *Filosofia delle Scienze Induttive* (1840), riguarda, più propriamente, la convergenza di diverse “induzioni” in un'ipotesi unificante di carattere più generale. Per comprenderne il significato, è importante collocarla nel quadro del pensiero di Whewell e nel contesto storico della sua opera. Con queste dovute cautele, comunque, c'è un'indubbia affinità con il criterio discusso sopra: la convergenza sorprendente di risultati teorici ottenuti per vie completamente diverse.

La storia della scienza, in particolare quella della fisica teorica degli ultimi decenni, ci fornisce vari esempi in questa direzione. E ci fornisce anche clamorosi esempi di successive conferme sperimentali di risultati teorici sorprendenti ottenuti in questo modo, la confidenza nei quali ha riposato, per un lungo periodo, solo su evidenze di natura extra-empirica. Questo tipo di buone ragioni, beninteso, non esimono dalla necessità d'un controllo empirico ed è scorretto pensare che i protagonisti della teoria delle stringhe non condividano questa convinzione.¹⁰ Non c'è bisogno di auspicare una fisica “post-empirica” o adottare una nuova metodologia scientifica per avere confidenza nella teoria delle stringhe. In questo senso, molte delle critiche mosse alla teoria non sembrano cogliere il punto.

Riconoscimenti

Lavoro sostenuto finanziariamente dal MIUR tramite il progetto PRIN 2017 “The Manifest Image and the Scientific Image” prot. 2017ZNNW7F_004

Bibliografia

Cappelli A., Castellani E., Colomo F. Di Vecchia P. (Eds.), *The Birth of String Theory*, Cambridge, Cambridge University Press, 2012.

Castellani E., *Early string theory as a challenging case study for philosophers*, in A. Cappelli *et al.*, *op. cit.*, pp. 63-78.

Dawid R., *String Theory and the Scientific Method*, Cambridge, Cambridge University Press, 2013.

⁹ Per una trattazione dettagliata di questo caso di convergenza, cfr. E. Castellani, *Early string theory as a challenging case study for philosophers*, in A. Cappelli *et al.*, *op. cit.*, pp. 74-76.

¹⁰ Si veda, come esempio autorevole, la riflessione di Veneziano nell'articolo *String Theory: Physics or Metaphysics?*, in <<Humana Mente>> 13, 2010, 13-21.

Dawid R. Dardashti R., Thébault K., *Epistemology of Fundamental Physics: Why Trust a Theory?*, Cambridge, Cambridge University Press, 2019.

Ellis G., Silk J., *Defend the Integrity of Physics*, in <<Nature>> 516, 2014, pp. 321-323.

Hossenfelder S., *Lost in Math: How Beauty Leads Physics Astray*, New York, Basic Books, 2018.

Reichenbach H., *The Rise of Scientific Philosophy*, 1951, trad.it. Bologna, Il Mulino, 1961.

Veneziano G., *String Theory: Physics or Metaphysics?*, in <<Humana Mente>> 13, 2010, 13-21.

Voigt P., *Not Even Wrong*, New York, Basic Books, 2006.

