Università
Ca'Foscari
Venezia

Corso di Laurea Magistrale

in Scienze Filosofiche

ex D.M. 720/2004

Tesi di Laurea

Il problema della demarcazione a partire da una controversia scientifica

Relatore
Ch. Prof. Eleonora Montuschi

Correlatore
Ch. Prof. Luigi Perissinotto

Laureando
Lorenzo Venier
Matricola 808338

Anno Accademico
2016 / 2017

Ringraziamenti

Desidero ringraziare tutte le persone che mi hanno aiutato e sostenuto nel lavoro di stesura dei questa tesi di laurea.

Ringrazio la professoressa Montuschi, relatrice, per l'attenzione che mi ha dedicato incoraggiandomi a seguire il progetto di tesi a partire dai primissimi incontri, cercandomi personalmente quando non davo informazioni sullo stato del lavoro, fornendomi supporto e correzioni puntuali e approfondite.

Ringrazio il Dottor Boccardi, che mi ha suggerito le prime letture che hanno permesso di scrivere questa tesi, l'approccio con cui trattare una teoria tanto complessa come le superstringhe e che ha accettato di leggere e commentare il risultato finale.

Infine ringrazio tutti gli amici e parenti che hanno speso il loro tempo rileggendo e correggendo parti di questo lavoro, che mi hanno suggerito idee e strumenti per svolgerlo al meglio e che mi hanno ascoltato parlare solo di "teoria delle stringhe" per mesi.

Indice

Introduzione **5**

Capitolo 1: La fine della fisica **9**

L'universo prima delle stringhe **11**

Relatività ristretta e relatività generale *11*

Meccanica quantistica *17*

Il modello standard *21*

Il conflitto **23**

Il sole è soltanto un'altra stella **25**

La nascita delle stringhe **29**

La seconda rivoluzione delle superstringhe **34**

Capitolo 2: Criteri di scientificità a confronto: le "string wars" **37**

Not even wrong **39**

La teoria delle stringhe è falsificabile? *39*

La teoria delle stringhe è una rivoluzione scientifica in atto? *42*

Le stringhe producono nuovo sapere? *47*

Valore epistemico e altri valori *53*

The only game in town **58**

La teoria delle stringhe è un dogma? *59*

Il problema della credibilità scientifica *66*

Capitolo 3: Una teoria speciale **69**

Cambiare la scienza e le sue "regole"? **71**

Richard Dawid e l'argomento della sottodeterminazione *77*

Le mappe interpretative di Thomas Gieryn *80*

Chi ha ragione? Due valutazioni a confronto *82*

Scienza e speculazione **84**

Una controversia speciale **88**

L'importanza delle teorie del tutto *90*

Un dibattito sull'autorità delle metavalutazioni *92*

Da speculazione a teoria corroborata *93*

Conclusione 95

Bibliografia 101

Introduzione

> I think it's high time we heard a bit more from the philosophers. [...] I believe it is vitally important that the guardianship of science and the scientific method should not be left solely in the hands of scientists, particularly those scientists with intellectual agendas of their own. (Baggott 2014, p. 297)

Sono passati quasi cinquant'anni da quando la teoria delle superstringhe inizia il suo percorso nel mondo della scienza. Nel corso degli anni la teoria ha vissuto momenti di grande successo e momenti di scarsa considerazione, ma dalla metà degli anni ottanta ha cominciato ad essere considerata una candidata eccellente di "teoria del tutto", capace di unificare l'intera fisica contemporanea. In particolare nel campo della fisica teorica le superstringhe hanno ottenuto un posto di prestigio e spesso sono state indicate come la strada per una rivoluzione imminente dell'intero panorama scientifico, richiamando migliaia di scienziati e indirizzando le università a sostenere e finanziare questa impresa rivoluzionaria. Chi se ne è occupato ha trovato appoggio, successo accademico e personale. Testi di divulgazione che trattano di stringhe e di teorie da esse derivate sono diventati dei best sellers, rendendo possibile ad un vasto pubblico di familiarizzare con questa innovativa e inusuale descrizione dell'universo.

La teoria delle superstringhe è però anche una teoria incapace di produrre previsioni verificabili, saturata di modifiche *ad hoc* prodotte per evitare la falsificazione e inclusiva di concetti e oggetti impossibili da vedere con gli strumenti di oggi e, probabilmente, anche con gli strumenti di domani. Gli scienziati più critici la descrivono come *fairy tale physics* (Baggot 2014, p.X), una teoria che non ha nulla di concreto da dire, e difesa solo da un coeso gruppo di scienziati che la trattano come un dogma. La teoria delle superstringhe, secondo i suoi critici, mette a rischio la credibilità della scienza e i criteri con cui si valuta ciò che è scienza e ciò che non lo è, monopolizzando ingiustificatamente la ricerca e i luoghi su cui investire risorse intellettuali e finanziarie.

Le domande da cui parte questo lavoro sono le seguenti: La teoria delle superstringhe è davvero scienza o, come sostengono i suoi detrattori, è un dogma che si è imposto per motivi che non hanno a che fare con la razionalità della scienza? Come è possibile che una teoria sia, allo stesso tempo, la più promettente teoria del

tutto a nostra disposizione e un esempio eclatante di tutto ciò che una teoria non dovrebbe essere?

Per analizzare la controversia scientifica che ha come protagonista la teoria delle superstringhe il lavoro sarà diviso in tre parti. Nella prima si introdurrà il panorama storico-scientifico in cui la teoria delle stringhe è emersa e le difficoltà, ambizioni e convinzioni che hanno animato la ricerca di una teoria del tutto. Verrà anche descritto il percorso che ha portato la teoria dall'essere una semplice intuizione legata ad una ricerca sui mesoni alla teoria complessa e ambiziosa che è divenuta. Nella seconda parte verrà analizzato il dibattito che si è articolato attorno alla teoria delle stringhe (le cosiddette "String Wars"), mettendo a confronto detrattori e sostenitori su specifici aspetti che riguardano i criteri di scientificità della teoria stessa. Tali criteri saranno estrapolati dalle principali posizioni metodologiche di alcuni filosofi della scienza del XX secolo (in particolare Popper, Kuhn, Lakatos e Feyerabend). L'analisi di questa parte porterà a concludere che la teoria delle stringhe in alcuni casi è in diretto contrasto con i criteri valutativi utilizzati per stabilire la legittimità scientifica di una teoria e, in altri, fa emergere il suo stato ancora precario e dipendente da conferme che tardano a venire. Ciò nonostante, il dibattito – per come è venuto a svilupparsi – mantiene aperta la possibilità che la condizione precaria della teoria sia una diretta conseguenza della specialità dell'oggetto che tratta. Nella terza e ultima parte verrà analizzata la proposta di chi, ritenendo la teoria delle stringhe "speciale", sostiene sia necessario applicarle criteri di valutazione non convenzionali.

In conclusione, si ritornerà alle domande iniziali, cercando di valutare se la teoria delle superstringhe sia effettivamente scientifica. Verrà suggerito che la teoria può essere annoverata fra quelle speculazioni scientifiche (in un senso di "speculazione" che verrà qualificato) che per motivi extra scientifici tentano di imporsi come teorie corroborate. Per questo quella che è iniziata come una controversia su una specifica ipotesi si è poi trasformata in una riflessione allargata sulla definizione stessa di scienza e sulla legittimità e valida identificazioni dei criteri conoscitivi delle discipline di ricerca. Il filosofo della scienza interviene in questo tipo di dibattito interrogandosi sul modo di combinare criteri di valutazione oggettiva e ragioni di valore sociale, cercando di conciliare il ricorso a regole stabilite e condivise dalla comunità scientifica con scelte di natura più individuale. Nello specifico, l'interesse filosofico per la controversia sulla teoria delle superstringhe porta in luce un caso in cui le personali speranze e ambizioni di singoli scienziati sono transitate sul sistema accademico-

istituzionale, imponendo scelte strutturali e priorità di indirizzo sistemico a volte discutibili, e soprattutto a scapito di una discussione più rigorosa sia di forma che di contenuto sulla teoria in questione. Questo, si ritiene, è accaduto anche in quanto gli stessi sostenitori della teoria delle stringhe si sono dimostrati refrattari e incapaci di affrontare le critiche nel merito dei contenuti, forti dell'illusione (se è lecito utilizzare questo termine) di disporre di una teoria corroborata, o sulla via di una sua possibile corroborazione.

Capitolo 1

La fine della fisica

È il 10 Settembre 1984 quando due fisici, John Henry Schwarz e Michael Green inviano alla rivista “Physics Letters B” l’articolo in cui, dopo anni di ricerca sistematicamente ignorata dalla comunità scientifica, sembrano finalmente venire a capo di uno dei problemi più spinosi che riguarda le teorie dell’unificazione. Contemporaneamente alla pubblicazione i due ricercatori inviano copia del loro lavoro anche ad Edward Witten, uno dei più capaci fisici teorici viventi, di cui Peter Woit racconta:

> Il talento di Witten per la fisica teorica fu riconosciuto presto. Un fisico che in quel periodo era un giovane membro della facoltà mi disse scherzando che «Witten aveva rovinato un’intera generazione di studenti universitari di Princeton». Con questo egli intendeva dire che per questi vedere uno dei loro compagni arrivare all’università senza avere neanche un diploma in fisica, padroneggiare il soggetto in brevissimo tempo, e cominciare rapidamente con un imponente lavoro di ricerca era un’esperienza che incuteva un profondo timore. (Woit 2006, p.108)

A ribadire l’importanza di Witten nel mondo della fisica, Baggott aggiunge:

> Witten was establishing a reputation as a bona fide genius, a modern Einstein. (Baggott 2014, p.190)

Schwarz e Green erano riusciti a eliminare il problema dell’anomalia di gauge dalla teoria delle stringhe supersimmetrica, un problema che colpisce molte teorie dell’unificazione. A questo risultato, già di per sé rilevante, si aggiunse l’interesse di una figura eminente come Witten che, a sua volta, pubblicò pochi giorni dopo il suo primo articolo sulla teoria. Come suggerisce Woit: «il fattore di gran lunga più importante fu Witten stesso, che confermò così l’influenza che era in grado di esercitare sulla comunità dei fisici» (Woit 2006, p.154). Anni di lavoro su una teoria afflitta da numerosi problemi e ignorata dalla maggior parte dei fisici nel giro di

pochissimo tempo furono premiati. Si scatenò un enorme interesse e numerosi scienziati si convinsero a dedicarsi alla ricerca: era iniziata quella che oggi viene chiamata *"prima rivoluzione delle superstringhe"*. L'entusiasmo della comunità scientifica fu enorme, si riteneva di avere finalmente in mano una candidata credibile come teoria del tutto. Lee Smolin ricorda che «furono immediatamente organizzati convegni accademici sulla teoria delle stringhe. Vi si respirava un'aria da festeggiamento trionfante. La sensazione era che fosse stata scoperta l'unica teoria vera. Null'altro importava o meritava riflessione» (Smolin 2006, p.117). La teoria delle stringhe appariva così promettente da lasciar intendere che la fine della fisica teorica fosse ormai vicina.

> Come testimone della prima rivoluzione delle superstringhe, avvenuta nel 1984, ricordo la sensazione di trionfo che si accompagnò alla nuova teoria. "Sarà tutto finito nel giro di un anno o un anno e mezzo - mi avvisò Dan Friedan, una delle giovani stelle del settore. - Ti conviene entrare finché resta ancora qualcosa da fare nella fisica teorica". Come Friedan, molti altri dichiararono che tutto si sarebbe concluso in tempi brevi. (Smolin 2006, p.267).

La teoria delle superstringhe si era imposta nel mondo della fisica teorica promettendo risposte che potessero spiegare alcuni dei principali problemi della fisica. Avrebbe messo d'accordo le due principali teorie esistenti, la relatività e la meccanica quantistica, avrebbe spiegato perché le particelle elementari che compongono l'universo sono fatte come le "vediamo" negli acceleratori e avrebbe contenuto una particella responsabile della gravità. In poche parole avrebbe trovato l'elemento ultimo di cui tutto è costituito, l'elemento che origina ogni singola cosa dell'universo: la stringa. È facile quindi capire il perché di tanto entusiasmo, il ricordo della rivoluzione concettuale operata dalla relatività di Einstein era un'attrattiva potente per chi sognasse di spiegare l'universo. Chi non avrebbe voluto far parte di una rivoluzione ancora maggiore?

L’universo prima delle stringhe

La fisica odierna si regge su due pilastri estremamente solidi ed efficaci che hanno dato più volte prova delle loro capacità predittive e descrittive, stiamo parlando della teoria della relatività e della meccanica quantistica. Per comprendere in che modo la teoria delle stringhe ha potuto suscitare le grandi aspettative che abbiamo visto descritte da Smolin, convogliando l’interesse, il tempo e le risorse di numerosi ricercatori, è bene esporre qual è la descrizione dell’universo su cui è sorta.

Relatività ristretta e relatività generale

L’universo descritto da Newton, possedeva un tempo e uno spazio assoluti, una sorta di palcoscenico che fa da sfondo alle cose che vi si muovono all’interno. Newton inoltre riteneva che la forza di gravità avesse sugli oggetti un effetto istantaneo, una variazione in un oggetto che esercita un’attrazione gravitazionale su un altro si trasmette istantaneamente tra i due. Einstein, con la formulazione della teoria della relatività ristretta mostra che lo spazio e il tempo sono relativi, sono diversi per diversi osservatori e, con la teoria della relatività generale, dà una definizione della forza di gravità e mostra che non si trasmette più veloce della luce.

La relatività ristretta si poggia su due principi, il primo è il *principio di relatività*, il secondo è il *principio di invarianza della velocità della luce*. Il primo principio nasce dalla scoperta che il moto costante è sempre relativo a qualche cosa, non esiste un moto costante assoluto, ci si sposta sempre relativamente a un punto di riferimento. Usando l’esempio di Brian Greene, senza nessun riferimento, due astronauti che si incrociassero nello spazio vuoto in moto costante non potrebbero sapere chi dei due è in movimento, chi si sta avvicinando a chi (Greene 1999, p.27). Ci riferiamo al moto costante perché nel caso del moto accelerato sarebbe possibile avvertire lo spostamento. Usando nuovamente l’esempio di Greene, se un astronauta accendesse dei razzi ne sentirebbe la spinta e saprebbe di essere in movimento anche in assenza di qualunque riferimento. Non potendo distinguere lo stato di movimento costante da quello di quiete, Einstein ne deriva una più generale formulazione: le leggi della fisica sono identiche per tutti gli osservatori, se non c’è possibile distinzione tra quiete e moto, non c’è nemmeno per gli strumenti con cui dovessimo operare un esperimento. I risultati dell’esperimento sarebbero identici indipendentemente dal fatto

che ci si trovi in quiete o in moto e non ci sarebbe quindi, nemmeno attraverso la fisica, la possibilità di stabilire chi è in stato di quiete e chi in stato di moto.

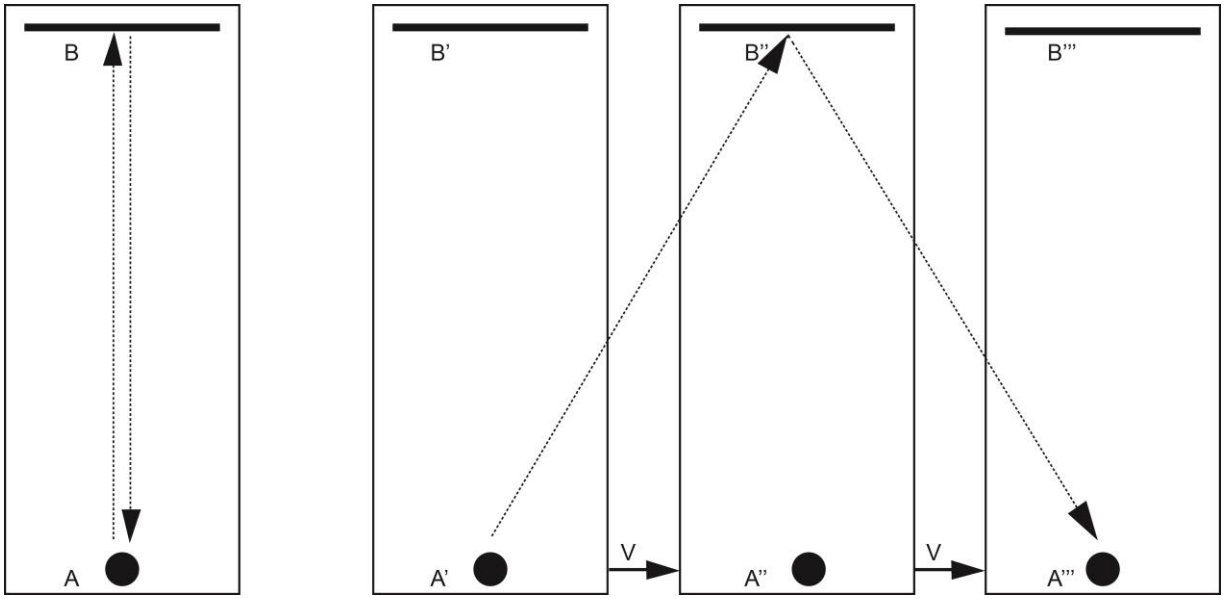
Il secondo principio invece afferma che la velocità della luce nel vuoto è sempre costante, la luce viaggia sempre a circa 300.000 chilometri al secondo per tutti gli osservatori, sia che essi siano in movimento sia che lo sia la sorgente della luce. La velocità della luce e la sua invarianza sono state dimostrate in via sperimentale (per esempio come conseguenza dell'esperimento di Michelson e Morley con l'interferometro di loro invenzione nel 1887) e si possono ricavare dalle equazioni di Maxwell. Se, per esempio, da un'auto in corsa lanciamo un oggetto nella direzione in cui l'auto si sposta, la velocità dell'oggetto sarà quella dell'auto più quella che gli ha impresso il nostro lancio; se lo lanciamo nel senso opposto, allora la sua velocità sarà quella da noi impressagli meno quella a cui l'auto si sposta. Se, invece di lanciare un oggetto emettessimo un fotone, quello si muoverà sempre a 300.000 chilometri al secondo senza subire nessuna variazione causata dalla velocità a cui si muove l'automobile.

Le conseguenze che Einstein trae da questi due principi sono stupefacenti e contraddicono in modo evidente l'esperienza comune, «senza fare troppo rumore, un impiegato dell'ufficio brevetti di Berna aveva rivoluzionato le idee accettate di spazio e tempo, sostituendole con una teoria che faceva a pugni con il senso comune» (Greene 1999, p.23). Quali sono queste sconcertanti conseguenze? Il tempo e lo spazio sono relativi.

Riguardo il tempo, Einstein, mostra come la simultaneità degli eventi non è un concetto universale. Per usare un esempio di Baggott (Baggott 2014, p.86-87) immaginiamo un treno che percorre un itinerario rettilineo a velocità costante che va da un punto A ad un punto B. Quando il treno si trova perfettamente al centro dell'itinerario un osservatore esterno al treno, anch'esso ad uguale distanza da A e B, vede due fulmini cadere contemporaneamente sui punti A e B. Cosa vedono le persone sul treno? Nel tempo impiegato dalla luce dei fulmini per percorrere il tragitto che va dal punto di caduta al punto mediano il treno avrà continuato a muoversi in direzione di B, quindi lo spazio da percorrere tra B e il treno sarà minore di quello che separa il treno da A. Gli osservatori posti in moto costante sul treno quindi vedranno prima il fulmine caduto su B e solo in seguito il fulmine caduto su A. Tutto questo normalmente non creerebbe nessun problema, usando la meccanica classica e tenendo conto dello spazio percorso dai due fulmini, del tempo tra l'osservazione del

fulmine B e quello A e delle velocità del treno e della luce. Gli osservatori potrebbero facilmente calcolare la simultaneità dei due eventi che hanno percepito come non simultanei. Ma se consideriamo il principio di relatività, allora né le persone sul treno né l'osservatore posto all'esterno del treno possono sapere chi è in stato di moto, se il treno o l'osservatore esterno e i punti A e B. Come per i due astronauti che si incrociano nello spazio vuoto, non esistono riferimenti che possano aiutarli.

La domanda che sorge spontanea a questo punto è ben espressa da Baggott: «Okay, so perhaps there's no such thing as absolute simultaneity and therefore no such thing as absolute time. But so what? All this business with lightning flashes and speeding trains just means that different observers moving at different relative speeds *perceive* things differently. It doesn't mean that time is *actually* different. Does it?» (Baggott 2014, p.87-88). Baggott ci dà anche la risposta ipotizzando un congegno sempre montato su un treno (Baggott 2014, p.88) che emette un fotone dal pavimento del treno che si riflette su uno specchio posto perpendicolarmente sul soffitto e torna indietro. Il raggio di luce percorrerà due volte l'altezza del treno in linea retta in un certo tempo. Per un osservatore stazionario rispetto al nostro treno in movimento che potesse osservare il raggio di luce, il risultato sarebbe diverso, il raggio di luce farebbe andata e ritorno in un tempo maggiore. Com'è possibile? Osservando dall'esterno il treno in movimento il raggio di luce non si muove più in linea retta ma si sposta anche nella direzione del treno, Baggott ci dice che il suo percorso avrebbe la forma della lettera greca lambda **Λ**, lo spazio da percorrere per il fotone risulta così maggiore di quello che percorre per un passeggero che si trovi sul treno. Anche in questo caso, se la velocità della luce non fosse dotata della peculiarità di essere invariante non ci sarebbe nulla di strano, il fotone percorrerebbe più spazio ma sarebbe accelerato dal moto del treno, quindi il tempo rimarrebbe uguale. Essendo però invariante impiega più tempo per compiere un tragitto più lungo, quindi, per un osservatore stazionario il tempo scorre più lentamente sul treno in movimento.



Abbandonando l'esperimento mentale per un momento, l'effetto di rallentamento del tempo è stato effettivamente osservato in modo sperimentale:

> Muons in cosmic rays move at 99 per cent of light speed and decay five times more slowly than slow-moving muons created in the laboratory. When we put an atomic clock on board an aircraft and fly it from London to Washington DC and back, it loses 16 billionths of a second due to relativistic time dilatation compared to to an identical stationary atomic clock left behind at the UK's National Physical Laboratory. (Baggott 2014, p.89)

La seconda conseguenza riguarda invece lo spazio che, come il tempo, è relativo e si modifica a causa del moto. Usando l'esempio di Greene (Greene 1999, p.40), se abbiamo un auto da corsa e la misuriamo da ferma otterremo una certa lunghezza, quando invece tenteremo di misurarla mentre sfreccia a velocità costante sulla pista, la troveremo più corta. Per misurare l'auto in corsa sarà necessario che un osservatore stazionario rispetto alla macchina cronometri quanto tempo questa impiega a passargli davanti e poi moltiplichi il risultato per la velocità dell'auto. Nell'ottica della meccanica classica questo non dovrebbe provocare nessun problema, invece, con alla base il principio di relatività, noi sappiamo che per il pilota è l'osservatore che si muove e, avendo già esperienza con gli effetti del moto sul tempo, sappiamo che per chi si muove il tempo scorre più lentamente. L'osservatore subisce

un rallentamento del tempo e quando la macchina gli sarà sfrecciata davanti fermerà il cronometro prima, ottenendo di fatto una misura più corta. L'universo che inizia a delinearsi è un universo in cui gli oggetti in moto relativo rispetto ad un osservatore rallentano nel tempo e le loro dimensioni nello spazio si contraggono; per ogni osservatore tempo e spazio sono differenti. Minkowski ne deduce che tempo e spazio possono essere combinati nello spaziotempo a 4 dimensioni, le tre spaziali e quella temporale. Questo risultato sostituisce lo spazio assoluto ed il tempo assoluto di Newton con una nuova struttura, uno spaziotempo assoluto entro cui tutto avviene e dove tutto è individuabile usando le 4 coordinate spaziotemporali.

Dopo aver dimostrato la relatività dello spazio e del tempo è il turno della gravità Newtoniana che, dipendendo solo da massa e distanza, non considera il tempo tra le sue variabili, in questo modo le ripercussioni di un'azione gravitazionale su un oggetto risultano istantanee, quindi più veloci della luce. Nella teoria della relatività però la velocità della luce è la velocità limite, uno spostamento totalmente spaziale non può in alcun modo superarla[1]. La relatività generale è la teoria che consente ad Einstein di ovviare al contrasto tra relatività ristretta e gravitazione newtoniana. La relatività ristretta esclude un gran numero di situazioni, quando si introduce il moto accelerato l'equivalenza dei punti di vista degli osservatori non vale più come con il moto costante. Einstein ha però una felice intuizione che gli permette di inserire nel suo sistema anche gli oggetti che si trovano in moto accelerato: il *principio di equivalenza*, secondo il quale la gravità è indistinguibile dall'accelerazione. Einstein si rende conto che la forza di gravità che sperimentiamo è compatibile con la forza che percepiamo quando siamo in moto accelerato. Se un ascensore sale a rapida velocità ci sentiamo schiacciare verso il pavimento, lo stesso effetto che ha su di noi la gravità. Se improvvisamente ci trovassimo nello spazio, su un razzo in accelerazione, tarato in modo che la spinta riproduca su di noi lo stesso effetto della gravità terrestre, non potremmo sapere se siamo fermi e sotto l'influsso della gravità o se siamo in

[1] La famosa formula *E=mc^2* ci dice che l'energia *E* è la massa *m* di un corpo sono correlate, una può essere convertita nell'altra moltiplicando o dividendo il loro valore per *c^2* dove *c* è la velocità della luce. Più aumenta la velocità più aumentano la massa e l'energia di un corpo, più un corpo acquisisce massa più energia è necessaria per farlo accelerare ancora. Per poter accelerare un corpo alla velocità della luce servirebbe un'energia infinita ed è quindi un'impresa impossibile.

movimento sotto l'influsso dell'accelerazione. Assumere che l'accelerazione e la gravità producano gli stessi effetti ha conseguenze sorprendenti che mutano completamente il modo in cui si era portati ad intendere lo spazio. Immaginiamo, per usare un esperimento proposto da Baggott (Baggott 2014, p.96), un ascensore in accelerazione verso l'alto. Da una parete viene emesso un fotone che attraversa la cabina e impatta sulla parete opposta. Essendo l'ascensore in accelerazione, il fotone non colpirà la parete opposta alla stessa altezza da cui è stato emesso ma la colpirà più in basso, il suo tragitto risulterà curvato. Se assumiamo che la gravità produce gli stessi effetti dell'accelerazione allora possiamo immaginare che un fotone emesso da una parete di un ascensore fermo, se soggetto ad una forza di gravità paragonabile all'accelerazione di cui abbiamo parlato prima, che tende cioè a trascinare le cose verso il basso, colpirà anche in questo caso la parete opposta più in basso rispetto al punto in cui è stato emesso. C'è però un problema, un fotone è una particella priva di massa, il che significa che la gravità non ha effetto su di lui, dunque cosa accade per far curvare il suo tragitto? Einstein risponde che la gravità curva lo spazio in cui il fotone si sposta, questo continua la sua corsa dritto ma su uno spazio curvo e per un osservatore esterno risulterà curvare il suo percorso. Un'idea del genere potrebbe semplicemente mettere in dubbio il fatto che accelerazione e gravità siano equivalenti come ipotizzato da Einstein, ma la realtà della curvatura della luce è stata osservata. Si è osservata la luce di una stella di notte, quando la massa del sole non ne può influenzare il tragitto fino alla terra, poi si è ripetuta l'osservazione di giorno durante un eclissi, per poter osservare la stella senza che la sua luce si perdesse nella luce del sole. Il risultato mostrò che la stella risultava leggermente spostata di giorno rispetto all'osservazione compiuta di notte, la massa del sole aveva piegato lo spazio in cui i fotoni si muovono facendoli curvare e apparire leggermente spostati. L'esperimento è stato svolto sull'isola di Principe durante l'eclisse del 29 Maggio 1919 e le osservazioni rispecchiarono le previsioni fatte da Einstein. Einstein ha potuto così spiegare cos'è la gravità, «la gravità *è la curvatura dello spazio e del tempo*» (Greene 1999, p.57). Non solo l'effetto della gravità non è più istantaneo ma si diffonde alla velocità della luce. Einstein ha anche eliminato l'assolutezza dello spaziotempo, ottenendo una struttura dinamica che combacia con il campo gravitazionale, «spacetime tells matter how to move; matter tells spacetime how to curve» (john Wheeler in Baggott 2014, p.97). Einstein si accorse che applicando la relatività all'universo, inteso come omogeneo in ogni direzione, ne risultava uno scenario

dinamico e instabile. La gravità delle masse dell'universo agisce in modo inesorabile e condanna l'universo ad un lento collasso. L'osservazione però sembrava negare questo fatto e, Einstein, per ovviare al problema inserì una "costante cosmologica" Λ (lambda) che potesse contrastare la forza gravitazionale e rendere l'universo statico. Le successive osservazioni di Hubble hanno poi dimostrato che l'universo non è statico ma è in espansione

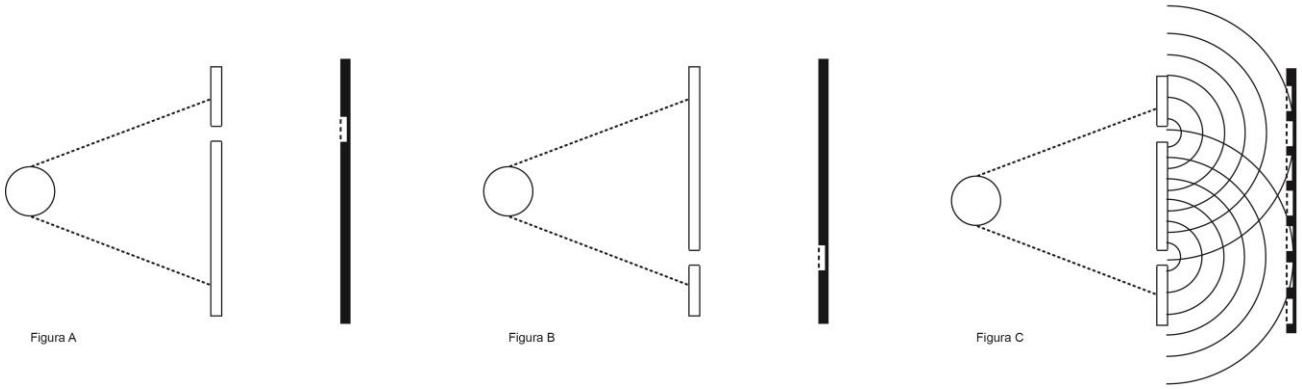
Meccanica quantistica

La meccanica quantistica è la parte della fisica che si occupa del microscopico e, al pari della relatività, produce una descrizione del mondo decisamente lontana da quello che il senso comune sembrerebbe suggerire.

> Un tempo i giornali scrivevano che solo dodici uomini al mondo erano in grado di capire la teoria della relatività. Non penso che sia vero. Forse c'è stato un momento in cui un uomo solo ne capiva qualcosa, perché era l'unico che ci stava pensando, prima di scrivere il suo articolo. Ma dopo la pubblicazione, la teoria è stata in qualche modo capita da molta gente, certo più di una dozzina di persone. Invece penso di poter affermare con sicurezza che nessuno capisce la meccanica quantistica. (Feynman in Greene 1999, p.75)

Il primo passo per comprendere la meccanica quantistica è la parcellizzazione dell'energia ipotizzata da Planck. Un'onda trasporta energia ma l'energia che trasporta è suddivisa in pacchetti definiti il cui valore è proporzionale alla frequenza dell'onda. L'energia di un'onda non può presentarsi in valori diversi da multipli interi dell'energia di un singolo pacchetto. La parcellizzazione dell'energia di Planck risolveva numerosi problemi della fisica ma lasciava aperta una domanda: cosa sono i pacchetti di energia? Sono solamente un artificio matematico? Einstein, studiando l'effetto fotoelettrico, ipotizza una risposta. I pacchetti di energia non sono un'astrazione matematica, sono effettivamente delle particelle che in seguito verranno battezzate fotoni. Questa scoperta conduce però a difficoltà non banali, la luce è composta da particelle ma, apparentemente, si comporta come un'onda. L'esperimento che mostra il comportamento bizzarro in cui ci si imbatte quando si cerca di capire come si comportano i fotoni, è il noto esperimento della doppia fenditura. Immaginiamo di

svolgerlo con l'acqua e non con la luce. Se apriamo una sola fenditura, il disegno sullo sfondo sarà di un tipo (figura A), se apriamo solo l'altra fenditura il disegno muterà (figura B). Aprendole entrambe il disegno che apparirà sullo sfondo non è la somma dei primi due perché le particelle che compongono l'acqua interferiranno tra loro producendo un disegno di interferenza, quindi le zone "chiare" e "scure" sullo sfondo saranno diverse e alcune zone che con una sola fenditura aperta erano chiare, adesso sono diventate scure (figura C). Se la luce fosse come l'acqua non ci sarebbe nulla di strano, un fascio di luce è composto da corpuscoli come l'acqua è composta da molecole.



La luce però si comporta in modo più misterioso. Se invece di un fascio di fotoni emettiamo verso le fenditure solo un fotone per volta, sullo sfondo si presenterà lo schema di interferenza tipico dell'onda. Com'è possibile? Per l'acqua funziona in quanto le molecole tra loro si influenzano lungo il tragitto, ma se proietto una sola molecola alla volta, come un proiettile, non ci sarà niente ad influenzarla e il disegno di sfondo dovrebbe essere quindi, con entrambe le fenditure aperte, la somma di quello con aperta solo la fenditura sinistra e di quello con aperta solo la fenditura di destra. La luce, emessa anch'essa a singoli fotoni, se entrambe le fenditure sono aperte si comporta comunque come fosse un fascio di fotoni. In sintesi, emettendo un singolo fotone per volta con una sola fenditura aperta avremo il disegno tipico di questa situazione, aprendole entrambe il solo fatto che la seconda fenditura sia aperta muterà il disegno, farà sì che alcuni fotoni che prima passavano in un certo modo ora cambino il loro tragitto, come se fossero influenzati dal solo fatto che le fenditure siano aperte. Ora il pessimismo di Feynman non sembra poi così strano, la luce è

corpuscolare e ondulatoria assieme, «possiamo farci belli con parole come “dualità onda-particella”; possiamo tradurre questi esperimenti in una serie di formule che si applicano a molti fenomeni con straordinaria precisione; ma è molto duro capire a livello intuitivo questa scioccante caratteristica del mondo microscopico» (Greene 1999, p.88). Come suggerisce Baggott, dire che una cosa è sia particella sia onda ha delle gravi implicazioni:

> So, how could particles of light also be waves? Particles are by definition localized bits of stuff - they are “here” or “there”. Waves are delocalized disturbance in a medium, they are “everywhere”, spreading out beyond the point where the disturbance is caused. How could photons be here, there *and* everywhere? (Baggott 2014, p.31)

A questa scoperta ne segue rapidamente una ancora più radicale, non è solo la luce ad essere un fenomeno che può venire descritto come particella e come onda, ma anche un elettrone che era considerato una particella può essere trattato come un’onda e, a seguire, tutta la materia. La materia stabile, solida, può essere descritta come un’onda, un fenomeno impercettibile nella vita quotidiana ma presente a scale molto ridotte. Nella fisica entra prepotentemente il concetto di probabilità. Le particelle comportandosi come onde hanno una certa probabilità di essere trovate in un luogo, i punti dove l’ampiezza d’onda è maggiore sono quelli in cui è più probabile si trovino. Quando la particella colpisce la lastra oltre le fenditure la funzione d’onda collassa e la particella compare come un punto, solo allora sappiamo dove si trova e non solo dove si trova “probabilmente”. La probabilità di cui parla la fisica non è quella a cui siamo abituati a fare riferimento nel vivere comune, quando lanciamo una moneta non sappiamo quale sarà l’esito solo per mancanza di informazioni, avendo a disposizione tutti i dati ed un computer per fare i calcoli si potrebbe sempre sapere se uscirà testa o croce. Nella meccanica quantistica la probabilità è più radicale, non ci sono dati mancanti che potrebbero consentirci previsioni perfette e non è un problema di potenza di calcolo. Il colpo di grazia arriva con l’interpretazione di Feynman secondo cui l’elettrone sparato verso le fenditure non passa più o da una o dall’altra:

> Feynman affermò che ogni elettrone che raggiunge lo schermo passa in realtà attraverso entrambe le fenditure. Sembra pazzesco, ma non andatevene: le cose stanno per diventare ancora più folli. Secondo Feynman, ogni elettrone che parte dalla

> fonte e arriva su un punto dello schermo percorre in realtà *tutte le traiettorie possibili simultaneamente* [...] Contemporaneamente [al passaggio nelle fenditure, n.d.r.] si fa un giretto fino alla galassia di Andromeda, ritorna sulla Terra e decide di passare per la fenditura destra. E così via all'infinito. L'elettrone "annusa" tutti i possibili percorsi che congiungono il suo punto di partenza alla destinazione finale. (Greene 1999, p.95)

Tutto questo strano vagare dell'elettrone non è puramente frutto di speculazioni avventate, i risultati dei calcoli compiuti usando l'integrale di Feynman hanno avuto conferma sperimentale dando risultati comparabili con la funzione d'onda (Greene 1999 p.95).

Il risultato, per quello che è il senso comune, è sconfortante. Abbiamo in mano una materia corpuscolare con le proprietà di un'onda, quindi indeterminata durante il suo percorso che, apparentemente, copre tutti i possibili percorsi. Per osservare cosa accade siamo costretti ad intervenire sulla particella, far collassare la funzione d'onda e imprimere quindi alla particella un definitivo luogo e momento, ma così facendo siamo costretti ad interferire e a influenzare la particella. Fino al momento dell'osservazione che imprime una posizione alla particella, questa è allo stesso tempo ovunque. Un celebre modo di esemplificare la questione è il paradosso del gatto di Schrödinger, ideato per mostrare le conseguenze paradossali della situazione che abbiamo descritto. Un gatto è chiuso in una scatola, la sua vita o morte dipendono da cosa ha fatto una particella elementare (che può avere o meno attivato un meccanismo che ha avvelenato il gatto). La particella in questione è probabilisticamente in diversi stati (per il gatto gli stati che ci interessano sono due, lo stato A, in cui il gatto risulta avvelenato e lo stato B in cui risulta vivo) e lo rimane fino al collasso della funzione d'onda che avviene quando effettuo l'osservazione. L'esperimento indica che non sono io ad ignorare cosa sia successo al gatto, ma che fino al momento dell'osservazione entrambi gli stati, vivo e morto, coesistono. Infine, il principio di indeterminazione di Heisenberg dice che non è mai possibile conoscere contemporaneamente alcune proprietà di una particella, come per esempio posizione e velocità. Per sapere qualche cosa devo poter vedere la particella e quindi ne devo influenzare lo stato. Se uso dei fotoni per vedere un elettrone questi ne perturberanno il moto, se invece abbasso la frequenza dei fotoni per evitare perturbazioni eccessive risulterà sempre più difficile determinare la posizione dell'elettrone. Anche questo elemento genera conseguenze molto particolari. Essendo impossibile conoscere

energia e momento di una particella contemporaneamente non può esistere un vuoto realmente vuoto. Infatti, nel caso esistesse, sia l'energia che il momento sarebbero uguali a zero, permettendo di conoscerli entrambi assieme e violando il principio di indeterminazione. Nel vuoto, invece, possono originarsi coppie di particelle che in poco tempo si annichiliscono, rendendo il vuoto un ribollire di creazione e scomparsa di particelle.

La meccanica quantistica è un campo complesso e stupefacente che rende molto tenue la nostra possibilità di poter realmente dire di sapere qualche cosa sulla realtà che ci circonda:

> In experimental quantum mechanics we have run right up against what was previously perceived to be a purely philosophical barrier. The experiments are telling us that we can know nothing of reality-in-itself. We have to accept that the proprieties we ascribe to quantum particles like photons, such as energy, frequency, spin, polarization, position ("here" or "there"), are properties that have no meaning except in relation to a measuring device that allows them to be projected into our empirical reality of experience. We can no longer assume that the properties we measure necessarily reflect or represent the properties of the particles as they really are. (Baggott 2014, p.52)

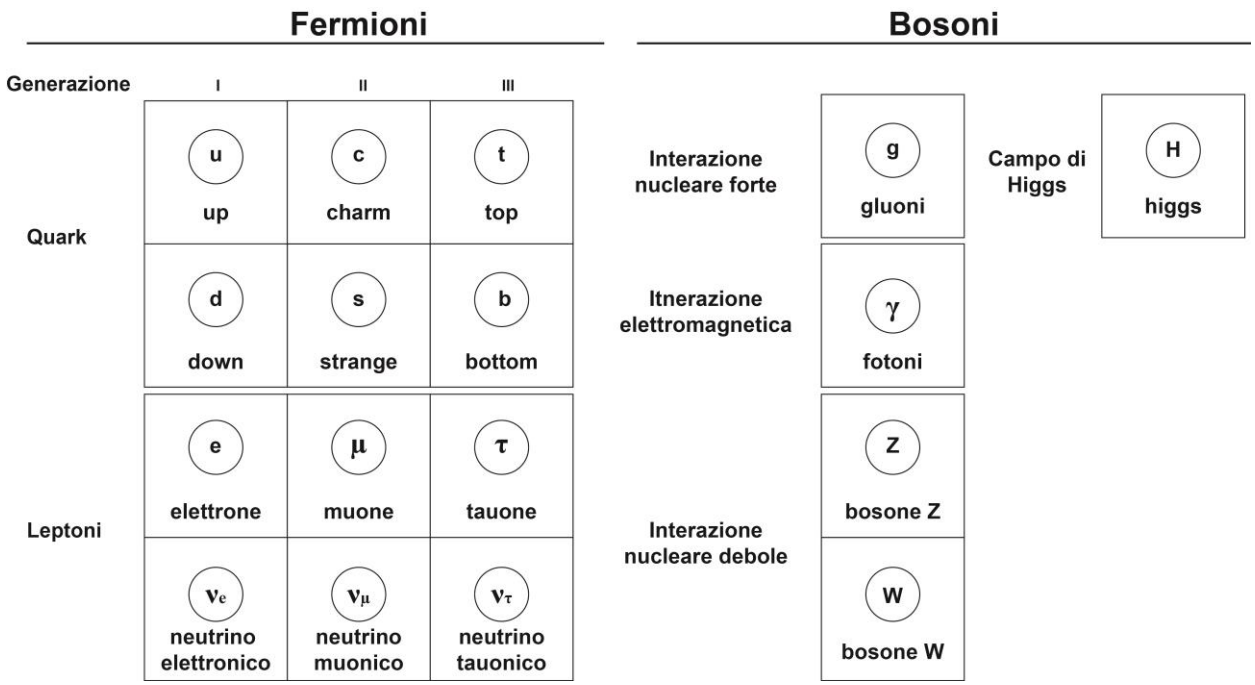
Per dirlo con le parole di Bohr che riflettono l'approccio noto come "Interpretazione di Copenhagen":

> There is no quantum world. There is only an abstract quantum physical description. It is wrong to think that the task of physics is to find out how nature is. Physics concerns what we can say about nature. (Baggott 2014, p.31)

Il modello standard

Il modello standard è la teoria che descrive le particelle e tre delle quattro interazioni che conosciamo, è l'insieme delle componenti più basilari dell'universo per ora note. Le particelle sono divise in due tipologie, fermioni e bosoni. I fermioni sono le particelle che costituiscono la materia, i bosoni sono le particelle mediatrici delle forze o interazioni, come per esempio il fotone è il mediatore della forza elettromagnetica. I fermioni sono divisi in due gruppi, leptoni e quark, divisi a loro volta

in sottogruppi. La materia che conosciamo è composta da fermioni, gli elettroni per esempio sono una tipologia di leptoni; protoni e neutroni, il nucleo degli atomi, sono composti da 3 quark ciascuno. Quando le particelle di materia interagiscono tra loro lo fanno attraverso lo scambio di particelle mediatrici di forza, i bosoni. L'emissione di fotoni corrisponde all'interazione elettromagnetica, l'interazione che tiene uniti protoni e neutroni nel nucleo degli atomi è detta interazione forte e la particella mediatrice è il gluone. L'interazione debole è responsabile del decadimento radioattivo di alcune particelle e la forza è mediata dai bosoni W e Z. L'ultima forza a noi nota è la gravità per la quale non si è individuata nessuna particella mediatrice, ipotizzando che esista sì chiamerebbe gravitone, ma non è presente nel modello standard. L'ultima particella mediatrice di forza è il bosone di Higgs, che compone il campo di Higgs, la sua proprietà è quella di conferire massa alle altre particelle. Le particelle elementari non sono dotate di massa ma la acquisiscono nel loro incontrarsi con il campo di Higgs «these interactions slow the particles down, giving rise to behaviour that we interpret as mass» (Baggott 2014, P.80).



Il conflitto

> Now we come to the crunch. We know the current version of reality can't be right. (Baggott 2014, p.150)

«Con gli strumenti teorici della meccanica quantistica e della relatività generale siamo in grado di spiegare (e fare previsioni verificabili riguardo a) moltissimi eventi, dalla scala atomica e subatomica a quella delle galassie e oltre, fino alla struttura dell'intero universo» (Greene 1999, p.101). Ci sono però diversi problemi irrisolti, per esempio: perché le particelle sono quelle che sono e non altre? Non si riesce a riconoscere un pattern comune, non è possibile sapere perché una particella ha una certa massa piuttosto che un'altra. Si ritiene che la massa venga dall'interazione con il campo di Higgs, ma perché i risultati siano diversi per le diverse particelle non è chiaro. Se le proprietà delle particelle emergono solo dal loro interagire con qualche cosa ci deve essere un motivo più fondamentale per il quale i risultati sono diversi e si originano caratteristiche diverse. Anche per quanto riguarda le interazioni le domande senza risposta sono molte. L'interazione debole e quella elettromagnetica sono state identificate come un'unica forza, l'interazione elettrodebole. Le due interazioni sono molto diverse ora, ma si ritiene che subito dopo il Big Bang, ad energie molto elevate, fossero la stessa cosa. Con il mutare delle condizioni la simmetria tra le due forze si è rotta e adesso appaiono differenti. L'interazione forte invece? Per ora non è ancora stato possibile unificarla completamente con le altre due interazioni. La gravità, la quarta interazione nota, non è al momento nemmeno inclusa nel modello. Il modello standard spiega quali sono e come sono composte molte delle cose che compongono il nostro universo ma non sa dirci perché sono come sono e da dove vengono, è ricco di parametri liberi (almeno 19) che possono essere misurati, ma per i quali non ci sono spiegazioni sul perché del loro valore.

> The standard model is a triumph. But don't be mislead. It is not a unified theory of the fundamental atomic and subatomic forces [...] the standard model is actually a collection - a product - of a set of distinct quantum field theories which describe the different forces. It doesn't explain where these forces come from or why they have the strengths they have. And it doesn't explain why the elementary particles that are acted

> on by and carry these forces have the masses that they possess. (Baggott 2014, p.159)

Il modello standard inoltre non comprende la materia oscura, ipotizzata quando le osservazioni hanno suggerito che le galassie, se fossero formate solo dalla materia a noi visibile, non potrebbero esercitare la forza di gravità che invece osserviamo. L'energia oscura responsabile dell'espansione dell'universo, che non solo si espande ma sta anche accelerando, allo stesso modo non fa parte del modello standard della fisica. Le numerose domande senza risposta che abbiamo elencato sono però solo una parte del problema. Per ogni domanda si può ipotizzare che una risposta sia solamente ancora da trovare, quando invece i due pilastri della fisica contemporanea si mostrano inconciliabili tra loro diventa chiaro che qualche cosa, nella descrizione dell'universo disponibile, è sbagliata. La meccanica quantistica e la teoria della relatività non possono essere messe d'accordo. Entrambe funzionano egregiamente nei loro rispettivi campi ma, i due capisaldi della fisica contemporanea si contraddicono. La relatività prevede, in assenza di masse, uno spazio piatto, per la meccanica quantistica lo spazio vuoto non esiste a causa delle fluttuazioni quantistiche, lo spazio risulta piatto solo a scale maggiori dove la media delle diverse fluttuazioni sarà zero. «Questo problema, tra le altre cose, ci impedisce di capire cosa accadde davvero a spazio, tempo e materia al momento del big bang, o che succede al centro di un buco nero. Più in generale, il conflitto ci mette in guardia sull'esistenza di qualche pecca fondamentale nella nostra concezione del mondo» (Greene 1999, p.71). La schiuma quantistica, come è stata battezzata da John Wheeler, è il brulicare delle fluttuazioni che si osserva concentrandosi su porzioni sempre più piccole di spazio che si presentano come modifiche e distorsioni dello spazio causate dal campo gravitazionale in subbuglio. Il conflitto, come emerge, si rende palese solo in situazioni molto peculiari, il caos diventa evidente solo al di sotto della lunghezza di Planck, 10^{-33} cm, una dimensione estremamente piccola, tanto che nella fisica non tutti sono dell'idea che sia una cosa di cui preoccuparsi, chi lo fa, ci dice Greene, lo fa a causa di «una credenza indimostrabile ma profondamente radicata: l'universo può essere descritto e spiegato fino al suo livello più elementare da una teoria sensata le cui diverse parti si armonizzano perfettamente» (Greene 1999, p.112).

Il sole è soltanto un'altra stella[2]

Le unificazioni, ci dice Smolin, sono potenti, stravolgono il modo di vedere le cose attorno a noi, sorprendono, portano a nuove scoperte: tutti gli esseri viventi hanno un antenato comune, tutte le forme di vita sono fatte da cellule, i processi chimici di queste cellule sono gli stessi in tutti gli esseri viventi… (Smolin 2006, p.20). Nella fisica si sono viste alcune unificazioni particolarmente efficaci e sorprendenti: quella tra elettricità e magnetismo realizzata da Maxwell, l'unificazione tra moto e quiete ipotizzata già da Galileo e infine raggiunta da Einstein, l'unificazione di spazio e tempo operata da Minkowski, l'unificazione del moto accelerato e non accelerato, raggiunta da Einstein con la scoperta dell'impossibilità di distinguere tra gravità e accelerazione che prende il nome di *principio di equivalenza* e, infine, l'unificazione del campo gravitazionale con la geometria dello spaziotempo.

La ricerca di unificazioni è un tratto caratteristico della fisica degli ultimi decenni. Una delle unificazioni più importanti che si è tentato di raggiungere già dai primi anni del Novecento è quella tra il campo elettromagnetico e quello gravitazionale. Se il campo elettrico e quello magnetico sono la stessa cosa allora forse si può dire lo stesso di quello elettromagnetico e di quello gravitazionale. Un primo tentativo fu fatto con la teoria di Kaluza-Klein che permetteva di unificare i due campi applicando la teoria della relatività generale ad un universo a cinque dimensioni. Una dimensione extra sarebbe bastata per ottenere l'unificazione cercata, una dimensione che, poiché non è percepita, doveva essere piccolissima e chiusa su se stessa, così che tutto ciò che ci si muove attraverso si ritrovi al punto di partenza quasi istantaneamente, inoltre doveva essere immutabile nello spazio e nel tempo, altrimenti non se ne sarebbe potuto ricavare l'elettromagnetismo. La teoria venne scartata proprio per le restrizioni che imponeva alla dimensione extra. Una dimensione congelata e immutabile contraddice espressamente l'universo dinamico che la teoria della relatività generale aveva descritto. Si continuò a tentare unificazioni utilizzando dimensioni extra, «si scoprì che bastava aumentare il numero delle dimensioni extra: l'aggiunta di molte altre dimensioni alla relatività generale fa scaturire i campi necessari per descrivere l'interazione nucleare debole e quella forte» (Smolin 2006, p.50), ma le dimensioni

[2] Smolin 2006, p.19 (- e le stelle sono soltanto soli molto lontani!)

congelate e la mancanza di previsioni non permisero di identificare una teoria valida. La reazione fu quella di tralasciare la gravità e tentare di unificare l'elettromagnetismo e le due interazioni, forte e debole. Il tentativo fu reso possibile grazie al principio di gauge e al principio di rottura spontanea della simmetria (Smolin 2006, p.56). Si potè così comprendere che le tre interazioni avevano molto in comune, «tutte e tre sono conseguenze del semplice ma potente principio di gauge, che si comprende nel modo migliore in funzione di qualcosa che i fisici chiamano simmetria» (Smolin 2006, p.57). La simmetria, in fisica è l'invarianza di alcune proprietà di un sistema durante continui mutamenti simmetrici. Un cerchio che ruota è sempre simmetrico, un quadrato è simmetrico ad intervalli discreti, un forza che agisce in egual modo su un protone o su un neutrone senza poterli distinguere è simmetrica, «le nostre leggi si applicano nello stesso modo a tutti gli individui. Possiamo considerarla come una simmetria delle leggi» (Smolin 2006, p.59). Quando parliamo di rottura della simmetria ci riferiamo al fatto che, con lo scorrere del tempo, ciò che partiva in condizioni comparabili inizia a differenziarsi. L'esempio che porta Smolin è quello di una classe di bambini dell'asilo, ipotizzando che abbiano condizioni di partenza iniziali uguali, sono simmetrici, ma passati vent'anni la simmetria si sarà rotta a causa delle situazioni e delle scelte che si sono trovati ad affrontare (Smolin 2006, p.60). «Il principio di gauge è la "bellissima idea matematica" concepita da Herman Weyl nel 1918, nel corso del suo tentativo non riuscito di unificare la gravità e l'elettromagnetismo» (Smolin 2006, p.58). Le teorie di gauge potevano descrivere delle forze ma non sembrava potessero descrivere le interazioni debole e forte, le forze che potevano descrivere erano dotate di un raggio d'azione infinito, qualità del solo elettromagnetismo. Come si unificano due cose che sono diverse? Bisogna spiegare come mai sembrano differenti, da dove le differenze che vediamo sono derivate. Einstein, spiega Smolin, si accorse, unificando elettricità e magnetismo, gravità e accelerazione, moto e quiete, che le differenze non erano proprie del fenomeno ma erano originate dalla prospettiva dell'osservatore (Smolin 2006, p.59). Per unificare le tre diverse interazioni, si ipotizza che «le differenze tra i fenomeni unificati sono contingenti, ma non a causa del punto di vista degli osservatori [...] Le leggi potrebbero avere una simmetria che non è rispettata da tutte le caratteristiche del mondo cui si applicano» (Smolin 2006, p.59). Qualcosa è avvenuto e ha fatto sì che, per esempio, le interazioni forte e debole non avessero più un'azione a distanza infinita come invece l'interazione elettromagnetica. Usando il principio di gauge e la rottura spontanea della simmetria si rese possibile l'unificazione

dell'interazione debole e dell'elettromagnetismo nella forza elettrodebole. Questa scoperta porta a delle intuizioni importanti sul nostro universo:

> L'uso della rottura spontanea della simmetria in una teoria fondamentale era destinato ad avere conseguenze profonde, non solo per le leggi di natura, ma per la più ampia questione di che cosa sia una legge di natura. Prima si pensava che le proprietà delle particelle elementari fossero determinate direttamente da leggi naturali stabilite per sempre, ma in una teoria con rottura spontanea della simmetria entra in scena un nuovo elemento, cioè il fatto che le proprietà delle particelle elementari in parte dipendono dalla storia e dall'ambiente.[...] Più in generale, le proprietà delle particelle elementari non dipendono solo dalle equazioni della teoria, ma anche da quale particolare soluzione di tali equazioni si applica al nostro universo. (Smolin 2006, p.62)

Una delle conseguenze dell'unificazione dell'interazione elettrodebole è stata la previsione dell'esistenza del campo di Higgs e della sua particella mediatrice di forza, il bosone di Higgs, osservata nel 2012 al CERN. A questo punto, nel mondo della fisica, si fa avanti un'idea ambiziosa, «le tre forze venivano interpretate come espressioni del medesimo principio [il principio di gauge, n.d.r.] ed era evidente che andavano unificate» (Smolin 2006, p.63), ma non ci si doveva limitare alle forze, l'unificazione avrebbe dovuto riguardare anche le particelle che ne sono soggette, i quark, soggetti all'interazione forte e i leptoni, soggetti all'interazione elettrodebole. L'ambizione è quella di raggiungere una grande unificazione, nota anche come GUT (Grand unification theory). Una delle teorie più promettenti, SU(5), prevede che i quark decadano in elettroni e neutrini, una previsione fortunatamente osservabile, un protone composto da un quark che decade, decade a sua volta. Il decadimento previsto è estremamente lento, un decadimento ogni 1033 anni ma, per fortuna, visto l'enorme numero di protoni disponibili la probabilità di poter assistere al fenomeno non è così remota. Per osservare il fenomeno è stato costruito un enorme serbatoio, riempito di acqua e schermato da possibili influenze, se un protone decade al suo interno sarà rilevato. «Sono passati più di vent'anni e li stiamo ancora aspettando» (Smolin 2006, p.64).

«Quando una grande idea fallisce, si può reagire in due modi diversi. Si può abbassare la sbarra e ritirarsi nella scienza incrementale, [...]l'altro modo di reagire al fallimento di una grande idea consiste nel cercare un'altra ancora più grande» (Smolin

2006, p.67). L'idea più grande in questo caso si chiama SUSY (*super symmetry*), apparsa per la prima volta nel 1970 in Russia e riscoperta nel 1973 al CERN, con scopi diversi da quello di risolvere le difficoltà del modello standard.

> In essence, SUSY is based on the assumption that there exist a fundamental spacetime symmetry between matter particles (fermions) and the force particles (bosons) that transmit forces between them, such these particles can transform into each other. (Baggott 2014, p.164)

Se si potesse dire che l'universo è supersimmetrico, numerosi problemi del modello standard si scioglierebbero. SUSY dice che fermioni e bosoni sono legati da una simmetria fondamentale, ogni particella del modello standard ha una sua superpartner, ogni fermione ha uno sfermione che ha le caratteristiche di un bosone e a ogni bosone corrisponde un bosino che ha le caratteristiche di un fermione. SUSY non è una simmetria esatta, perché sfermioni e bosini hanno caratteristiche diverse dalle particelle che conosciamo, altrimenti avremmo dovuto averli già trovati. L'idea è che ad un certo punto la supersimmetria si sia rotta spontaneamente e nel processo i superpartner abbiano acquisito molta massa e caratteristiche che li rendono poco interagenti con il resto della materia (e li rendono validi candidati per spiegare la materia oscura). Ad oggi non ci sono prove che SUSY sia un'opzione valida, le superpartner non sono mai state individuate e c'è scetticismo sul fatto che possa accadere, la teoria per come si presenta adesso non convince: «questo tipo di successo teorico è fin troppo facile: inventare tutto un mondo dell'ignoto e poi elaborare una teoria con molti parametri - che si possono regolare per nascondere tutta la robaccia nuova - non è un granché, anche se dal punto di vista tecnico è molto impegnativo» (Smolin 2006, p.78). Certo, sostiene Baggott, si continuerà ancora a rifiutarsi di accettare che forse SUSY ha fallito e si continuerà a tentare di salvarla con improbabili e complicate soluzioni e questo, commenta con un certo pessimismo, farà si che: «like Darth Vader's journey to the dark side, SUSY journey to fairy-tale physics will then be complete» (Baggott 2014, p.181). SUSY effettivamente non solo non è ancora stata abbandonata ma anzi ha trovato un posto in quella che è una delle più discusse teorie del tutto ad oggi esistenti. La teoria delle superstringhe si propone di unificare le quattro interazioni e tutte le particelle elementari. «And what, precisely, is it that make superstrings "super"? SUSY, of course» (Baggott 2014, p.181).

La nascita delle stringhe

Nel 1968, Gabriele Veneziano, un fisico teorico ricercatore al Cern di Ginevra, stava lavorando sulle collisioni e dispersioni di mesoni (particelle subatomiche composte da un quark e un antiquark) usando una teoria dell'interazione forte. Veneziano produsse una formula che esprime la probabilità che dopo la collisione le particelle si disperdano con differenti angoli. La particolarità della scoperta di Veneziano fu che la formula da lui utilizzata era la *funzione beta* di Eulero, una formula vecchia di duecento anni, «come una formula imparata a memoria da uno studente che non si rende conto del suo significato, così la funzione beta era uno strumento che funzionava senza che nessuno sapesse perché» (Greene 1999, p.118). Il lavoro di Veneziano attirò l'attenzione di alcuni colleghi che si resero conto del fatto che la *funzione beta* di Eulero descriveva le interazioni tra particelle quando le consideriamo non come puntiformi ma come piccole stringhe unidimensionali e vibranti. Inizialmente le stringhe erano un quark e un antiquark uniti dall'interazione forte che si comporta un pò come un elastico, tanto più le particelle sono vicine tanto poco si percepisce la forza, quando si allontanano inizia a opporre sempre maggiore resistenza. Un piccolo cambio di prospettiva portò a concentrarsi non sulle particelle unite dalla forza ma sulla stringa che le unisce, e se fosse quella la componente fondamentale? Una stringa di energia che a seconda della vibrazione diventa una diversa particella, dove la massa della particella non è altro che l'energia della vibrazione.

> The original string theory is founded on the assumption that elementary particles can be represented by vibrations in fundamental, one-dimensional filaments of energy. (Baggott 2014, p.186)

Una stringa può vibrare in molti modi e ogni modo dà origine a masse e cariche differenti, «grazie alla relatività ristretta sappiamo che massa ed energia sono due facce della stessa medaglia: a maggior energia corrisponde maggiore massa e viceversa [...]. Particelle pesanti hanno stringhe che oscillano violentemente, particelle leggere hanno stringhe che oscillano dolcemente» (Greene 1999, p.125). La teoria delle stringhe propone il costituente ultimo dell'universo, forze e particelle sono in realtà la stessa cosa, tutto ciò che le differenzia deriva dal modo in cui la stringa vibra. Le stringhe inoltre hanno la possibilità di appianare il conflitto tra meccanica

quantistica e relatività generale. Il problema delle fluttuazioni che rendono irregolare la geometria dello spaziotempo si presenta solo a scale ridottissime, inferiori alla lunghezza di Planck. Le stringhe non sono più particelle puntiformi ma hanno estensione spaziale, ciò significa che sono la cosa più piccola che possiamo conoscere come costituente dell'universo. Per incontrare le fluttuazioni quantiche dovremmo disporre di particelle più piccole, invece, in questo modo anche se ci fossero fluttuazioni quantistiche non sarebbero percepibili e non influenzerebbero le stringhe «come un dito non avverte la struttura cristallina del granito [molto levigato, n.d.r.], così la stringa ignora le fluttuazioni ultramicroscopiche del campo gravitazionale» (Greene 1999, p.134). Per essere ancora più radicali, le fluttuazioni più piccole della scala di Planck sono prodotte dalla meccanica quantistica e dalla relatività generale a causa del fatto che utilizzano particelle puntiformi. Se una particella è priva di dimensione spaziale allora possiamo, anzi dobbiamo, scendere all'infinito nel sempre più piccolo dell'universo, una particella a forma di stringa invece pone ad un certo punto il limite della realtà fisica oltre cui non si può scendere.

La prima formulazione della teoria delle stringhe è però un fallimento, per essere coerente con la meccanica quantistica e con la relatività speciale introduceva numerosi problemi. Per funzionare richiedeva che il mondo avesse 26 dimensioni, 25 spaziali e una temporale, prediceva l'esistenza di particelle interagenti prive di massa, non conteneva fermioni e inoltre conteneva i tachioni, particelle più veloci della luce con massa immaginaria: «the presence of tachyons is a sign that something, somewhere, has gone horribly wrong» (Baggott 2014, p.187). Le 22 dimensioni spaziali extra erano un problema, il fatto che l'esperienza ne riconosca solo 4 e non 26 non era un punto a favore della prima teoria delle stringhe, anche se, come dirà Smolin, furono un grosso impedimento per prendere la teoria sul serio all'inizio, ma in seguito l'idea di ulteriori dimensioni sarebbe diventata più comunemente accettata (Smolin 2006, p.104). I tachioni sono particelle più veloci della luce che non sono mai state osservate, «un aspetto problematico dei tachioni è che possono trasmettere informazioni indietro nel tempo, violando così il principio di causalità» (Woit 2006, p.149). Il fatto che la teoria non contenesse fermioni la condannava a non poter parlare delle interazioni forti, un bel problema per una teoria nata come teoria delle interazioni forti. In ultimo, le particelle prive di massa erano descritte come soggette all'interazione forte, ma particelle con queste caratteristiche non sembravano esistere.

Nonostante le premesse scoraggianti, alcuni fisici non smisero di occuparsene. Schwarz della teoria delle stringhe dichiarerà:

> La struttura matematica della teoria era così elegante e aveva così tante proprietà miracolose, che doveva per forza indicare qualche cosa di molto profondo. (Greene 1999, p.119)

Attraverso l'impegno dei pochi che rimangono al lavoro sulla teoria, i problemi iniziali vengono risolti. Pierre Ramond nel 1970 riesce ad eliminare i tachioni e ad inserire i fermioni. «You can probably figure out for yourself roughly how this was done. How do you get fermions into a theory that describes only bosons? [...] By assuming that the string universe is supersymmetric» (Baggott 2014, p.187). John Schwarz e Andrei Neveu nello stesso periodo ottengono a loro volta una teoria dotata di fermioni, eliminano i tachioni e riducono le dimensioni spaziali necessarie da 25 a 9. Rimangono le particelle prive di massa soggette ad interazioni forti che, da problema, sono destinate a trasformarsi in un risultato interessante per la teoria. Queste particelle prive di massa potevano configurarsi come gravitoni, le particelle che dovrebbero essere responsabili della forza gravitazionale. La teoria delle stringhe diventava così la teoria delle superstringhe e iniziava a configurarsi non più come teoria delle interazioni forti ma come teoria capace di unificare la gravità con le altre forze, una teoria del tutto. La teoria inizia a sembrare promettente, le particelle che hanno le caratteristiche che ci si aspetterebbe di trovare nei gravitoni non sono solo una possibilità ma una necessità. Le stringhe possono essere di due tipi, aperte o chiuse, le stringhe aperte possono considerarsi come dotate di estremi con una carica, da una parte positiva e dall'altra negativa, le stringhe chiuse, che genererebbero i gravitoni, sono necessariamente presenti nella teoria perché:

> in natura si producono collisioni tra particelle e antiparticelle, che si distruggono a vicenda, creando un fotone. Dal punto di vista delle stringhe, l'evento è descritto come l'avvicinamento e l'unione di due capi della stringa. Le due estremità spariscono e rimane un anello chiuso. Di fatto se la teoria deve essere coerente con la relatività, l'annichilazione particella-antiparticella e la chiusura della stringa sono necessarie, quindi la teoria deve avere stringhe chiuse e stringhe aperte. (Smolin 2006, p.106)

La teoria quindi deve comprendere la gravità. Inoltre ciò che la teoria delle stringhe sembra permettere è la riduzione di tutte le particelle e le forze del modello standard a solamente due costanti: la tensione della stringa e la costante di accoppiamento, tutto il resto, tutte le costanti della fisica derivano da qui.

Tutto è estremamente promettente ma nonostante questo, ci dice Baggott: «Nobody was interested» (Baggott 2014, p.189). Per i pochi che ci lavorano ancora, la teoria delle stringhe sembra essere una missione, il loro lavoro è scarsamente considerato e questo ha anche ricadute importanti sulle loro carriere, come racconta Smolin:

> Gli amici tuoi colleghi di dottorato sono professori ordinari; hanno un ottimo stipendio, un posto sicuro e non hanno difficoltà a mantenere la famiglia. Godono di posizioni di prestigio in università d'élite. Tu non hai nulla. [...] Tu hai scoperto un genere di teoria completamente nuova. Ma tu sei ancora un postdoc o un ricercatore; non hai la sicurezza di un incarico a lungo termine e le tue prospettive sono incerte (Smolin 2006, p.111)

Schwarz, per esempio, non ha ricevuto una cattedra a Princeton ed è rimasto per dodici anni ricercatore al Caltech, lavorando con fondi da rinnovare periodicamente (Smolin 2006, p.111). Come però abbiamo visto all'inizio di questo lavoro «la popolarità della teoria delle superstringhe e le prospettive lavorative di Schwarz erano destinate entrambe a cambiare drasticamente» (Woit 2006, p.151), la prima rivoluzione delle superstringhe produrrà effetti dirompenti. Risolto il problema dell'anomalia di gauge l'entusiasmo sarà tale che «nella nuova atmosfera, ci voleva coraggio a *non* abbandonare quello che si stava facendo per seguirli» (Smolin 2006, p.115). La teoria è promettente e molti dei suoi problemi iniziali sono stati eliminati, inoltre Edward Witten ha iniziato a lavorarci, le premesse per ritenere di essere davanti a qualche cosa di grande ci sono tutte.

Uno dei problemi che si era presentato già dalle prime formulazioni è però ancora presente, non è stato risolto né eliminato, solo reso meno impressionante. Stiamo parlando delle dimensioni extra che la teoria richiede per funzionare. Passare da 25 a 9 dimensioni spaziali può sembrare un risultato degno di nota, ma fino a che non si spiega dove si trovano e come mai non le percepiamo anche solo una dimensione extra è di troppo. Le dimensioni extra erano già state proposte per

unificare gravità ed elettromagnetismo dalla teoria di Kaluza-Klein, furono ritenute interessanti ma lo stesso Einstein le definì «too innatural» (Baggott 2014, p.184). La teoria delle stringhe però non può fare a meno delle nuove dimensioni spaziali, se lo spazio è tridimensionale la stringa può vibrare solo in tre dimensioni, non abbastanza per ottenere tutti i modi di vibrazione necessari a dare origine a tutte le particelle che deve spiegare. La teoria di Kaluza-Klein ipotizzava l'esistenza di una dimensione ulteriore, una quarta dimensione spaziale e, per giustificarne la mancata percezione la indicava come circolare e molto piccola. Un esempio che dovrebbe aiutare a capire come si può interpretare questa dimensione extra è utilizzato da Greene, quando presenta il "tubuniverso" (Greene 1999, p.162-171). Immaginiamo un mondo unidimensionale, una linea su cui si muovono esseri "linea" senza spessore che possono andare solo avanti e indietro e vedono solo ciò che si trova nelle direzioni in cui si spostano (e ovviamente lo percepiscono solo come una linea). Se la linea dell'universo fosse un tubo, nasconderebbe una dimensione ulteriore che non si può esplorare fintanto che resta così piccola da essere indistinguibile. Ipotizzando di poter gonfiare il tubo la nuova dimensione apparirebbe. Ora gli esseri che vivono nel "tubuniverso" possono spostarsi anche lungo la circonferenza del tubo, il loro mondo unidimensionale ora è dotato di due dimensioni. Le dimensioni extra sarebbero, nella teoria, circolari e così piccole da essere impossibili da percepire, ma per una stringa il discorso cambia, è talmente piccola che può vibrare nelle dimensioni compattificate. Le dimensioni extra che la teoria delle superstringhe rende necessarie però sono sei e tutte devono avere le caratteristiche della teoria di Kaluza-Klein, essere quindi molto piccole. Per compattificare una dimensione è sufficiente una forma circolare, per compattificarne due è necessario immaginarle come piccolissime sfere, e per compattificarne sei? Non è un problema da poco perché la geometria delle dimensioni influenza direttamente il modo in cui una stringa può vibrare e di conseguenza quali masse e cariche potranno originarsi dalla vibrazione, «concludiamo che questi parametri fondamentali del nostro universo sono determinati, in larga parte, dalla forma e dall'estensione delle dimensioni compattificate» (Greene 1999, p.180). Non basta trovare una geometria che permetta di compattificare sei dimensioni extra, ma quella geometria dovrà consentire anche che le vibrazioni delle stringhe in quelle dimensioni originino le particelle che compongono il nostro universo e non altre. Nel 1985 Philip Candelas, Gary Horowitz, Andrew Strominger e Edward Witten pubblicarono un articolo con la soluzione del problema. Avevano trovato uno spazio a

sei dimensioni che rispondeva a tutte le necessità della teoria, erano gli *spazi di Calabi-Yau*, in onore dei matematici Eugenio Calabi e Shing-tung Yau che avevano scoperto questa geometria a sei dimensioni.

La seconda rivoluzione delle superstringhe

Gli spazi di Calabi-Yau rispondevano alle complesse esigenze della teoria delle stringhe ma, nonostante questo, non risolvevano tutti i problemi. «Se lo spazio di Calabi-Yau fosse stato uno solo, con parametri fissi, avremmo avuto la singola teoria unitaria che bramavamo. Disgraziatamente risultò che gli spazi di Calabi-Yau erano molti» (Smolin 2006, p.123). Ogni spazio originava diverse particelle e dunque differenti tipi di universo. Non c'era nemmeno certezza riguardo a quanti potessero esisterne, «in base a una voce che circolava, lo stesso Yau pensava fossero almeno centomila» (Smolin 2006, p.123). Il lavoro non era affatto finito, il numero di possibili teorie delle stringhe continuava ad aumentare, non solo le centomila possibilità offerte dagli spazi di Calabi-Yau, ma comparvero altre numerose versioni. Gli anni a seguire sono descritti come molto duri per chi lavorava alla teoria, al proliferare di teorie si aggiungeva il fatto che le equazioni erano estremamente difficili e dovevano essere approssimate. Non è una cosa insolita, sostiene Green (Greene 1999, p.121), ma nella teoria delle stringhe era difficile anche solo scrivere le equazioni, quindi si scrivevano equazioni semplificate da cui si ricavavano risultati approssimati. La seconda rivoluzione delle superstringhe inizia in questo clima di difficoltà e scoraggiamento, Edward Witten durante il convegno "strings 1995", propone un modo per superare questo proliferare di teorie. Si inizia a fare largo un'idea, forse la teoria delle stringhe non è ciò che sembra, forse non è lei la teoria fondamentale, forse tutte queste possibilità sono solo le infinite soluzioni possibili di una teoria fondamentale.

> L'idea che una teoria abbia molte soluzioni diverse ci è familiare[...] per esempio, vogliamo descrivere una palla che viene lanciata nel campo gravitazionale della Terra. Le equazioni di Newton hanno un numero infinito di soluzioni, che corrispondono al numero infinito di traiettorie che può seguire la palla, che può essere lanciata più in alto o più in basso, più o meno velocemente. Ciascun modo di lanciare la palla dà

origine a una diversa traiettoria e ciascuna traiettoria è una soluzione delle equazioni di Newton. (Smolin 2006, p.125-126)

Di teorie delle superstringhe coerenti nello spaziotempo a dieci dimensioni si riesce a identificarne cinque diverse. L'idea di Witten è che in realtà queste cinque teorie non sono affatto teorie differenti ma si tratta della stessa teoria e per rendere possibile questa unificazione sarebbe bastato aggiungere una ulteriore dimensione. Witten aveva preso una teoria fino a quel momento poco considerata, la *teoria delle supermembrane a undici dimensioni*. Una membrana a due dimensioni arrotolata attorno all'undicesima dimensione immaginata come circolare, rimane un oggetto unidimensionale nelle altre 9 dimensioni spaziali, che somiglia proprio ad una stringa e, così facendo, tutte e cinque le teorie delle stringhe possono essere ottenute, anzi, possono essere ottenute solo loro. Witten battezzò la teoria da cui derivano tutte le teorie delle stringhe, Teoria M, senza specificare per cosa stesse la M. Era iniziata la *seconda rivoluzione delle superstringhe.*

Capitolo 2

Criteri di scientificità a confronto: le “string wars”

La teoria delle stringhe nonostante il grande seguito e gli entusiasmi generati e, nonostante sia presentata come una soluzione semplice ed elegante, capace di fare quello che nessun’altra GUT era stata capace di fare, non è immune da critiche e scetticismi. Il suo ruolo di primo piano, anzi, genera una forte controversia tra sostenitori e detrattori della teoria, battezzata dal giornalista scientifico George Johnson “String Wars”. La controversia nasce attorno alla natura della teoria delle superstringhe, da un lato i sostenitori che la considerano troppo ricca e promettente per poter essere sbagliata, dall’altro i critici che la considerano troppo lontana dai criteri della scienza per poterne far parte.

Una delle tematiche che caratterizzano il dibattito nella filosofia della scienza riguarda l’accettabilità delle teorie. Diverse questioni vengono alla luce e sono dibattute a questo proposito: i criteri che una teoria deve rispettare per poter essere considerata accettabile, quali sono i confini tra scienza e pseudoscienza, quali caratteristiche rendono una teoria più interessante o promettente di un’altra, quali segnali indicano il momento di escludere dal mondo della ricerca una teoria in favore delle alternative. Il dibattito è vivace ma non risolutivo. Le proposte si scontrano con quella che è la prassi degli scienziati, la comparsa di oggetti inosservabili, la crescente complessità matematica, l’impossibilità di sapere se in futuro una teoria si rivelerà migliore di come ci appare ora (mettendo in gioco concetti come la corroborazione, la verisimilitudine, la proiezione induttiva).

Alcuni dei criteri più importanti emersi da questa discussione in filosofia della scienza sono derivati dalla necessità di prendere le distanze dalla proposta neopositivista del verificazionismo. Nessuna teoria può dirsi vera e confermata in modo definitivo, la natura stessa della scienza la porta a modificare e migliorare ciò che fino a poco prima era un fondamento confermato in modo empirico. È però importante possedere uno strumento che possa distinguere ciò che ha valore scientifico dal vasto panorama di teorie, speculazioni e convinzioni che orbitano attorno alle scienze. La convinzione è che una teoria scientifica, pur se non verificabile, è diversa dal resto delle discipline pseudoscientifiche o “magiche”, come l’astrologia e

l'alchimia per esempio, che non hanno diritto di condividere l'autorità e l'autorevolezza delle scienze che si suppongono genuine. Da uno sguardo alla letteratura di riferimento, i principali criteri adottati richiedono che la struttura logica di una teoria permetta di valutare in maniera inequivocabile se è falsa, oppure che sia capace di risolvere problemi considerati rilevanti scientificamente, o che produca nuova conoscenza, spiegando fatti nuovi e stimolando osservazioni ed esperimenti mai compiuti prima (Lakatos 1978, p.5). Ogni tentativo di creare un sistema di valutazione della scientificità si sforza di dare conto di tutti quegli elementi difficilmente controllabili che caratterizzano l'impresa scientifica e che impediscono alle teorie di essere perfettamente compiute già all'atto della formulazione, in accordo con tutti i fatti, prive di contaminazione da parte delle aspettative e degli interessi che caratterizzano la comunità scientifica. L'insieme dei criteri fornisce un quadro meno definitivo ma approfondito di cosa è opportuno aspettarsi da una teoria per poterla inquadrare nella scienza ma, nonostante questo, non è stato possibile escludere definitivamente la possibilità che una teoria molto poco promettente diventi, con il tempo e con l'impegno, interessante e scientificamente consistente. Non è stato possibile nemmeno fare totalmente piazza pulita delle inclinazioni e delle soggettività degli scienziati, della contaminazione dei dati dovuta ad aspettative più o meno conscie (Feyerabend 1975, p.65), del fatto che la decisione di applicarsi e investire tempo e risorse in una data teoria viene in parte anche dal suo potere di sedurre e interessare (Kuhn 1962, p.190).

In questo capitolo la teoria delle superstringhe verrà analizzata facendo riferimento ad alcuni dei criteri elaborati nel campo della filosofia della scienza e utilizzati in modo critico anche dai suoi detrattori. Verranno prese in considerazione:

1) la sua incapacità di produrre previsioni osservabili che la rende difficile da considerare falsificabile

2) il ricorso alla sua unicità, coerenza interna ed eleganza come tentativo di corroborazione

3) la quantità di aggiustamenti *ad hoc* rispetto alla produzione di fatti nuovi corroborati

4) il suo potere di sedurre e interessare gli scienziati

5) il suo tentativo di sottrarsi al disaccordo presentandosi in modo dogmatico e spostando il tema del dibattito sull'autorità dei critici invece che sul merito della teoria

Not even wrong[3]

Fino a qui quello che si è detto sulla teoria delle superstringhe si è limitato alla sua origine e alla sua formulazione teorica, le sue ambizioni e la descrizione dell'universo che ne scaturisce. Resta in sospeso una questione rilevante, che motiva la presente ricerca: la teoria delle superstringhe è davvero scienza? Da un punto di vista di filosofia della scienza porsi questa domanda implica avanzare una serie di questioni che hanno a che fare con i criteri che normalmente vengono utilizzati per decidere della scientificità di una disciplina o di un'area di ricerca, ovvero fornisce previsioni di qualche tipo? È in grado di produrre una descrizione del nostro universo che rispecchi ciò che vediamo? Postula entità della cui esistenza è possibile argomentare in modo fondato e convincente? Ecc.

Il confronto/scontro tra stringhisti e oppositori prende appunto avvio da queste domande. In quanto segue cercheremo di analizzare le risposte che vengono date da entrambe le parti.

La teoria delle stringhe è falsificabile?

Punto di partenza di buona parte del dibattito epistemologico contemporaneo è il criterio di falsificabilità di Popper. Questo, come è noto, supera il verificazionismo e il probabilismo, rivoluzionando il modo di intendere la scienza e cercando di risolvere il problema dell'induzione.

> Dunque le teorie non sono *mai* verificabili empiricamente. Se vogliamo evitare l'errore positivistico, consistente nell'eliminare per mezzo del nostro criterio di demarcazione i sistemi di teorie delle scienze della natura, dobbiamo scegliere un criterio che ci consenta di ammettere, nel dominio della scienza empirica, anche asserzioni che non possono essere verificate. [...] Queste considerazioni suggeriscono che, come criterio di demarcazione, non si deve prendere la *verificabilità*, ma la *falsificabilità* di un sistema. In altre parole: da un sistema non esigerò che sia capace di essere valutato

[3] Woit 2006, p. XVI. Riporta un aneddoto in Peierls 1960, p. 186. «(Wolfgang Pauli, n.d.r.) era noto per essere un ascoltatore coriaceo, capace di esclamare "sbagliato" (*falsch*), o "completamente sbagliato" (*ganz falsch*) quando non era d'accordo con un oratore. Un giorno, poco tempo prima che morisse, gli fu chiesta un'opinione su un articolo scritto da un fisico più giovane; Pauli rispose con tristezza "non è neanche sbagliato" (das ist nicht einmal falsch)».

> in senso positivo una volta per tutte; ma esigerò che la sua forma logica sia tale che possa essere valutato, per mezzo di controlli empirici, in senso negativo: *un sistema empirico per essere scientifico deve poter essere confutato dall'esperienza.* (Popper 1959, p.22)

Popper produce un sistema che serve a valutare le teorie in funzione della loro struttura. Lakatos descrive la proposta di Popper in questo modo: «A theory is 'scientific' if one is prepared to specify in advance a crucial experiment (or observation) which can falsify it, and it is pseudoscientific if one refuses to specify such a "potential falsifier"» (Lakatos 1978, p.3). L'idea è che per stabilire la scientificità di una teoria sia necessario che questa sia dotata di una forma (logica) che possa essere falsificata e che si sia in grado di fornire, all'atto della formulazione teorica, le condizioni a cui si sarebbe rinunciato alla teoria ritenendola falsificata. Questa duplice condizione solleva alcune difficoltà per una teoria come le superstringhe. Ad oggi la difficoltà delle equazioni e le molteplici possibilità che la teoria produce sembrano giocare contro di essa. La principale critica è che le superstringhe sono una teoria che non produce nessuna previsione verificabile sperimentalmente, anzi, più duramente Woit afferma che «la teoria delle superstringhe non ha avuto alcuna connessione con gli esperimenti perché non fa assolutamente alcuna predizione» (Woit 2006, p.163). Da questo si arriva a mettere in discussione il suo stesso essere una "teoria scientifica"; «la ragione per cui la teoria delle stringhe non fa alcuna previsione è che essa non è realmente una teoria, quanto piuttosto un insieme di ragioni per sperare che una teoria esista davvero» (Woit 2006, p.178). La sua struttura è tale che Baggott la definisce *fairy tale physics*:

> This stuff is not only not true, it's not even science. I call it "fairy tale physics". (Baggott 2014, p.X)

Cosa non torna nella così promettente teoria delle superstringhe? Innanzi tutto non ne esiste una versione completa, ovvero non esistono equazioni fondamentali stabili o principi base definiti. La teoria delle stringhe è considerata una somma di ipotesi che si reggono sulle spalle di altre ipotesi – equazioni approssimate e risultati a loro volta approssimati. La teoria delle superstringhe è quindi incapace di fornire una risposta alla domanda di Popper su quale sia un suo potenziale falsificatore. Un

esempio usato da Greene riguardo gli spazi di Calabi-Yau espone bene questo problema.

Per creare le particelle che compongono il nostro universo, lo spazio in questione dovrebbe, apparentemente, avere tre buchi, ogni buco produrrebbe una famiglia di vibrazioni e ogni famiglia di vibrazioni corrisponde ad una di particelle elementari. Ma gli spazi di Calabi-Yau sono moltissimi e non c'è modo di risalire inversamente dal nostro universo allo spazio che potrebbe originarlo. Non sono solo i buchi ad essere importanti ma anche come è fatto lo spazio attorno a questi buchi. Tutto questo influenza i modi di vibrazione della stringa e, sfortunatamente, la quantità di deformazioni che può subire uno spazio di Calabi-Yau con tre buchi è enorme. Inoltre «le equazioni approssimate attualmente in uso non sono in grado di calcolare interamente che tipo di fisica salti fuori da una certa forma di Calabi-Yau» (Greene 1999, p.192). Per ora l'unica fortuna, sostiene Greene, è che pochissimi spazi hanno prodotto, pur per approssimazione, risultati che possono considerarsi simili alla nostra fisica, questo potrebbe almeno aiutarci a scartare tutto ciò che dà risultati troppo differenti. Per ora dunque la teoria produce un numero approssimato e vastissimo di possibili risultati, il che rende impossibile avere dei parametri che possano indicarci quando una previsione è in grado di falsificare la teoria.

Non va meglio quando ci si concentra sugli elementi costitutivi della teoria: le stringhe, la supersimmetria, le dimensioni extra. Le stringhe sono troppo piccole per essere osservate, si ipotizza che alcune possano essersi ingrandite fino a dimensioni notevoli, dimensioni di milioni di anni luce, le cosiddette stringhe cosmiche, ma «la scoperta di una stringa cosmica di per sé non può verificare la teoria delle stringhe, poiché anche molte altre teorie ne prevedono l'esistenza» (Smolin 2006, p.173). Le stringhe cosmiche sono ipotizzate al di fuori della teoria delle stringhe e, sebbene potrebbe trattarsi di stringhe fondamentali estese nello spazio, allo stesso modo potrebbero essere altro. Lo stesso discorso vale per la supersimmetria e per le dimensioni extra, sono ipotesi che valgono per un gran numero di altre teorie. Non trovarle condannerebbe la teoria delle stringhe mentre invece individuarle non la proverebbe. Per usare il gergo della filosofia della scienza, la teoria delle stringhe è "sottodeterminata" rispetto alle entità di cui parla e sulla base delle quali ottiene i propri risultati.

Con la seconda rivoluzione delle superstringhe, originata dall'ipotesi di Witten riguardo una nuova teoria fondamentale, la teoria da cui quelle che sono le diverse

declinazioni delle teorie delle superstringhe originano come soluzioni, la situazione non migliora. La M-Theory di Witten non è in condizioni migliori delle superstringhe: «M-theory è un termine improprio. Non è una teoria, ma una collezione di fatti e argomenti che suggeriscono l'esistenza di una teoria» (Woit 2006, p.178). Anche Baggott rivolge alla teoria delle brane a 11 dimensioni lo stesso duro atteggiamento: «M-Theory is not a theory. Nobody knows what M-Theory looks like, although many theorists have tinkered with structures that they believe it could or should possess» (Baggott 2014, p.197). La M-Theory è solamente una speranza, e Witten «could not formulate M-Theory; he could only speculate that it must exist» (Baggott 2014, p.197). Come riassume Woit:

> Più di vent'anni di intensa ricerca, portata avanti da migliaia tra i migliori scienziati del mondo intenti a produrre decine di migliaia di lavori scientifici, non hanno condotto a una sola predizione verificabile della teoria. Questa situazione spinge a chiedersi se si possa realmente descrivere la ricerca nella teoria delle stringhe come ricerca scientifica nel campo della fisica. La questione tende ad assumere due diversi risvolti: il primo è se la teoria delle superstringhe non debba essere considerata matematica piuttosto che fisica; il secondo, più drastico, pone il problema se la teoria sia realmente scienza oppure no. (Woit 2006, p.209)

La teoria delle stringhe è una rivoluzione scientifica in atto?

La teoria delle superstringhe, vista attraverso l'epistemologia di Kuhn potrebbe essere un nuovo paradigma che tenta di imporsi per mettere fine ad un periodo di crisi, proponendo un nuovo modo di guardare il mondo: prima c'erano le particelle puntiformi ora ci sono le stringhe. Il suo essere troppo complessa o il trattare di oggetti non osservabili con gli strumenti che abbiamo a disposizione non sarebbe un problema. Parlando di Galileo e dei suoi esperimenti Kuhn nota come fosse molto improbabile che Galileo ricavasse misurazioni adeguate a confermare le sue tesi utilizzando i rudimentali strumenti disponibili. Kuhn si riferisce in particolare all'esperimento del piano inclinato con cui Galileo confermò la sua ipotesi che il moto con cui si sposta un corpo sottoposto solamente al suo peso è un moto uniformemente accelerato (Kuhn 1977, p.209-210). L'esperimento di Galileo è datato 1638 mentre, ci dice Kuhn, la macchina di Atwood, utilizzata per verificare le leggi del moto accelerato,

è stata costruita solo nel 1784 (Kuhn 1977, p.209). I risultati di Galileo con il piano inclinato furono persino messi in dubbio dalla comunità scientifica: «un gruppo dei migliori scienziati di Francia annunciò il suo completo fallimento nell'ottenere risultati confrontabili. Essi si meravigliarono in una rivista come lo stesso Galileo potesse aver tentato l'esperimento» (Kuhn 1977, p.210). Nonostante queste difficoltà sperimentali, di Galileo Kuhn dice: «è un genio che salta al di sopra dei fatti lasciando il compito di prenderli in considerazione al diverso talento dello sperimentatore» (Kuhn 1977, p.210). L'ostilità di una parte degli scienziati che si occupano di fisica allo stesso modo non sembra essere un dato scoraggiante: «tutte le crisi cominciano con lo sfocamento del paradigma e col conseguente allentarsi delle regole che governano la ricerca normale» (Kuhn 1962, p.111). L'impressione è che, per Kuhn, sia normale una forte opposizione all'avvicendarsi di nuovi paradigmi rivoluzionari dovuta al senso di perdita di controllo e alla percezione dell'indebolimento di alcune prassi prima rigorose e ben funzionanti. L'affermarsi del nuovo paradigma è «una ricostruzione del campo su nuove basi, una ricostruzione che modifica alcune delle più elementari generalizzazioni teoriche del campo, così come molti metodi ed applicazioni del paradigma» (Kuhn 1962, p.111). Ancora più importante è il fatto che un paradigma appena entrato in gioco, nel tentativo di imporsi sulle alternative e soppiantare il paradigma entrato in crisi, sarà immaturo e andrà fortificandosi solo con il tempo. Gradatamente, una volta rientrata la fase di crisi, si tornerà a praticare "scienza normale".

> Di solito è soltanto molto più tardi, dopo che il nuovo paradigma è stato ulteriormente elaborato, accettato, e sfruttato, che compaiono argomentazioni che appaiono decisive. (Kuhn 1962, pp.188-189)

Il paradigma che va imponendosi non ha un'attrattiva dovuta alla sua capacità di risolvere problemi maggiore di quello precedente ma, inizialmente, per concentrare l'attenzione su di sé avrà bisogno di convertire alcuni scienziati con altri strumenti.

> Colui che abbraccia un nuovo paradigma fin dall'inizio, lo fa spesso a dispetto delle prove fornite dalla soluzione di problemi. Egli deve, cioè, avere fiducia che il nuovo paradigma riuscirà in futuro a risolvere molti vasti problemi che gli stanno davanti, sapendo soltanto che il vecchio paradigma non è riuscito a risolverne alcuni. Una

> decisione di tal genere può essere presa soltanto sulla base della fede. (Kuhn 1962, p.190)

Questa parte iniziale della rivoluzione, dove le teorie si guadagnano con tali meriti l'attenzione di alcuni scienziati non è risolutiva. Fino a qui si è solo guadagnato le risorse necessarie a svilupparsi a sufficienza per dare prova della sua bontà: «se il paradigma è uno di quelli destinati ad imporsi, il numero e la forza delle argomentazioni a suo favore aumenteranno. Altri scienziati verranno allora convertiti, e così si intensificherà il lavoro di esplorazione del nuovo paradigma» (Kuhn 1962, p.191). La teoria delle stringhe è scienza rivoluzionaria in senso Kuhniano? Si tratta di una teoria rimasta in ostaggio alla fase rivoluzionaria da un lasso di tempo molto lungo. Ha affascinato e interessato numerosi ricercatori ma ancora non ha trovato la forza di sostituirsi alla fisica che la precedeva. Le sue peculiarità sono dunque da un lato, un'estrema capacità di catturare l'interesse e dall'altro, una lunghissima durata della fase di elaborazione volta a produrre finalmente una solida guida per la risoluzione di rompicapo, una fase che ancora non è conclusa. Una situazione come questa può far mettere in dubbio che ci si trovi realmente davanti ad una fase di crisi pre rivoluzionaria. Nella fisica che precede le stringhe ci sono sicuramente anomalie e domande ancora senza risposta, ma quante anomalie fanno una crisi?

> Le rivoluzioni scientifiche sono introdotte da una sensazione crescente, anche questa volta avvertita solo da un settore ristretto della comunità scientifica, che un paradigma esistente ha cessato di funzionare adeguatamente nella esplorazione di un aspetto della natura verso il quale quello stesso paradigma aveva precedentemente spianato la strada [...] la sensazione di cattivo funzionamento che può portare a una crisi è un requisito preliminare di ogni rivoluzione. (Kuhn 1962, p.119-120)

Kuhn prevede che le anomalie siano accumulate fino ad un momento di rottura, quando è impossibile proseguire nell'attività di risoluzione di rompicapo senza risoluzioni definitive dei medesimi, ma identificare quell'esatto momento in cui la necessità di mutare il paradigma è l'unica via percorribile per continuare a fare scienza non appare semplice. Una crisi è evidente solo a posteriori. Come sostiene Laudan:

> Numerosi critici hanno notato che la teoria kuhniana della crisi è arbitraria: se (come Kuhn dice) alcune anomalie non producono una crisi, ma "molte" anomalie la producono, come fa lo scienziato a determinare il punto critico? (Laudan 1977, p.97)

Fino a che una nuova teoria non si impone in modo definitivo ci troviamo in un periodo indefinito: una crisi che forse era solo un sussulto, un nuovo paradigma che forse era solo un'ipotesi fantasiosa. Il problema si fa tangibile a causa del fatto che l'accettazione del nuovo paradigma non è un momento definito. L'affermarsi della nuova teoria sarà graduale: se mostrerà risultati degni di nota allora spingerà la comunità scientifica ad interrogarsi sul suo funzionamento, convincendo alcuni a passare lentamente dalla teoria precedente alla nuova. Come scrive Kuhn, «nessun processo totalmente simile alla scelta si è verificato, ma essi sono diventati tuttavia praticanti della nuova teoria» (Kuhn 1977, p.374). Non esiste nemmeno un tempo massimo per la conversione, anzi, non sarà mai possibile convincere tutti. Citando Plank, Kuhn, esplicita la difficoltà a passare ad un nuovo paradigma da parte di chi per tutta la vita si è dedicato a quello vecchio, fiducioso della sua capacità di venire a capo di ogni problematica:

> Una nuova verità scientifica non trionfa convincendo i suoi oppositori e facendo loro vedere la luce, ma piuttosto perché i suoi oppositori alla fine muoiono, e cresce una nuova generazione che è abituata ad essa. (Max Planck in Kuhn 1962, p.183)

Il passaggio di paradigma è, nella visione di Kuhn, totalmente in mano alla conversione della comunità scientifica, sono loro che devono venire sedotti da una nuova teoria, spesso attraverso modalità che non hanno a che fare con la sua capacità di risolvere problemi. Inoltre, anche nel caso di una reale possibilità di cambio di paradigma, non è automatico che la conversione avvenga. La comunità scientifica e le sue necessità, decisioni o predilezioni posso impedire che un nuovo valido paradigma si sostituisca a quello vecchio. Citando il caso dell'astronomia tolemaica Kuhn mostra come Aristarco nel III secolo avesse già proposto un sistema geocentrico senza che nessuna rivoluzione ne scaturisse. La mancata rivoluzione non è da imputare a qualche errore nel modo di fare scienza ma piuttosto al fatto che «il sistema geocentrico, molto più ragionevole, non presentava nessuna difficoltà che potesse venire eliminata da un sistema eliocentrico e una cosa del genere non poteva

nemmeno venire in mente [...] non v'erano ragioni evidenti per prendere Aristarco sul serio» (Kuhn 1962, p.100-101). Copernico invece aveva dalla sua parte il fallimento del sistema tolemaico, come riporta Kuhn analizzando la prefazione di Copernico al *De Revolutionibus*:

> Un'onesta valutazione dell'astronomia contemporanea, afferma Copernico, mostra che l'impostazione del problema dei pianeti sulla base della Terra centrale non apre la via a nessuna soluzione possibile. I tradizionali sistemi tecnici dell'astronomia tolemaica non hanno risolto né risolveranno tale problema; da essi è sorta invece una costruzione abnorme: ci deve quindi essere, egli conclude, un errore fondamentale nei concetti basilari dell'astronomia planetaria tradizionale. (Kuhn 1957, p.178)

Se concordiamo con il quadro dipinto da Kuhn, la teoria delle superstringhe risulta una valida ipotesi appartenente al mondo della scienza, con tutte le sue mancanze e le sue imprecisioni. Tuttavia essa lascia aperti molti interrogativi. Se la teoria ha innescato una fase di crisi nel paradigma stabilito della fisica, perché si è trattato di una crisi che ancora non si è riusciti a ricondurre al periodo di scienza normale? La teoria non è stata capace di imporsi perché non ha un valore scientifico o perché non è capace, per ora, di fornire migliori strumenti rispetto a ciò che la precede? Modifiche come quella sul tipo di spazi di Calabi-Yau indicano che la teoria può ancora trovare rompicapo da risolvere, oppure è destinata a ripetere se stessa ammucchiando giustificazioni ad hoc per nascondere i suoi fallimenti - un pò come l'astrologia che, sostiene Kuhn, ha perso il suo posto nelle scienze assieme ad altre arti perché «non avevano rompicapo da risolvere e perciò scienza da praticare» (Kuhn 1977, p.301). Nessun fallimento in quelle discipline avrebbe potuto essere usato per dare inizio a un processo di risoluzione di rompicapo, «nessun uomo, benché esperto, poteva servirsene in un tentativo di rivedere la tradizione astrologica» (Kuhn 1977, p.302). Sapere che una buona teoria può emergere e rimanere inascoltata per anni, anzi, nel caso di Aristarco, per più di un millennio, cosa ci può dire sulla reale possibilità di compiere valutazioni adeguate qui e ora?

Le stringhe producono nuovo sapere?

La teoria delle stringhe nasce all'interno di una ricerca condotta da Gabriele Veneziano e in seguito, attraverso il lavoro di alcuni scienziati, emerge dall'ipotesi che la descrizione ottenuta da Veneziano delle particelle potesse essere considerata come la descrizione di piccole stringhe. Da questo momento in poi, quando si fa strada l'idea che il lavoro di Veneziano possa essere il primo tassello di una scoperta di portata molto superiore, inizia il processo di costruzione di quella che è la teoria odierna. L'accusa che viene mossa a questo procedimento di articolazione della teoria è quella di procedere "indipendentemente da tutto", ovvero il cercare una nuova ipotesi *ad hoc* per far quadrare il cerchio, continuando a costruire senza produrre previsioni che possano essere messe a confronto con il controllo empirico degli esperimenti. Questo significa, in altre parole, non curarsi di cosa ci si dovrebbe aspettare da una teoria per essere scientifica, ma proseguire indifferenti a tutto, adottando come unica prova a favore la certezza interiore di essere sulla buona strada. «Perché, ci si potrebbe domandare, i teorici delle stringhe sostengono fermamente che lo spazio ha nove dimensioni? Semplicemente perché la teoria delle stringhe non ha senso in nessun altro genere di spazio...» (Baggott 2014, p.125). In un'intervista, Richard Feynman, spiegò cosa non gli piaceva della teoria delle stringhe con queste parole:

> Non mi piace che non calcolino nulla. Non mi piace che non verifichino le loro idee. Non mi piace il fatto che per ogni cosa che è in disaccordo con l'esperimento inventino una spiegazione - una sistemazione per dire "Be', può ancora essere vera". (Woit 2006, p.177)

Baggott esprime molto bene il procedimento che lascia Feynman contrariato: la teoria delle stringhe prende avvio da un problema, un problema che le particelle puntiformi non possono risolvere e dove invece le stringhe unidimensionali sembrano più promettenti. La supersimmetria è un ottimo strumento per inserire sia fermioni sia bosoni e gli spazi di Calabi-Yau sono soddisfacenti per ripiegare le dimensioni extra che la supersimmetria richiede per creare tutte le particelle di cui abbiamo bisogno. «This all seems perfectly logical and reasonable» (Baggott 2014, p.194). Ma, prosegue Baggott, questo non è tutto, il problema non è risolto.

> On what basis we choose strings, as opposed to any other kind of abstract construction? [...] On what basis we assume supersymmetry between fermions and bosons? [...] What is the basis for assuming that six dimensions must be hidden in a Calabi-Yau space? (Baggott 2014, p.195)

La risposta è che sono le assunzioni più logiche da fare. Le stringhe hanno un legame con la funzione beta di Veneziano, anche se «possibly rather tenuous» (Baggott 2014, p.195), e la supersimmetria è l'unica strada per inserire tutte le particelle. Non percependo altre dimensioni oltre le tre spaziali e una temporale, alla fine quelle extra devono essere compattificate. Tutto è perfettamente logico e ragionevole sostiene Baggott, ma deve essere chiaro che «what we are actually doing is piling one grand assumption on top of another» e «there is no experimental or observational basis for these assumptions. This is a theory with little or no foundation in empirical reality. It is rather a loose assemblage of assumptions, ideas or hypotheses that say rather more about how we would like the universe to be than how it really is» (Baggott 2014, p.195-196). La teoria prosegue di buona idea in buona idea senza però mai poter verificare se si tratta solo di buone idee o sono anche in accordo con i dati sperimentali, principalmente perché, come sostiene Greene, la difficoltà delle equazioni e dei calcoli e l'enormità di calcolo delle possibilità non rendono possibile fare predizioni. Non producendo previsioni la teoria delle superstringhe è un oggetto difficile da maneggiare, non può essere corroborata da nessun esperimento ma allo stesso tempo non può incorrere in nessuna falsificazione. Ci sono però alcuni tentativi di attribuirle sia previsioni sbagliate che previsioni corrette. Uno dei principali elementi che dovrebbe, a detta dei detrattori, averla messa in crisi riguarda l'energia oscura.

L'energia oscura è stata scoperta nel 1998, è un'energia uniformemente diffusa in tutto il cosmo e ha la peculiarità di non essere legata a particelle e onde. Dell'energia oscura e della sua esistenza si può osservare unicamente l'effetto, l'influenza che ha sul cosmo, la sua diffusione uniforme influenza la velocità con cui il cosmo si espande. L'energia oscura è ancora misteriosa, si è ipotizzato possa trattarsi di quella che Einstein aveva battezzato "costante cosmologica". Quando Einstein si rese conto che dalla relatività derivava un universo in evoluzione, ritenendo che l'universo dovesse essere statico, aveva inserito un valore energetico per il vuoto che potesse contrastare l'attrazione gravitazionale della materia dell'universo che altrimenti l'avrebbe portato a contrarsi. Alcuni anni dopo, grazie alle osservazioni di Edwin Hubble ci si accorse che

l'universo non era statico ma era in espansione, la costante cosmologica quindi non era solamente una pezza messa da Einstein per riportare l'universo ad una visione più confortante ma era qualche cosa di reale. «La costante cosmologica poneva un problema a tutta la fisica, ma la situazione appariva lievemente migliore per la teoria delle stringhe [...] Una delle poche cose che potevamo concludere dalle teorie delle stringhe allora conosciute era che la costante cosmologica poteva essere soltanto zero oppure un numero negativo» (Smolin 2006, p.155). Nel 1998 ci si è resi conto che l'universo non solo si espandeva ma stava accelerando. La costante cosmologica avrebbe dunque dovuto essere di segno positivo, e avrebbe potuto essere un energia uniformemente diffusa nel vuoto – proprio quello che si ritiene sia l'energia oscura. La teoria delle superstringhe non l'aveva prevista, anzi, aveva espresso un universo che è stato contraddetto dall'osservazione dell'accelerazione dell'espansione che indica chiaramente che la costante non è zero o negativa. I teorici delle stringhe hanno però lavorato ad una possibile soluzione del problema e la hanno trovata, anche se suscita diverse perplessità. Ottenere delle teorie delle stringhe che prevedano una costante cosmologica piccola e positiva è possibile ma il prezzo da pagare è alto – talmente alto che Smolin lo definisce un'assurdità, «il numero delle teorie (che forniscono un valore positivo [n.d.r.]) è un numero finito; al momento, in base alle prove che abbiamo, dovrebbe essere all'incirca 10^{500}» (Smolin 2006, p.159).

> Se un tentativo di costruire un'unica teoria della natura porta invece a 10^{500} teorie, l'approccio è stato ridotto all'assurdo. (Smolin 2006, p.160)

La modifica apportata a tal caro prezzo alla teoria delle stringhe per evitare la falsificazione produce un risultato sconfortante e che difficilmente può essere considerato un aumento dei fatti nuovi conosciuti ma piuttosto un ulteriore aumento della vaghezza della teoria. La situazione richiama quella che Lakatos definisce regressività di un programma di ricerca. Il lavoro di Lakatos cercando una distinzione tra scientifico e pseudo scientifico individua due tipi di programma di ricerca, progressivi e regressivi. Il punto cardine della distinzione è la produzione di fatti nuovi. «All the research programmes I admire have one characteristic in common. They all predict novel facts, facts which had been either undreamt of, or have indeed been contradicted by previous or rival programmes» (Lakatos 1978, p.5).

> The hallmark of empirical progress is not trivial verifications [...] so-called "refutations" are not the hallmark of empirical failure, as Popper has preached, since all programmes grow in a permanent ocean of anomalies. What really count are dramatic, unexpected, stunning predictions: a few of them are enough to tilt the balance; where theory lags behind the facts, we are dealing with miserable degenerating research programmes. (Lakatos 1978, p.6)

Lakatos parte dall'analisi della falsificazione popperiana che ritiene non adeguatamente in grado di stabilire se e quando una teoria vada eliminata. La posizione di Popper, sostiene Lakatos, non tiene conto che gli scienziati, nel valutare teorie e anomalie, non sempre si comportano in accordo con i dettami della falsificazione: «nature may shout NO, but human ingenuity [...] may always be able to shout louder» (Lakatos 1978, p.149).

> Scientists have thick skins. They do not abandon a theory merely because facts contradict it. They normally either invent some rescue hypothesis to explain what they then call a mere anomaly or, if they cannot explain the anomaly, they ignore it, and direct their attention to other problems. (Lakatos 1978, p.4)

Una teoria viene refutata, secondo Lakatos, ad un'unica condizione, «only if there is a better one to replace it» (Lakatos 1978, p. 150). Lakatos propone come soluzione l'idea dei programmi di ricerca, «the typical descriptive unit of great scientific achievements is not an isolated hypothesis but rather a research programme» (Lakatos 1978, p.4). Non singole teorie solitarie ma sistemi di teorie costituiscono un programma di ricerca il cui nucleo, chiamato euristica negativa, è il punto fermo del programma che deve essere preservato dalla confutazione, ovvero l'idea attorno alla quale si costruisce una cintura protettiva di ipotesi che si modifica nel tempo per risolvere le anomalie. Nessun programma è mai perfetto e privo di problemi o anomalie, «all theories, in this sense, are born refuted and die refuted» (Lakatos 1978, p.5). Un programma di ricerca è regressivo quando le modifiche alla sua cintura di ipotesi sono solamente ad hoc, fatte per rispondere alle anomalie in modo difensivo ma senza produrre nulla di nuovo. Riferendosi al marxismo e alle sue previsioni sbagliate dice:

> Marxist explained all their failures: they explained the rising living standards of the working class by devising a theory of imperialism; they even explained why the first socialist revolution occurred in industrially backward Russia [...] But their auxiliary hypotheses were all cooked up after the event to protect Marxian theory from the facts. The Newtonian programme led to novel facts; the Marxian lagged behind the facts and has been running fast to catch up with them». (Lakatos 1978, p.6)

Le rivoluzioni scientifiche sono, per Lakatos, l'adesione della comunità scientifica al programma di ricerca progressivo e di conseguenza l'abbandono di quelli regressivi. Non sono accadimenti immediati, «as opposed to Popper the methodology of scientific research programmes does not offer instant rationality» (Lakatos 1978, p.6). Un programma regressivo non è condannato per sempre, ci può volere del tempo perché diventi progressivo e non è quindi sbagliato continuare a lavorarci: «criticism is not a Popperian quick kill, by refutation. Important criticism is always constructive: there is no refutation without a better theory» (Lakatos 1978, p.6).

La teoria delle stringhe, in quest'ottica, assomiglia alla descrizione data di programma regressivo. I mutamenti della cintura di ipotesi che si sono susseguiti comprendono, per esempio, la tipologia di spazi di Calabi-Yau con cui descrivere le dimensioni compattificate e che ci fanno arrivare, secondo Smolin, ad una situazione assurda (Smolin 2006, p.160); oppure il suo elemento fondamentale, la stringa, diventata brana ma senza aver prodotto una vera e propria teoria (la M teoria), ma piuttosto «una collezione di fatti e argomenti che suggeriscono l'esistenza di una teoria» (Woit 2006, p.178). Allo stato attuale, la modifica relativa agli spazi di Calabi-Yau ha avuto solo l'effetto di evitare il fallimento di una previsione della teoria delle superstringhe sul valore della costante universale e l'introduzione delle brane è servita a limitare la proliferazione di teorie delle superstringhe. Le modifiche sono lecite ma sembrano ricalcare perfettamente il modello di Lakatos di programma regressivo: «where theory lags behind the facts, we are dealing with miserable degenerating research programmes» (Lakatos 1978, p.6).

Questa tuttavia non è un'analisi sufficiente per scartare la teoria delle stringhe. Lakatos si presenta come un "falsificazionista metodologico sofisticato": «*The methodological falsificationist separates ejection and disproof*, which the dogmatic falsificationist had conflated» (Lakatos 1978, p.25). Una teoria falsificata nell'ambito del fallibilismo metodologico non è ancora considerata refutata. Essa può ancora

essere vera. L'essere "sofisticato" implica che: «a theory is "acceptable" or "scientific" only if it has corroborated excess empirical content over its predecessor (or rival), that is, only if leads to discovery of novel facts» (Lakatos 1978, p.31). Una teoria può essere eliminata solo se una nuova teoria riesce a spiegare il successo della prima e a portare un maggiore contenuto empirico di cui almeno una parte sia corroborato. La teoria delle stringhe potrà quindi anche essere regressiva e dedicarle tempo ed energie non sarà secondo Lakatos una scelta convincente, ma non è stata ancora eliminata, o soppiantata da una teoria migliore.

> One of the punchlines of Lakatos' methodology of scientific research programmes is that we should treat buddin programmes leniently, and string theory therefore deserves to be pursued in the hope that one day it will become progressive. In practice, however, the questions of how much to invest in this effort and what should be sacrificed for that investment still remain. (Cartwright e Frigg 2007, p.15)

La peculiarità della situazione è dovuta all'unione di due fattori: primo, non c'è un tempo massimo per potersi occupare di stringhe e secondo, il tempo a loro dedicato, se si accetta la critica dei detrattori della teoria, si riflette in maniera dannosa sullo sviluppo di teorie alternative che potrebbero fornire un buon motivo per spostare la polarizzazione della ricerca[4]. Cosa accade quando la mancanza di adeguate alternative è frutto della carenza di ricerca e non dell'incapacità nel produrre maggiore contenuto empirico delle teorie concorrenti? Se l'unica cosa che spinge ad abbandonare un programma regressivo è il maggiore interesse che un programma progressivo suscita negli scienziati, quanto è grave se un programma regressivo sabota le alternative ed è dotato di grande forza attrattiva? Probabilmente la teoria delle stringhe ha semplicemente portato alla luce una situazione che è sempre stata presente. Ogni minuto che uno scienziato dedica ad occuparsi di un programma regressivo è un possibile danno fatto alle sue alternative, è un minuto in meno dedicato ad un programma progressivo. La teoria delle superstringhe ha solo esasperato questo elemento che risulta ancora più vivido perché sta avvenendo in questo

[4] La teoria delle stringhe infatti, come vedremo più dettagliatamente nel capitolo "The only game in town", è accusata di essere diventata monopolista e aver accentrato su di se cattedre e finanziamenti diventando l'unica strada per fare carriera nel settore.

momento, dandoci la possibilità di ascoltare il disappunto e la frustrazione di chi non trova i mezzi e le opportunità per perseguire altre strade.

Valore epistemico e altri valori

Se i detrattori della teoria delle stringhe ne sottolineano aspetti come la vaghezza, il suo non essere nemmeno una vera e propria teoria, l'enorme numero di possibili risultati che genera e l'assenza di previsioni verificabili, i sostenitori individuano alcuni suoi successi come indicatori della sua bontà e della sua corroborazione. Diversi elementi sono considerati importanti motivi per dare credito alla teoria delle stringhe, motivo anche dell'interesse che ha spinto alcuni a continuare a lavorarci anche nei momenti più difficili, è la sua eleganza. Oltre a questo la teoria può vantare la creazione di idee e strumenti nuovi per lavorare su complesse strutture matematiche e geometriche e la capacità di mettere in correlazione problemi e teorie che precedentemente non costituivano un quadro coerente. Infine, la teoria delle stringhe, avrebbe previsto la gravità. Richard Dawid sostiene che «it is widely held that a truly convincing confirmation of a scientific theory must be based on those of the theory's achievements which had not been foreseen at the time of its construction» (Dawid 2013, p.33). Alcuni dei risultati che ci vengono elencati sono:

> string physics provides a structural understanding of black hole entropy. (Dawid 2013, p.34)

e inoltre:

> String theory also puts into a coherent perspective the concept of super-symmetry. (Dawid 2013, p.34)

Ma più sensazionale è la previsione che ha fatto o meglio, per usare le parole di Witten, una "postdizione" (Greene 1999, p.185). «La teoria delle stringhe ha il notevole potere di *prevedere l'esistenza della gravità*» (Greene 1999, p.185). Non è così sorprendente solo perché, casualmente, la gravità era già stata notata e descritta, ma fino ad ora nessuna teoria aveva mai implicato la sua esistenza come fa la teoria delle stringhe. Stiamo parlando delle particelle prive di massa ma interagenti che la teoria

prevede. Queste particelle avrebbero anche spin 2, esattamente quello che ci si aspetta dai gravitoni.

> String theory does not provide a promising framework for quantum gravity but actually implies the existence of gravity. The gravitational field necessarily emerges as an oscillation mode of the string. (Dawid 2013, p.33)

Questo tipo di risultati sono da considerarsi, secondo Dawid e secondo i sostenitori della teoria delle superstringhe, un valido argomento a suo favore.

> Such surprising interconnections are taken to play similar role for theory corroboration at a theoretical level as the successful prediction of phenomena a theory was not devised to describe plays at an empirical level. (Dawid 2009, p.990-91)

Riguardo le scoperte matematiche e geometriche e gli strumenti che si sono resi disponibili grazie allo studio delle superstringhe Ritson e Camilleri ci riportano il parere degli stringhisti: «many mathematical tools developed by string theorists have been applied in many other branches of physics and mathematics. To extent, string theory has already proved its worth as a science» (Ritson e Camilleri 2015, p.207).

Anche riguardo questi risultati vengono però sollevate delle obiezioni. Smolin sottolinea che «one must "separate the question of whether string theory is a convincing candidate for a physical theory from the question of whether or not research into the theory has led to useful insights for mathematics and other problems in physics"» (Smolin in Ritson e Camilleri 2015, p.208). Per quanto riguarda invece la capacità della teoria di connettere altre parti della fisica e metterle in un quadro coerente Baggott sottolinea la differenza che c'è tra quella che è la verità per corrispondenza e quella di coerenza, «a scientific statement is held to be true if, and only if, it corresponds to facts that we can establish about empirical reality» (Baggott 2014, p.259). La preoccupazione di Baggott è che abbandonando il terreno solido delle prove empiriche si proceda senza una guida, oltre la "versione autorizzata" della scienza non abbiamo strumenti, «we are virtually clueless [...] without data to guide us, we have no choice but to be idea-led» (Baggott 2014, p.151). Se non ci sono altri strumenti per indagare temi come le grandi unificazioni e le teorie del tutto, Baggott conclude che «perhaps it is inevitable that we cross a threshold» (Baggott 2014,

p.151). Ma non è convinto di questa ineluttabilità, il problema, secondo Baggott, una volta comparso è piuttosto evidente, ovvero è contraddittorio cercare risposte al di fuori di quella che è la scienza:

> In fairy-tale physics there are no answers, there are only untested and untestable speculations. (Baggott 2014, p.292)

La verità di una teoria scientifica che non può essere confrontata con i fatti della nostra realtà empirica è vera solamente in un altro senso: «there is another kind of truth. We can establish the internal logical consistency of a collection of sentences or propositions - or mathematical structures - independently of the facts. In this coherence theory of truth, we seek to establish right or wrong in relation to the theoretical system itself» (Baggott 2014, p.260). Ma questo tipo di verità è, da un lato ottimo se accompagna la corrispondenza con i fatti, ma dall'altro insufficiente per poter dire che qualche cosa è scientificamente vero. Non significa che la "*coherence truth*" sia priva di valore, e può condurre ad idee interessanti, ma va trattata, dice Baggott, con un certo «scientific scepticism [...] let's stay focused on the nature of the "truth" that is being communicated» (Baggott 2014, P.260).

Infine, uno degli argomenti più peculiari che si incontrano a favore della teoria delle stringhe è quello che si riferisce alla sua eleganza o alla sua bellezza. Il libro di Brian Greene che spiega la teoria, per esempio, si intitola "L'universo elegante". L'eleganza come criterio non è certamente utilizzata come prova cruciale della correttezza di una teoria ma viene spesso utilizzato a sostegno del suo essere promettente. L'idea non è nuova. L'eleganza e la bellezza sono elementi che hanno avuto un ruolo nel corso della storia della fisica. Nel paragrafo dedicato alle unificazioni se ne è fatto un accenno: la direzione che la fisica segue, quella della unificazione di quanti più fenomeni possibili, è un indizio di ricerca di semplicità, armonia, eleganza. L'eleganza è un fattore che ha caratterizzato l'approccio scientifico alla complessità del mondo. La possibilità di esprimere complessità e multiformità con il linguaggio della matematica e poterle ridurre a semplici equazioni è un elemento che ha sempre colpito gli scienziati. Newton per esempio ha spiegato moltissimo con la sua meccanica, traducendo in linguaggio matematico la complessità della natura. Dopo di lui si è andati ancora oltre:

> La meccanica quantistica spiega uno spettro più ampio di fenomeni fino al livello atomico, e lo fa ancora utilizzando sostanzialmente una singola semplice equazione (l'equazione di Schrödinger). La teoria della relatività riesce a descrivere accuratamente gli effetti della forza gravitazionale su scale di distanza che vanno da quelle cosmologiche fino alle più piccole [...] e lo fa usando la sofisticata matematica della geometria moderna, e in questo linguaggio la teoria può essere riassunta in un'equazione davvero semplice. La fisica moderna ha rimpiazzato la fisica newtoniana con un intero nuovo insieme di concetti fondamentali; ma questi, espressi nel linguaggio della matematica moderna, prevedono ipotesi molto semplici e spiegano una gamma incredibilmente ricca di fenomeni. (Woit 2006, p.198)

Lo stesso Schwarz spiega nello stesso modo perché si era concentrato sulla teoria quando sembrava senza speranza: «La struttura matematica della teoria era così elegante e aveva così tante proprietà miracolose, che doveva per forza indicare qualche cosa di molto profondo» (Greene 1999, p.119). Anche Dirac, la cui equazione, secondo Woit è rappresentativa di quel senso di bellezza che appartiene alla fisica (Woit 2006, p.201), si esprime sull'argomento dell'eleganza:

> Se si lavora perseguendo l'obiettivo di ottenere la bellezza in un'equazione, e se si hanno davvero equazioni musicali, allora ci si trova sicuramente su una strada che porta a qualche progresso. (Woit 2006, p.199)

In un differente contesto invece ha dichiarato:

> I might have thought that the new ideas were correct if they had not been so ugly. (Baggott 2014, p.63)

La bellezza e l'eleganza sono quindi la capacità di tradurre in una semplice equazione grandiosi e complessi scenari, come pure la possibilità di ottenere uno strumento maneggevole e semplice che permetta di descrivere la natura. Parlando della teoria delle stringhe alcune domande non possono non sorgere spontanee: che fine hanno fatto le equazioni così difficili che si deve approssimarne anche la scrittura? Oppure i 10^{500} possibili spazi di Calabi-Yau che potrebbero originare il nostro universo? La stessa M-Theory che ci viene presentata come "la speranza che una teoria esista" come può avere questi canoni di eleganza e bellezza? Eppure «uno degli argomenti

più spesso ripetuti a favore della teoria delle superstringhe afferma che questa sarebbe una teoria così bella che deve contenere per forza qualche cosa di vero» (Woit 2006, p.200). Woit si dice scettico a questo proposito, la teorie delle superstringhe è bella ed elegante perché riconduce l'universo ad un unico elemento, la stringa, e alla sua vibrazione, un'idea effettivamente semplice e stimolante ma a detta di Woit «questo tipo di bellezza è davvero molto superficiale» (Woit 2006, p.200). Schwarz stesso, quando gli viene chiesto di specificare cosa intende dire quando parla di bellezza della teoria delle stringhe, precisa che non si riferisce a quella bellezza che vediamo in Einstein, Newton, Schrödinger o Dirac:

> Ciò che, a mio modo di vedere, conquista coloro che lavorano in questo campo è lo scoprire che si stanno occupando di un sistema matematico molto rigoroso che incorpora cose che nessuno ha ancora capito. Si eseguono alcuni calcoli complicati, e si scopre che la risposta è sorprendentemente semplice, molto più semplice di quanto ci si sarebbe aspettati… E questo tipo di cose accade se si verificano in un certo senso dei miracoli matematici. Chiaramente non sono miracoli, ma questo significa semplicemente che c'è qualche importante concetto che non è ancora stato afferrato. Quando si sperimenta di persona questo fatto un certo numero di volte si viene realmente sedotti dal soggetto. (Woit 2006, p.201)

Woit riassume quanto detto da Schwarz in questi termini: «la sua è la bellezza del mistero e della magia, due dei significati suggeriti da Witten per la M di teoria-M. Questo tipo di bellezza chiaramente sparisce senza lasciare alcuna traccia non appena si scopre il trucco del prestigiatore dietro la magia, o la storia dietro il mistero» (Woit 2006, p. 201). La teoria iniziale era la teoria elegante, quella in cui Schwarz e Green avevano cancellato l'anomalia, quella in cui la soluzione per spiegare le dimensioni extra erano gli spazi di Calabi-Yau, non pochi ma nemmeno un numero così enorme come quelli che si conoscono oggi, la teoria che ancora non aveva introdotto le brane, ma, secondo Woit. «più di vent'anni di ricerca hanno mostrato che si trattava di un'illusione» (Woit 2006, p.202). Ancora più duramente si esprimeva negli anni ottanta Sheldon Glashow:

> In luogo del tradizionale confronto tra teoria ed esperimento, gli adepti della teoria delle superstringhe inseguono l'armonia interiore, un luogo dove la verità è definita dall'eleganza, dall'unicità e dalla bellezza. L'esistenza della teoria dipende da

> coincidenze magiche, cancellazioni miracolose e relazioni tra aree della matematica apparentemente non correlate (e forse non ancora inventate). Sono queste proprietà il motivo per accettare la realtà delle superstringhe? Forse la matematica e l'estetica hanno soppiantato e trasceso il mero esperimento? (Greene 1999, p.187)

The only game in town

> Se anche voi pensate che le leggi della natura non dovrebbero essere scisse in leggi per le grandi dimensioni e altre leggi per le piccole, e se pensate che non dovremmo darci pace fino a che non troveremo una teoria applicabile a ogni scala, sappiate che attualmente non avete alternative alle stringhe. (Greene 1999, p.186)

Un ulteriore argomento che i sostenitori delle stringhe portano nel dibattito è che non ci sono alternative. Non importa quanto la teoria delle superstringhe sia complessa, indefinita o incapace di predizioni, al momento è tutto quello che abbiamo, se vogliamo studiare le fondamenta dell'universo c'è solo una via: le superstringhe. La teoria delle superstringhe sarebbe un caso particolare, non può essere trattata come una qualunque altra teoria scientifica, si cimenta in un'impresa difficile, in un campo in cui i non stringhisti non hanno prodotto risultati che possano competere, citando Sheldon Glashow:

> Noi non-stringhisti non abbiamo fatto alcun progresso negli ultimi dieci anni. Quindi l'idea che la teoria delle stringhe sia l'unica via d'uscita è assai allettante. Ci sono problemi che le convenzionali teorie quantistiche di campo non possono risolvere, questo è chiaro. Potrebbero essere risolti da qualcos'altro, e l'unico «qualcos'altro» che io conosco è la teoria delle stringhe. (Greene 1999, p.188)

I non stringhisti però sollevano qualche perplessità a questo proposito. Woit si domanda come mai ancora oggi, dopo vent'anni, la teoria delle superstringhe sia ancora l'unica alternativa possibile (Woit 2006, p.228). Era comprensibile all'inizio, quando ancora era una promettente teoria, ma dopo tutto questo tempo? La risposta punta il dito non sui meriti delle stringhe ne sui demeriti delle possibili alternative ma, piuttosto, sul modo in cui il peso accademico degli stringhisti è capace di monopolizzare spazi e risorse. Si tratta dell'unica alternativa sulla piazza insomma,

perché «se un giovane fisico teorico sceglie di non occuparsene, dal punto di vista della carriera è come se si suicidasse» (Smolin 2006, p.XXI). Tra i detrattori della teoria delle superstringhe è frequente imbattersi in ampi passaggi relativi a quello che è l'atteggiamento degli stringhisti e la situazione accademica in cui sono inseriti. Qualcuno ha anche personali avvenimenti da raccontare, come nel caso di Woit che espone la storia editoriale del suo libro e quella del blog attraverso cui parla di fisica e critica la teoria delle stringhe. Gli stringhisti sono descritti spesso come settari e arroganti: Sheldon Galshow li chiama "adepti" (Greene 1999, p.187), Woit fa riferimento alla "mafia" della teoria delle stringhe (Woit 2006, p.229) e ne definisce l'impostazione "cult-like" (Woit in Ritson e Camilleri 2015, p.215) , il rispetto per la figura di Witten è definito da Sophie Ritson "hero-worship" (Ritson e Camilleri 2015, p.215), Smolin li accusa di arroganza (Smolin 2006, p. 268) e di avere un "approccio monolitico" (Smolin 2006, p. 271) che li porta a seguire in modo pedissequo le posizioni dettate dai vecchi dell'ambiente. Aggiunge Smolin:

> Un'altra peculiarità della teoria delle stringhe è che, a differenza di altri settori della fisica, vi è una netta distinzione tra gli stringhisti e i non stringhisti. (Smolin 2006, p.27)

e ancora:

> Esiste un caratteristico irrigidimento dei muscoli del viso che ho visto troppe volte per poterlo ignorare e che tipicamente avviene quando un giovane stringhista d'un tratto si rende conto che il suo interlocutore non condivide tutti i presupposti del clan. (Smolin 2006, p.270)

La teoria delle stringhe è un dogma?

La teoria delle stringhe è presentata come il filo che unisce scienziati di tutto il mondo e li unisce al punto da farne una sorta di clan, un gruppo che in modo coeso difende il suo lavoro e sostiene i suoi risultati. Un clan dall'atteggiamento arrogante, secondo l'opinione di molti, ma unità e comunione di intenti di per sé non sono necessariamente un male. Può però sorgere qualche problema se, come viene spesso detto da chi è critico verso questa situazione, il clan delle stringhe è anche monopolista ed è quindi in grado di assegnare posti di prestigio e fondi. Sia Smolin sia

Woit raccontano diverse vicende in cui si sono scontrati con questo compatto gruppo di stringhisti all'interno delle istituzioni accademiche. Smolin sostiene infatti che «quel che è fallito non è tanto una teoria particolare quanto un particolare stile di ricerca» (Smolin 2006, p.262). L'atteggiamento arrogante e aggressivo che Smolin imputa agli stringhisti produce effetti sgradevoli quando si parla di soldi e cattedre:

> Fatta eccezione per un solo gruppo di ricerca alla Pennsylvania State University, è all'incirca dal 1990 che le università di ricerca degli Stati Uniti non assumono professori assistenti che si dedichino a un approccio alla gravità quantistica non basato sulla teoria delle stringhe o sulle dimensioni extra. (Smolin 2006, p.263)

L'università, dice Smolin, è cambiata, una volta c'era posto per tutti, oggi non è più così, la concorrenza è aumentata, chi assume lo fa in base alle sue inclinazioni, alla sua carriera di studi e alle discipline più inclini a ricevere finanziamenti (Smolin 2006, p.264). Come abbiamo letto precedentemente, il boom della prima rivoluzione delle superstringhe ha spinto migliaia di scienziati a dedicarvisi e oggi quegli stessi scienziati sono le persone che decidono chi assumere e chi no nel mondo della ricerca. «Il settore continua ad essere guidato dalle idee e dai piani di ricerca di alcune persone che oggi sono piuttosto in là negli anni. Nell'ultimo decennio solo due giovani stringhisti, Juan Maldacena e Raphael Bousso, hanno compiuto scoperte che hanno modificato la direzione del settore» (Smolin 2006, p.271). Questo causa, secondo Smolin, un approccio monolitico, c'è chi detta la via e chi si adatta nella speranza di rimanere a galla nel mondo della ricerca e il risultato è che «ogni anno, le indagini si concentrano su non più di due o tre settori della teoria delle stringhe, diversi di volta in volta» (Smolin 2006, p.271). Smolin definisce inefficace questo approccio (Smolin 2006, p.271) che premia chi si adegua e punisce chi cerca vie autonome, chi si distacca dalla linea di ricerca indicata, finendo così per lasciare inesplorate molte idee.

Peter Woit raccontando della sua personale esperienza indica gli stringhisti come un gruppo di stampo mafioso (Woit 2006, p.229) e aggiunge che, nell'ambiente, si temono ritorsioni se si dovessero esprimere pareri critici verso la teoria. Dopo aver pubblicato un articolo molto critico verso la teoria Woit stesso ricevette numerosi messaggi:

> Questi messaggi sottolineavano il mio coraggio ed esprimevano la speranza che io potessi sopravvivere al feroce attacco personale che si aspettavano sarebbe arrivato da parte dei teorici delle superstringhe. Io non sapevo che tante persone nella comunità fisica fossero non soltanto scettiche nei confronti della teoria delle superstringhe, ma che ritenessero che l'argomento stesse perpetuandosi grazie a una qualche forma di intimidazione. (Woit 2006, p.229)

L'articolo però non suscita grandi reazioni avverse ma viene perlopiù ignorato, sostiene Woit: «secondo il principio per cui non stavo dicendo nulla che non fosse ben noto a coloro che lavorano in quel campo» (Woit 2006, p.229). Un discorso diverso è quello relativo alla pubblicazione del suo libro, respinto per due volte dalla Cambridge University Press in seguito a resoconti di revisori estremamente ostili e, a detta di Woit, piuttosto imprecisi (Woit 2006, p.231). In seguito a tentativi con altre case editrici universitarie, Woit riporta la risposta che ricevette: «due redattori mi dissero esplicitamente che, sebbene ciò che avevo scritto fosse molto interessante, sarebbe stato semplicemente troppo controverso per essere pubblicato da una casa editrice universitaria» (Woit 2006, p.232). I motivi di questa chiusura corporativa riguardano tre aspetti fondamentali. Il primo è la preponderanza di posti assegnati a stringhisti che nella situazione attuale della ricerca vincolano molto le possibilità di scelta per i nuovi ricercatori. Il secondo è l'approccio monolitico descritto da Smolin che spinge all'interno della comunità scientifica ad occuparsi dei medesimi argomenti fino a che le figure guida della teoria le ritengono interessanti. In ultimo c'è un altro elemento che viene presentato come causa della mancanza di alternative alla teoria: non solo per avere una possibilità di successo accademico è necessario passare dall'ingresso che offrono le stringhe, ma è, in seguito, molto difficile poi distaccarsene. Woit attribuisce questo problema all'enorme complessità della teoria:

> La cosa triste è che, come molti giovani futuri teorici mi hanno spiegato, si tratta di un soggetto così tanto sviluppato che solo tenere il suo passo è un lavoro a tempo pieno. Questo significa che le altre strade non vengono nemmeno esplorate da giovani brillanti e pieni di immaginazione, e che i percorsi di carriera alternativa sono bloccati. (Woit 2006, p.205)

Non solo il lavoro è enorme quando ci si occupa della teoria «ma significa anche che è richiesto un enorme investimento in termini di tempo e sforzi per padroneggiare la materia sufficientemente bene prima di poter poi cominciare tale ricerca» (Woit 2006, p.204). Inoltre non ci sono alternative facili da seguire. Avvicinasi ad altri approcci significa fare i conti con tempi molto lunghi e matematica molto difficile (Woit 2006, p.205-206).

L'atteggiamento corporativo e arrogante degli stringhisti è indicato anche come uno degli strumenti con cui questi rispondono alle critiche che vengono loro mosse. Principalmente si fa riferimento al fatto gli stringhisti sostengono che le critiche devono venire dall'ambiente stesso della teoria, dal gruppo degli "esperti di stringhe".

> They often consider the disregard for such reasons shown by many non-string physicists a blatant violation of the scientific expert principle: given a well established scientific field, one would expect that non-experts base their opinion about the status of theories in that field largely on the assessments of those who know the theories best. In the case of string physics, quite to the contrary, most critics from other fields follow their own general scientific intuition, bolstered by the statements of a couple of prominent opponents of string theory who have expertise in the field but have never been very influential there. Exponents of string theory tend to locate the reasons for this unusual phenomenon in a lack of openness and flexibility with respect to the acceptance of new physical ideas on the side of the string critics. (Dawid 2009, p.990)

Solo chi lavora alla teoria delle stringhe può parlarne in modo serio e di conseguenza solo chi lavora alla teoria delle stringhe può muovere critiche sensate. Siccome la teoria è effettivamente difficoltosa, «gli ostacoli alla comprensione [...] rendono difficile per chiunque non faccia parte del "giro" valutare quali risultati siano davvero stati raggiunti. Ammesso che ve ne siano» (Woit 2006 p.206). Aggiunge non senza una certa stizza Woit:

> Essi spesso sembrano avere l'opinione secondo cui soltanto i veri geni sono in grado di lavorare alla teoria, e chiunque altro critichi questo lavoro è semplicemente troppo stupido e ignorante per comprenderlo. (Woit 2006, p.206)

Le stesse critiche mosse da Woit sono state «dismissed by some physicists because his primary medium is a blog, and that makes them science journalism rather than

science proper» (Ritson e Camilleri 2015, p.221). La difesa adottata è il mancato riconoscimento delle competenze e delle capacità del critico, privandolo della sua autorità si cerca di rendere meno efficaci i suoi argomenti.

Probabilmente uno dei pochi a non curarsi della scientificità del procedere della teoria delle superstringhe ma che avrebbe additato come problema l'atteggiamento dei suoi adepti e il ruolo di primo piano che aveva guadagnato nelle accademie, sarebbe stato Feyerabend. Molto più critico rispetto ai suoi colleghi riguardo il tentativo di identificare una metodologia sempre valida per la scienza, nota come nella storia del progresso scientifico non ci sia mai una risposta sempre uguale o un metodo sempre valido. Per quanto ci si possa sforzare lo scontro tra pareri, opinioni, interessi e prospettive diverse non è risolvibile in modo univoco. La risposta giusta di oggi potrebbe essere sbagliata domani e la scelta irrazionale e controintuitiva potrebbe essere la migliore per ottenere risultati. Nella visione di Feyerabend il tentativo di individuare un metodo sempre valido per la scienza è motivato dalla necessità di legittimarla come migliore tra le tradizioni umane. L'efficacia della scienza non è messa in discussione ma lo è la possibilità di individuare nel suo procedere quella perfezione e oggettività che ne farebbero uno standard universale di valutazione. Secondo Feyerabend, osservando la storia della scienza si noterà come nessuna rivoluzione scientifica sia mai perfettamente razionale o segua delle regole sempre uguali. Il progresso è costruito da un'amalgama di interessi personali, politica, intuizioni, efficacia e altri fattori impossibili da ridurre ad una metodologia – che pure, se esistesse e ci fosse l'obbligo di aderirvi, finirebbe invece per limitare quella che è l'impresa scientifica. Tutto ciò che abbiamo sono ricorrenze, buone pratiche ed esperienze passate che possono essere per noi una guida ma non una metodologia rigida e sicura. Niente si salva, le teorie ben corroborate non hanno nulla da invidiare a quelle nuove e ancora acerbe, anzi, aspettarsi che una nuova teoria sia concorde con quanto già spiegato è un'idea che «preserva la teoria anteriore e non la teoria migliore» (Feyerabend 1975, p.30). Il falsificazionismo viene scartato sostenendo che «nessuna singola teoria è sempre in accordo con tutti i fatti noti nel suo campo» (Feyerabend 1975, p.46). Adoperare il falsificazionismo significherebbe restare senza alcuna scienza. I dati stessi non sono affidabili, una teoria «può essere in contrasto con l'esperienza non perché sia scorretta, ma perché i dati sperimentali possono essere contaminati» (Feyerabend 1975, p.56). La soluzione sarebbe procedere in modo controintuitivo, proponendo nuove teorie che siano in disaccordo con le vecchie

teorie, con l'esperienza e con i fatti, così da aiutarci a far emergere fatti nuovi, interpretazioni inaspettate e soprattutto il sottobosco di assunzioni e opinioni e principi che contamina le nostre osservazioni.

> I fatti contengono componenti ideologiche, opinioni più antiche di cui si è perduta coscienza o che non furono forse mai formulate in modo esplicito. Tali componenti sono molto sospette [...] non sappiamo perché e come siano state introdotte per la prima volta [...] perché la loro stessa natura le protegge, e le ha sempre protette, da un esame critico. (Feyerabend 1975, p.65)

Feyerabend si scaglia contro i tentativi di rispondere alle domande sul funzionamento della scienza ritenendoli insoddisfacenti e, peggio ancora, pericolosi, in quanto limitanti. La scienza, per Feyerabend, è un'attività umana e ha le caratteristiche di tutte le attività umane. Nella sua analisi del lavoro di Galileo sottolineerà come in realtà si trattò di un'ottima azione di propaganda e non di reali argomentazioni (Feyerabend 1975, p.70-71). Il procedere di Galileo non era specificamente razionale, ma piuttosto comunicativamente efficace. Se avesse dovuto restare fedele ai principi della razionalità non avrebbe potuto percorrere quella che si sarebbe poi rivelata una via estremamente promettente. Il principio con cui Feyerabend apre "Contro il metodo" non lascia spazio a molti dubbi:

> l'idea di un metodo fisso, o di una teoria fissa della razionalità, poggia su una visione troppo ingenua dell'uomo e del suo ambiente sociale. Per coloro che non vogliono ignorare il ricco materiale fornito dalla storia, e che non si propongono di impoverirlo per compiacere ai loro istinti più bassi, alla loro brama di sicurezza intellettuale nella forma della chiarezza, della precisione, dell' "obiettività", della "verità", diventerà chiaro che c'è un solo principio che possa essere difeso in *tutte* le circostanze e in *tutte* le fasi dello sviluppo umano. È il principio: qualsiasi cosa può andar bene. (Feyerabend 1975, p.25)

Questo particolare tipo di approccio lo spinge ad occuparsi con attenzione della componente umana che si approccia alla scienza, tenendo alta l'attenzione contro quelle che possono sembrare azioni volte a vincolare le possibilità altrui e a creare superiorità artificiale per qualche principio o paradigma.

Il modo in cui la teoria delle superstringhe si articola, o la scelta degli scienziati di dedicare ad essa tempo e attenzione non sono nei termini di Feyerabend aspetti problematici. Non ci sono regole fisse e universalmente riconsciute da poter usare: purché la scienza funzioni *anything goes*. Ma visto il suo approccio teso a parificare le prospettive, le diverse tradizioni e scuole di pensiero, e preoccupato dall'imporsi di una sola tradizione su tutte le altre – atteggiamento da lui valutato limitante e soffocante – Feyerabend avrebbe probabilmente guardato con sospetto il monopolio stringhista. Nell'introduzione di "Addio alla Ragione", Feyerabend presenta l'opera con queste parole:

> I saggi raccolti in questo volume trattano della diversità e del mutamento culturale. Cercano di mostrare che la diversità è vantaggiosa mentre l'uniformità riduce le nostre gioie e le nostre risorse (intellettuali, emozionali e materiali). (Feyerabend 1987, p.7)

I problemi che vengono evidenziati dai critici si sposano con la preoccupazione di Feyerabend per l'irrigidimento del sistema, hanno a che fare con le risorse per la ricerca, la credibilità verso l'esterno e i risultati che una scienza non costretta a fornire previsioni può ottenere. Per come la vede Smolin, il blocco stringhista che influenza fondi e cattedre è quanto di più rischioso possa accadere nella ricerca, infatti sostiene che «per mantenere in salute la scienza, dovremmo assumere giovani scienziati solo sulla base delle loro capacità, della loro creatività e della loro indipendenza, senza considerare se contribuiscono alla teoria delle stringhe o a qualche altro programma di ricerca consolidato» (Smolin 2006, p.349). L'approccio chiuso e monolitico che viene imputato agli stringhisti, la refrattarietà alle critiche e la fede con cui chi aderisce alla teoria la persegue, sono indicatori di un cattivo stato del sistema accademico. L'appello ai criteri di sperimentabilità è fatto in questa luce: se una teoria non ha mai il dovere di presentare qualche predizione, o di rendersi soggetta agli esperimenti, si eliminano gli strumenti che dovrebbero servire ad allentare la presa dei programmi regressivi sulle risorse disponibili in favore delle novità e dei programmi progressivi. Il problema di fondo non è dunque la teoria di per sé. Fare ricerca in questi ambiti è lecito, investire soldi e risorse anche. Il problema è la mancanza di orizzonti alternativi, l'irrigidimento di un filone di ricerca che, nonostante anni passati a costruire ipotesi e giustificazioni, invece di allentare la presa preferisce allentare i criteri con cui viene valutato. È l'approccio fideistico che si impone a discapito dell'approccio scientifico,

«alcuni stringhisti preferiscono credere che la teoria delle stringhe sia troppo arcana per essere compresa dagli esseri umani piuttosto che considerare la possibilità che sia semplicemente sbagliata» (Smolin 2006, p.269). Per superare lo stato delle cose, Woit, ritiene che sia necessario sperare che nel mondo della fisica si faccia avanti qualche nuova e coraggiosa idea:

> Quali possibilità ci sono per l'affermarsi di nuove idee capaci di cambiare la situazione attuale? Una reazione comune che ho ricevuto da parte di molti fisici e matematici a questo tipo di domanda è l'espressione della speranza che da qualche parte, in qualche modo, qualche giovane fisico sia al lavoro a una nuova idea che cambierà tutto. Per comprendere quali siano le prospettive che questo accada, occorre prestare attenzione a quale sia il percorso standard per la carriera di un giovane fisico ambizioso e di talento. (Woit 2006, p.236)

La proposta di Smolin è in accordo con la visione di Woit, è una proposta di mutamento nella scienza, ma molto lontana da quella che chiede di poter fare a meno della testabilità di una teoria:

> Cambiare un poco le regole per riconoscere che esistono diversi tipi di scienziati, dotati di talenti diversi, dovrebbe essere quanto mai semplice. Volete una rivoluzione scientifica? Fate quello che fanno gli uomini d'affari quando vogliono una rivoluzione tecnologica: cambiate un poco le regole. Fate entrare qualche rivoluzionario. Appiattite un po' la gerarchia, per dare più spazio e libertà ai giovani. Create qualche opportunità per le persone del tipo alto rischio / alto ricavo, in modo da compensare l'enorme investimento che fate nella scienza incrementale, a basso rischio. [...] Il risultato finale potrebbe essere scoprire come funziona l'universo. (Smolin 2006, p.328)

Il problema della credibilità scientifica

Un altro problema di non minore entità è quello relativo alla credibilità: l'accusa che muove Baggott ai teorici delle stringhe è quella di presentare la loro fisica come fosse indubitabilmente vera. Non è un problema interno alla scienza ma esterno. «The continued publication of popular science books and the production of television documentaries that are perceived to portray superstring theory or M-theory as "accepted" explanations of emprical reality (legitimate parts of the authorized version

of reality) is misleading at best and at worst ethically questionable» (Baggott 2014, p.207).

> If scientists can set themselves up as the high priests of a new metaphysics, and continue to preach their gospel unchallenged through popular books and television, then the credibility of all scientists start inexorably to be eroded. Why should we take any of them seriously? (Baggott 2014, p.294)

Baggott inoltre puntualizza come oggi non sia nemmeno così semplice andare all'attacco di queste posizioni. Il periodo storico non è ottimale ed è difficile che una posizione critica sia presa solamente per quello che è: «it's hard to criticize fairy-tale physics without being perceived to be criticizing science as a whole. And at a time when science is on the defensive against a resurgent and increasingly voluble anti-scientific rhetoric, is really helpful to be throwing rocks at a few theorists?» (Baggott 2014, p.294). Infine la critica più dura è che «in pursuing the theory, the search for scientific truth has been abandoned, if not betrayed» (Baggott 2014, p.205).

> I believe that damage is being done to the integrity of the scientific enterprise. The damage isn't always clearly visible and is certainly not always obvious. Fairy-tale physics is like a slowly creeping yet inexorable dry root. If we don't look for it, we won't notice that the foundations are being undermined until the whole structure come down on our heads. (Baggott 2014, p.291)

Capitolo 3

Una teoria speciale

La teoria delle superstringhe per la natura stessa di ciò che vuole spiegare è una teoria radicale. Contemplare la struttura dell'universo è un compito arduo e aspettarsi che una teoria di tale ambizione si adegui a parametri osservativi stabiliti e seguiti da teorie precedenti e di diversa formulazione potrebbe essere considerata una mossa inadeguata. La mancanza di strumenti per osservare le previsioni della teoria delle stringhe o per risolverne le complicate equazioni è un argomento che si espone a una doppia interpretazione. Un'interpretazione dice che se la teoria fosse promettente avrebbe dovuto ispirare la ricerca con l'osservazione di qualche sua conseguenza, sollecitando intuizioni prima impensabili o la costruzione di strumentazioni rivoluzionarie. Una interpretazione opposta sostiene che può essere un rischio bocciare una teoria perché non siamo capaci di dare conto di ciò che dice, ovvero rinunciare ad un'ipotesi potenzialmente feconda a causa delle limitazioni tecniche. La questione si fa ancora più radicale laddove la teoria delle superstringhe propone elementi che, per quanto ci è possibile sapere oggi, non potranno mai essere osservati. La scienza è ricca di entità inosservabili, tutte le particelle subatomiche sono appartenenti a questa categoria, ma le stringhe sono differenti. L'inosservabilità degli elementi della teoria delle stringhe è più radicale di quella delle particelle che vengono individuate all'interno degli acceleratori (l'LHC del CERN per esempio). Normalmente le dimensioni troppo piccole per permetterci di vedere una particella non impediscono di evidenziarne la presenza attraverso metodi indiretti, per esempio ciò che si vede utilizzando un acceleratore è l'energia rilasciata nello scontro dei fasci di particelle. Come spiega Woit, è un principio simile a quello delle televisioni a tubo catodico:

> Nel tubo catodico un fascio di elettroni (*i raggi catodici*) viene accelerato da una differenza di potenziale elevata verso un bersaglio posto sul retro dello schermo [...] Quando il fascio raggiunge lo schermo, le collisioni degli elettroni con gli atomi di quest'ultimo producono reazioni che portano all'emissione di fotoni visibili, i quali vengono poi rivelati dagli occhi del telespettatore che sta di fronte allo schermo. (Woit 2006, p.11-12)

Le stringhe invece sono troppo piccole per poter essere individuate anche in modo indiretto, come già precedentemente evidenziato, per individuarle servirebbe un acceleratore di particelle grande come l'universo (Greene 1999, p.189). Le dimensioni extra sono descritte come piccolissime e ripiegate su sé stesse, così che qualunque cosa ci passi attraverso torni al punto di partenza, rendendole difficili da percepire. Inoltre, anche volendo osservare le dimensioni extra in modo indiretto attraverso le particelle che influenzano, si ripresenta il problema dell'osservazione delle stringhe. La supersimmetria, infine, postula l'esistenza dei superpartner delle particelle che conosciamo, ma nemmeno questi sono stati individuati. I superpartner si presume sfuggano alla ricerca perché dotati di caratteristiche diverse da quelle delle particelle note cui sono legati e dunque, dovendole individuare in modo indiretto, se non si conoscono almeno ipoteticamente le loro caratteristiche è molto difficile interpretare i risultati come prova della loro esistenza.

Cosa è giusto fare in un caso come questo? Escluderla significherebbe probabilmente smettere di indagare ogni possibile teoria del tutto che non fornisca risposte chiare in tempi ragionevoli, a dispetto di quanto complesso è il campo di indagine. Chi sostiene la causa delle superstringhe ritiene semplicemente che se vogliamo indagare l'universo fino alle sue più fondamentali componenti non possiamo stupirci di scoprire che sono estremamente complesse e che la nostra dotazione strumentale non è in grado di aiutarci. Allo stesso modo, il tempo trascorso dalla prima formulazione delle stringhe è considerevole, ma, davanti ad un'indagine di questo tipo, potrebbe apparire non più di una frazione minima di quanto richiesto. Riporre fiducia nel naturale corso degli eventi descritto da Kuhn e Lakatos, secondo cui se la teoria è valida otterrà infine la conversione degli scienziati, e se invece rimarrà stagnante verrà prima o poi, abbandonata, implica altri tipi di scelte. Implica rinunciare a tentare di coordinare l'ambito della ricerca al di fuori delle personali inclinazioni di chi ne è a capo, rinunciare a lavorare sulle difficoltà che si presentano nel campo della comunicazione e della conseguente credibilità scientifica e, infine, rinunciare a valutare le conseguenze di un allentamento dei criteri odierni di scientificità e gestirne le conseguenze. Considerare la teoria delle superstringhe una teoria scientifica "speciale", o sui generis, potrebbe rivelarsi un precedente pericoloso, oltre che controverso.

Cambiare la scienza e le sue “regole”?

Le critiche alla teoria delle stringhe ne mostrano numerose debolezze, inoltre viene imputato alla costituzione chiusa e settaria degli stringhisti il mancato sviluppo di alternative competitive. I teorici delle stringhe difendono caparbiamente il loro operato, la teoria è incerta, vaga, ma è ricca di possibilità. Se siamo sulla strada giusta, per quanto ancora arrancanti e lontani dal vedere soluzione ai problemi in sospeso, abbandonare tutto sarebbe un grave errore. I teorici delle stringhe ritengono che, semplicemente, stiamo di fronte ad uno scenario privo di precedenti e di termini di confronto, per cui usare gli strumenti che la scienza ha sempre applicato non è un modo corretto di procedere.

> I teorici delle stringhe non hanno nessuna voglia di fare scalate in solitaria; preferirebbero dividere onori e oneri con gli sperimentali. È per un puro accidente tecnologico - una asincronia storica - che i ramponi e le corde teoriche per la scalata siano già in progettazione e che quelli sperimentali non esistano ancora. (Greene 1999, p.188)

Le stringhe non sono allergiche agli esperimenti ma sono semplicemente un campo in cui gli esperimenti non possono ancora raggiungerle. Osservare una stringa non è possibile e, salvo grandi rivoluzioni tecnologiche, non sarà mai possibile. Per vedere una stringa, secondo i calcoli di Shmuel Nussinov, servirebbe un acceleratore di particelle grande come l’universo (Greene 1999, p.189). «La storia della fisica è piena di idee che in un primo tempo erano sembrate assolutamente non verificabili ma che poi, grazie a progressi imprevisti, si trovano incluse nel regno della sperimentazione» (Greene 1999, p.198). La situazione con cui siamo chiamati a confrontarci forse è unica sotto un particolare aspetto, ovvero la durata del “primo tempo” di cui parla Greene. La teoria delle superstringhe è complessa, innovativa, visionaria al punto che la sua formulazione ha fatto un balzo in avanti, lasciandosi la sperimentabilità momentaneamente alle spalle. Veneziano infatti sostiene che la teoria delle superstringhe non faccia predizioni solo per quanto riguarda ciò che ad oggi è controllabile, non che non ne faccia in assoluto:

> As Veneziano points out, contrary to what is sometimes maintained by critics, “string theory makes definite predictions, like for instance the existence of very heavy (by particle physics standards) ‘string excitations’, or modifications of gravity at very short distances.” The question is “whether any conceivable experiment, now or in the foreseeable future, will ever be able to test those predictions”. (Ritson e Camilleri 2015, p.202)

Parlando di teorie alternative alle stringhe, lo stesso Carlo Rovelli, che lavora sulla teoria della gravità quantistica a loop ha dichiarato che la «loop quantum gravity is in no better shape than string theory in making verifiable predictions. There are no experiments supporting loops, nor any other quantum theory of gravity» (Rovelli in Ritson e Camilleri 2015, p.199). Le alternative ci sarebbero dunque, ma nessuna ha ancora mostrato di poter competere con le stringhe o di essere migliore delle stringhe sotto l’aspetto della sperimentabilità e delle previsioni. Richard Feynman esprime bene, in una dichiarazione in cui afferma di non apprezzare la teoria delle stringhe, il dubbio di chi deve decidere se insistere nel sostenere una teoria o smetterla, ritenendo che ormai abbia avuto sufficiente tempo per dimostrare di valere qualche cosa:

> Ora so che altri vecchi uomini sono stati molto sciocchi nel dire cose del genere, e, quindi, io sarei molto sciocco a dire che questa è un’assurdità. Stò per essere molto sciocco, perché io ritengo fortemente che questa sia un’assurdità! Non posso farci nulla, anche se conosco il pericolo insito in questo tipo di punto di vista. Quindi forse potrei divertire gli storici futuri dicendo ce penso che tutta questa storia delle stringhe sia folle e stia andando nella direzione sbagliata. (Woit 2006, p.177)

Il prezzo da pagare dunque è alto. Da un lato significa smettere di percorrere una strada che, secondo chi la conosce meglio e ci lavora da una vita, ha ancora molto da dire, prima che possa avere avuto l’occasione di essere effettivamente smentita dagli esperimenti. Dall’altro lato c’è la prospettiva di allentare il rigore scientifico, mutare quello che è considerato scienza, con i rischi che questo comporta. Gli stringhisti, sicuri della loro teoria, hanno già fatto la loro scelta: non si può valutare la teoria delle stringhe come si è sempre fatto prima. Già all’epoca della prima rivoluzione delle superstringhe Smolin osserva che il problema di come verificare la teoria sperimentalmente non era particolarmente dibattuto: «non si doveva più dipendere dagli esperimenti per verificare le teorie! Quella era roba da Galileo. Ormai bastava la

matematica per esplorare le leggi della natura. Eravamo entrati nell'era della fisica postmoderna» (Smolin 2006, p.177). La perplessità è grande davanti a questo atteggiamento, la scienza si è spesso confrontata con difficoltà simili, una nuova proposta teorica è normalmente più vaga e debole di ciò che la precede, ha bisogno di tempo e di pazienza per dare i suoi frutti e trovare una stabilità. «Here's my problem. For how long do we continue to suspend our demand for empirical proof? Ten years? Thirty years? a Hundred years?» (Baggott 2014, p.288). Tra il momento in cui si è ipotizzato il bosone di Higgs e il momento in cui al CERN lo si è individuato sono passati, sottolinea Baggott, quasi cinquant'anni (Baggott 2014, p.288). Ma nel mezzo non c'è stato il vuoto, una nuova teoria, come nel caso del bosone di Higgs, produce innovazione, nuove idee, nuove tecnologie, nuovi fatti mai considerati prima. In questo caso, «the Higgs mechanism was progressive - it solved some problems and made prediction for which there was some hope of providing a test sometime in the not too distant future» (Baggott 2014, p.288). Ciò che lascia smarriti davanti alla richiesta di più tempo delle stringhe è la mancanza totale di segnali, come abbiamo già detto numerose volte «superstrings/M-theory and the various multiverse theories have made no really testable predictions at all» (Baggott 2014, p.288). Baggott sostiene che ampliare i limiti della scienza in favore di maggiore libertà sia una cosa che aiuta a lavorare più serenamente, una cosa che un gruppo può anche prendersi la responsabilità di fare:

> After all, they say, we're all grown-ups. We're all smart cookies. According to a strict interpretation of the rules, this is maybe not acceptable. But hey, rules are made to be broken. If we just relax the rules even by a little bit, then all manners of new and exciting things become possible. (Baggott 2014, p.288)

Ma in agguato c'è il rischio di quella che Baggott chiama "Grand Delusion", scritta con le maiuscole «intended to Emphasize its Profound Importance» (Baggott 2014, p.289). La "Grand Delusion" è il risultato di un'azione intelligente e sofisticata che porta ad effetti estremamente negativi. Baggott fa l'esempio della crisi economica del 2008, causata dalla convinzione di poter allentare le regole e affidarsi a sistemi matematici che avrebbero mantenuto saldo il mercato. La Grand Delusion è il timore dei ricercatori scettici davanti ad una teoria che vuole restare scienza ma senza produrre predizioni testabili, «cosa capita quando la speculazione non soggetta ai vincoli dell'esperimento

si impadronisce del tutto di un settore scientifico?» (Woit 2006, p.XVI). Se si abbandona la necessità di riferirsi alla realtà empirica allora «anything goes? Why wouldn't we then regard astrology as true? Homeopatic medicine? Intelligent design?» (Baggott 2014, p.294) si domanda Baggott provocatoriamente, citando Feyerabend.

Una traccia di questa possibile deriva è già stata denunciata: si tratta del controverso "principio antropico". All'inizio di "Farewell to reality", Jim Baggott tenta di fornire una sua definizione di scienza elencando alcuni principi che ritiene essere cardine della scienza: principio di realtà, dei fatti, della teoria, di testabilità, di veracità e infine il principio copernicano (Baggott 2014, p.23). Del principio Copernicano ci dice che:

> the universe is not organized for our benefit and we are not uniquely privileged observers. Science strives to remove "us" from the centre of the picture, making our existence a natural consequence of reality rather than the reason for it. (Baggott 2014, p.23)

Usare noi stessi come elemento per dimostrare qualche cosa è, secondo la visione di Baggott, un grave errore. La teoria delle superstringhe, come abbiamo visto in precedenza, si scontra con un'enormità di possibili spazi di Calabi-Yau, ognuno dei quali darebbe origine ad un qualche tipo di universo. A noi però interessa conoscere quello che dà origine all'universo che vediamo. Il principio antropico entra in gioco in questa situazione: noi esistiamo nell'universo e, osservando il modo in cui esso è composto ci accorgiamo che basterebbero pochissime differenze per renderlo inospitale alla vita. L'astrofisico Martin Rees ha identificato sei costanti che, se differissero anche solo di un 1%, darebbero come risultato un universo inospitale per la vita (Baggott 2014, p.265). Questo è l'enigma di Goldilocks, «we find that the universe is not "just right", it appears extraordinarily fine-tuned for life» (Baggott 2014, p.267). Com'è possibile? Quanto è improbabile che si sia generato un universo così specificamente adeguato alla vita? Ecco, il principio antropico ci chiede di considerare noi stessi come elemento di indagine, la probabilità che noi stessi esistiamo come indizio sul fatto che l'universo che ci circonda sia peculiare. Come si risponde all'enigma di Goldilock? Si può citare il disegno intelligente che ha predisposto le cose proprio nel modo in cui sono oppure, meno difficile da digerire, il multiverso. Se ipotizziamo che il nostro sia un universo tra moltissimi altri universi, diventa meno

incredibile che si presenti così adeguato alla vita. La teoria delle stringhe con i suoi 10^{500} possibili spazi di Calabi-Yau si trova nella perfetta condizione per sostenere che il multiverso è reale. Tutti i possibili universi originati da ogni singolo spazio di Calabi-Yau sono reali. Non ne è uscito uno, il nostro, casualmente. Tutti sono esistenti e uno dei tantissimi ha le condizioni che noi conosciamo. In una sola mossa si può passare da una teoria incapace di produrre il nostro universo, perché troppo ricca di possibilità, ad una teoria che produce tutti gli universi. Non è quindi la teoria ad essere eccessivamente vaga, ma la moltitudine degli universi ad essere vastissima. L'idea alle spalle di questo ragionamento è usare la spiegazione più semplice tra le disponibili, un'incredibile casualità, il disegno intelligente e la molteplicità di universi. Smolin però mette in guardia su come questa assunzione sia fallace: «è vero che, se esistesse una popolazione di universi governati da leggi casuali, non saremmo sorpresi di trovarci in un universo in cui possiamo vivere. Ma il fatto che ci troviamo in un universo capace di ospitare la vita non può essere usato come conferma della tesi che esiste una vasta popolazione di universi» (Smolin 2006, p.165). Se stessimo parlando di pianeti, afferma Smolin, le cose sarebbero diverse. Le condizioni della terra favorevoli alla vita si spiegano in quanto è un pianeta tra moltissimi altri che non le possiedono, l'idea dietro il multiverso vorrebbe far valere questa situazione su scala maggiore. Ma c'è una differenza: «noi non siamo a conoscenza di nessun altro universo oltre al nostro» (Smolin 2006, p.165). Non c'è, secondo Smolin, alcuna differenza tra il multiverso e il disegno intelligente. Entrambe le soluzioni utilizzano lo stesso schema: «forniscono un'ipotesi non verificabile che, se vera, fa sembrare molto probabile qualche cosa che è improbabile [...] La fallacia è dovuta al fatto che entrambi confrontano un'unica spiegazione possibile - ma non verificabile - con l'affermazione che non esistono spiegazioni possibili. Com'è ovvio, potendo scegliere solo tra queste due alternative, una spiegazione sembra più razionale di un evento improbabile e non spiegato» (Smolin 2006, p.166). Smolin mostra il trucco: la vera alternativa non è l'assenza di qualunque spiegazione e il caso ma l'esistenza di dati e meccanismi che ancora non conosciamo e che possono spiegare il perché della capacità di ospitare la vita nel nostro universo. Se questa è l'alternativa allora, «dato che le prime due possibilità in linea di principio non sono verificabili, è più razionale insistere per la terza» (Smolin 2006, p.166). Il principio antropico è il passo che porta la scienza a liberarsi della necessità di fare previsioni verificabili senza le quali, per Smolin «è impossibile continuare a fare scienza» (Smolin 2006, p.170). Jim Baggott esprime

molto bene il modo in cui il multiverso e la teoria delle stringhe appaiono come storture nell'indagine scientifica:

> Let's just check to see if we understood this correctly. We live in a multiverse, "surrounded" by parallel universes that by definition we cannot experience directly. We can never verify the existence of these universes, and must look instead for evidence that betrays their existence indirectly in the physics of our own universe. Of course, there is no evidence in the physics of the authorized version of reality, so we must look to the physics of superstrings or M-theory. And look! The fact that there is no preferred choice of Calabi-Yau shape from the 10^{500} different possibilities is taken to imply that our universe is far from unique. [...]Justifying a multiverse theory because it is implied by superstring theory might just be acceptable if superstring theory was an already accepted description of the universe we experience. But it's not. In fact, one of the things standing in the way of superstring theory's acceptance is its inability to predict anything about our own universe. And this is partly because, with 10^{500} different Calabi-Yau spaces to choose from, virtually anything and everything is possible [...] The multiverse theory is justified by superstring theory but superstring theory cannot be proved because we live in a multiverse. We're so far over in that, to quote Matt LeBlanc as Joey in an episode of *Friends*, the line is a dot to us. (Baggott 2014, p.230)

Baggott continua affermando che gli stringhisti, invece di ammettere che certe teorie non siano scienza, «argue instead that the rules of science must be adapted to accommodate this kind of metaphysical speculation. They want to change the very *definition* of science. This is a very slippery slope» (Baggott 2014, p.233).

Immaginando di poter tralasciare le ipotesi più catastrofiche, dove allentare i confini della scienza ha come conseguenza la totale perdita di controllo su cosa sia e non sia scienza, lasciando aperta la porta a speculazioni pseudoscientifiche di ogni tipo, i rischi del mutare la definizione di scienza sono così gravi da valere la pena di assumersi la responsabilità di lasciare fuori dalla porta indagini come quella sulle teorie del tutto? Se non è scienza quella della teoria delle stringhe, se è speculazione metafisica, «we forgo the opportunity to explore the richness afforded by the mathematics. This richness is compelling, as it feeds the innate human desire to concoct stories about our universe and our place in it. Something has to give» (Baggott 2014, p.290). La teoria delle superstringhe, è bene ribadirlo, non è un delirio visionario. La teoria, rispetto a quello che ci si aspetterebbe dalla scienza, ha il limite di non

essere testabile ma non è l'opera di un megalomane desideroso di un pò di fama. La matematica che la compone è difficile ma consistente, le ipotesi sono concatenate in modo razionale, ha ottenuto diversi successi in campo matematico, presentando e risolvendo situazioni matematiche peculiari. La storia della scienza, sostiene Baggott, «is a history of continually and consistently pushing the boundaries into domains in which it might have been thought that science could or should have no answers to be found» (Baggott 2014, p.292). La fisica odierna si confronta e si confronterà ancora con situazioni limite come quella delle stringhe, continuando a rendere centrale il problema: cosa scegliere tra la rinuncia ad una teoria problematica e la rinuncia al rigore scientifico?

Nessun metodo o nessuna assenza di metodo finora indagate sembrano poterci dare uno strumento di valutazione abbastanza efficace da poter utilizzare per poter aiutare nella decisione, molto pragmatica, di comprendere quanto è opportuno investire in una teoria che presenti caratteristiche simili a quelle delle superstringhe. Tutto potrebbe essere più semplice nel caso ci fossero delle alternative in competizione con la teoria delle superstringhe:

> In an ideal situation, physicists would be faced with more than one true theory and would then have to pick the one that has independent virtues, such as simplicity and explanatory power. This was the case, for instance, with different formulations of classical mechanics. But since string theory is currently the only contender for a unified theory of physics, researchers are not in such luxurious position. (Cartwright e Frigg 2007, p.15)

Come possiamo muoverci in questa situazione anomala? Come decidere sulla base di una sola teoria, senza confronti e senza alternative?

Richard Dawid e l'argomento della sottodeterminazione

Un tentativo di ricercare strategie che ci permettano di lavorare nel mondo della fisica teorica senza limitarci a tagliare di netto un'idea e senza arrenderci al fatto che solo il tempo potrà darci le risposte che cerchiamo è quello compiuto da Richard Dawid. Dawid interviene nel dibattito sulle stringhe specificando come la condizione della teoria sia speciale, anche se non unica, ma che, nonostante questa specialità,

sia possibile valutarla in modo corretto invece che considerarla una semplice svolta fideistica di alcuni scienziati. La spaccatura, per Dawid, non è da ricercarsi nel confronto teorico, ma sui criteri di valutazione stessi.

> In the dispute, the critics of string theory mostly do not contradict claims of string theory itself but question the strategies of theory assessment applied in the context of string physics. (Dawid 2013, p.27)

Dawid sostiene che in attesa di prove empiriche è scorretto ignorare quegli elementi che la teoria delle superstringhe può portare in sua difesa, tra cui la più importante è «the argument of unexpected explanatory coherence» (Dawid 2013, p.33). Si tratta di quei risultati che al tempo della formulazione non erano stati previsti e che, secondo Dawid, sono un'importante fonte di corroborazione. Per dare alcuni esempi, Dawid cita la sorprendente capacità della teoria di spiegare fatti apparentemente non connessi tra loro, come l'implicazione della gravità, la capacità di mettere in una prospettiva coerente la supersimmetria, il fatto di fornire una spiegazione per l'entropia dei buchi neri (Dawid 2013, pp.33-34). Queste sono qualità teoriche, non necessariamente empiriche, da sempre utilizzate per valutare le teorie ma, sostiene Dawid, considerate di poca importanza se si segue il paradigma empirista dominante. Il principio che informa questo tipo di situazione viene indicato da Dawid nella cosiddetta "sottodeterminazione scientifica" secondo cui «even if a speculative theory fits the currently available experimental data, its distinctive predictions might well be false due to the scientific underdetermination principle» (Dawid 2013, p.47). La sottodeterminazione scientifica dice che una teoria che concordi con i dati disponibili e predica nuovi fatti deve fare i conti con la possibilità che ci siano altre teorie sconosciute in accordo con quei fatti ma che predicono cose diverse. Questo porta all'importanza della conferma empirica delle previsioni: fino a che una previsione non è osservata sperimentalmente, e confermata empiricamente come vera, ha pochissimo valore in quanto una speculazione in accordo con i fatti non ha quasi nessun merito, essendo solo una tra un possibile infinito numero.

Dawid ritiene che la portata della sottodeterminazione scientifica possa essere limitata in situazioni come quella della teoria delle superstringhe. Per spiegare in che modo può essere necessario limitare la sottodeterminazione scientifica Dawid ricorre a IBE (*inference to the best explanation*), un tipo di inferenza di verità o validità di

un'ipotesi. L'inferenza procede nel modo seguente: di fronte ad un fatto controverso si raccolgono alcune possibili spiegazioni, e una volta stabilita quale sia la migliore si conclude che tale spiegazione è quella che ha la maggiore possibilità di essere vera. Il processo si sviluppa solitamente, sottolinea Dawid, in un orizzonte canonico in cui la conferma sperimentale è necessaria per consentire alle spiegazioni di essere inserite nel gruppo di quelle possibili (Dawid 2013, p.65).

Cosa succede se si applica IBE ad una teoria priva di conferme empiriche come la teoria delle stringhe? Sarà l'unica contendente, quindi «in absence of any other known explanations, one must infer that the only known explanation [...] is the viable theory» (Dawid 2013, p.66). La mancanza di conferme empiriche renderà questa inferenza debole e, per renderla più forte, «we have to assess limitations to scientific underdetermination» (Dawid 2013, p.66). Per fare questo si ricorre nuovamente a IBE ad un secondo livello, ovvero si cerca di decidere se è ammissibile la limitazione della sottodeterminazione scientifica per quella teoria che abbiamo individuato come migliore. Analizzando la situazione della teoria delle stringhe, la limitazione della sottodeterminazione scientifica (Y) può essere presa in considerazione perché è giustificata da tre elementi: (a) pur avendole cercate non ci sono alternative, (b) la teoria è stata costruita senza considerare alcune interconnessioni esplicative emerse in seguito e (c) quando in altri casi si è agito allo stesso modo si è tendenzialmente rivelato un successo (Dawid 2013, p.67). «Since we find no other equally satisfactory explanations of observations (a), (b) and (c), we infer the truth of Y». Dawid conclude che, se l'argomento a favore della limitazione della sottodeterminazione scientifica sarà considerato valido, sarà allora utilizzabile come elemento per fortificare la teoria delle superstringhe nella sua valutazione IBE.

Dawid non mette in dubbio il valore della conferma empirica, «after all, empirical confirmation as attained its crucial status in theory assessment for good reasons. It emerged as a core element of the scientific method that has brought about the stunning scientific and technological achievements which have shaped the world for the last few centuries» (Dawid 2013, p.95). Allo stesso tempo però considera un dato di fatto l'ingresso della fisica in un periodo in cui possono essere necessari lassi di tempo molto lunghi prima di poter vedere conferme sperimentali: «once theories tend to remain empirically unconfirmed for the whole range of a physicist's active career or longer, it becomes increasingly important to assess the theory's status already in its empirically unconfirmed state» (Dawid 2013, p.95). In realtà, già ci troviamo di fronte

a questo tipo di congiuntura. Per esempio nella fisica delle particelle già si lavora senza una vera e propria guida empirica, e pure le teorie di questo ambito sono considerate «very trustworthy and reliable by their exponents» (Dawid 2013, p.96).

> Without going into any detail, I note the general scientific acceptance of specific unobservable scientific objects in the early twentieth century or the confident prediction of new particles based on the particle physics standard model may be taken as significant stages in a process that leads towards increasing trust in theoretical conceptions based on the assessment that, under some circumstances, an equally convincing theoretical structuring of the available data with substantially different prognostics is unlikely to exist. (Dawid 2009, p.995)

Le mappe interpretative di Thomas Gieryn

Thomas F. Gieryn a differenza di Dawid sostiene che non ci sia una strada preferenziale da percorrere, la teoria delle superstringhe non è speciale ma è unicamente la riproposizione di un *boundary work*, la definizione di una mappa culturale in cui due contendenti sono in lotta per includere o escludere un'area dai confini della scienza. Da un lato c'è chi vuole includere le teorie incapaci di previsioni empiricamente testabili, dall'altro chi le vuole escludere, «each side in the science wars defends its epistemic authority over the representation of science by making it into something for which its tools are the right ones for the job» (Gieryn 1999, p.346).

> The maps are interpretative justifications of the restriction of legitimate knowledge to this space and its denial to other spaces, served up as guide for those who wish to know what to believe and how to locate credible knowledge on which they can base practical decisions. (Gieryn 1999, p.340)

Gieryn descrive la scienza come uno spazio culturale, «it has no essential or universal qualities» (Gieryn 1999, p.XII), la scienza viene mappata di volta in volta escludendo o includendo elementi culturali: in certi casi se ne appropria, in altri traccia un confine che dice agli scienziati «where they may not roam without transgressing the boundaries of legitimacy, and "science"» (Gieryn 1999, p.16). Quella che Gieryn individua è una contesa volta a difendere o ottenere autorità scientifica: essere parte della mappa culturale della scienza rende autorevoli, esserne esclusi elimina questa

autorevolezza.

> Losers see their claims moved out from facts to illusione, lie, ulterior motive, or faith while they get marginalized or excluded fully from the domain of epistemic authority reserved for science and its genuinely cartography. (Gieryn 1999, p.13)

L'autorità che la scienza possiede non è costitutiva dei contenuti e delle metodologie della ricerca: «epistemic authority exist only to the extent that is claimed by some people (typically in the name of science) but denied to others (which is exactly what boundary-works does)» (Gieryn 1999, p.14). Il "boundary-work" inoltre si articola in modo non metodico, gli argomenti a favore di una certa mappatura, di una certa distinzione fra il legittimo (scientificamente) e l'illegittimo, sono scelti in base all'interlocutore e si trovano casi in cui argomenti opposti sono stati utilizzati dallo stesso soggetto nel tentativo di definire una mappa a lui favorevole. Gieryn riporta l'esempio di John Tyndall (presidente della *British Association for the Advancement of Science*) che quando si trova a dover marcare la differenza tra scienza e religione, nel tentativo di non relegare la scienza ad un ruolo subalterno, si appella alle sue caratteristiche empiriche ed induttive (Gieryn 1999, p.58). Quando invece deve distinguere la scienza contemporanea dalla meccanica tradizionale, che si vantava di non perdere tempo dietro a «speculative rubbish» (Gieryn 1999, p.52), si appella alle sue caratteristiche astratte e teoriche (Gieryn 1999, p.58). «Science becomes - on different rhetorical occasions - whatever best distinguishes it from one or another cultural realm and professional competitor» (Gieryn 1999, p.58). Secondo Gieryn, l'argomento usato finora per definire la scienza è: "Science Works": «from the seventeenth century to yesterday, scientists have used the language of instrumental utility to legitimate their practices and to justify request of material support from other sectors of society» (Gieryn 1999, p.74). Ma non si tratta di una soluzione definitiva. Secondo Gieryn collegare la scienza alla soluzione di problemi umani, anche importanti, non è un terreno di giustificazione sicuro e definito una volta per tutte:

> Whether something is a problem, whether it is a serious problem, whether a solution takes the form of a certain technology, and whether science is the fount of such technological panacea - all this is a matter of construction, denial, negotiation, and eventual settlement in the history books. (Gieryn 1999, p.74)

La teoria delle superstringhe risolve un vero problema? C'è la necessità di indagare a qualunque costo in quella direzione? I suoi risultati sono importanti? Se la risposta è sì, allora la mappa della scienza comprende la teoria, altrimenti, se non è indispensabile, non fornisce soluzioni, rimarrà al margine del territorio della scienza.

Chi ha ragione? Due valutazioni a confronto

Le proposte di Gieryn e di Dawid forniscono due diversi approcci al problema che ha acceso le "string wars". Uno cerca di produrre una metodologia di valutazione, nell'attesa di risultato empirico, che possa affermare la validità di una teoria. L'altro conduce il dibattito sul piano della sociologia della scienza accettando che il terreno di scontro sia definito da argomenti non conclusivi dal punto di vista del rigore formale. Gieryn nella sua visione della scienza come spazio culturale non dà altro peso alla teoria se non quello di possedere una forte capacità persuasiva. Utilizzando il criterio del *Boundary Work* la questione sull'essere o meno parte della scienza della teoria delle stringhe sembrerebbe aver avuto già una risposta, che è di tipo affermativo. La teoria delle stringhe si presenta come la più importante e praticata teoria in un settore della fisica teorica. Difficilmente si può sostenere, almeno in questo senso, che abbia perso la sua battaglia. Il dibattito sulla legittimità con cui può rimanere all'interno della scienza si è acceso dopo, o almeno si è focalizzato sull'opportunità o meno di perseguire ulteriormente la ricerca nel suo ambito. Se abbracciamo la posizione di Gieryn il dibattito non avrà un termine definito da criteri conclusivi. Semplicemente la teoria delle superstringhe ad un certo punto sarà esclusa dalla ricerca perseguita in ambito scientifico, mentre altre teorie potranno nuovamente reclamare un loro spazio nell'ambito della ricerca.

La proposta di Dawid invece fornisce un interessante stratagemma per poter proseguire nell'intento valutativo della teoria senza limitarsi a fornire una descrizione della controversia da "cronista esterno". La necessità è quella di trovare una chiave valutativa di quelle che sono le speculazioni della teoria, tale che non impedisca agli scienziati di approfondire e lavorare in campi della fisica dove è necessario fare affidamento principalmente sulla ragionevolezza della speculazione o sull'opinione esperta degli scienziati. Questa proposta non sembra però tenere conto di un aspetto che la teoria delle superstringhe ha reso centrale nel dibattito, vale a dire il rischio di

intrattenere atteggiamenti dogmatici, fideistici o monopolisti da parte della comunità scientifica. Come abbiamo già sottolineato nel corso di questo lavoro, la mancanza di alternative per la teoria delle stringhe invocata da Dawid non deve essere confusa con una sua supposta superiorità rispetto a ipotetiche avversarie. Spesso si è sostenuto che fosse superiore solamente dal punto di vista della capacità di sedurre gli scienziati e accentrare le risorse.

Un altro elemento di cruciale difficoltà è legato alla costruzione di teorie speculative che si corroborano grazie ad altre teorie speculative. La difficoltà consiste nella capacità di trovare criteri di valutazione soddisfacenti da un punto di vista scientifico. La teoria delle superstringhe presentata da Dawid appare essere una speculazione in accordo con i dati disponibili che, in caso di riduzione della sottodeterminazione scientifica, acquisterebbe una posizione più corroborata rispetto a tutte le possibili altre teorie in accordo con i dati disponibili. Ma quali sono i dati disponibili? Anche in questo caso è l'opinione della comunità scientifica a decidere cosa è necessario considerare un dato rilevante e cosa no. Smolin sottolinea per esempio come la teoria delle superstringhe non tenga conto di quello che è «l'insegnamento principale della relatività generale» (Smolin 2006, p.81). La relatività generale presenta una geometria dello spazio mutevole che evolve nel corso del tempo, mentre la teoria delle superstringhe è una teoria a *background* fisso.

> La geometria dello spazio non fa parte delle leggi di natura. [...] Ciò significa che le leggi di natura devono essere espresse in una forma che non presuppone che lo spazio abbia una geometria fissa. Questo è il nucleo centrale dell'insegnamento di Einstein ed è stato racchiuso nel principio già descritto dell'indipendenza dal background - che afferma che le leggi di natura si possono specificare completamente senza formulare ipotesi a priori sulla geometria dello spazio. (Smolin 2006, p.82)

La condizione delle superstringhe non è derivata da una scelta controcorrente dei suoi primi teorici. Viene invece da una lunga storia di tentativi della fisica di trovare un modo di unificare gravità e teoria quantistica. Unificare l'elettromagnetismo e la teoria quantistica era stato possibile considerando il background come fisso, mentre la stessa cosa non si è potuta fare con la gravità. Anche confrontandosi con onde gravitazionali così deboli che «si possono considerare come minuscole increspature che perturbano una geometria fissa» (Smolin 2006, p.85), non è stato possibile

lavorare come se il *background* fosse fisso. Le onde gravitazionali interagiscono tra loro (a differenza delle onde elettromagnetiche che invece si attraversano senza interagire) e quindi «*modificano* il background mentre si muovono» (Smolin 2006, p.86). Lavorare con teorie indipendenti dal *background* però portava pochi risultati, mentre utilizzarne uno fisso aveva permesso di ottenere risultati importanti (l'unificazione di elettromagnetismo e teoria quantistica), spingendo gli scienziati a preferire questa via. La teoria delle superstringhe fa parte di questo filone di ricerca, scelto perché promettente e fruttuoso, a differenza di un approccio che, sebbene considerasse tra i suoi elementi «la massima conquista dello scienziato più famoso del Novecento» (Smolin 2006, p.84), non riusciva ad ottenere successi. In questo caso la comunità scientifica ha avallato la scelta di un approccio che esclude parte dei dati iniziali e lo ha fatto con valide ragioni. Come tener conto di questa decisione all'interno del quadro proposto da Dawid?

Scienza e speculazione

> Sono sicuro che tutti gli sperimentalisti si stanno chiedendo: "come posso falsificare la teoria delle stringhe? Come posso cacciarla via e non farle fare più ritorno?". Be', non potete… O almeno non ancora. (Polchinski in Woit 2006, pp.212-214)

L'osservazione dello stato attuale del dibattito sulla teoria delle stringhe produce numerosi spunti critici e, da una prospettiva epistemologica, compare in modo chiaro la difficoltà di demarcare tra ciò che è scienza fruttuosa e merita di accentrare risorse intellettuali, temporali ed economiche e ciò che invece è pseudo scienza, su cui non vale la pena investire tempo e denaro. Anche i maggiori detrattori della teoria esitano ad essere definitivi nel lor rifiuto. Reputano la teoria inconcludente, sbagliata, un male per l'ambito di ricerca, refrattaria dei tradizionali canoni di scientificità ma, nonostante questo, non chiedono che si smetta di indagarla immediatamente. Chiedono di limitare la divulgazione di teorie spacciate per vere quando sono, per la maggior parte, pure speculazioni, sollevando perplessità sui rischi che comporterebbe allentare le maglie dei criteri di scientificità, in particolare la sperimentabilità. Nel dibattito sulle stringhe si discute di problemi legati alla società scientifica, cattedre, finanziamenti, vincoli (più o meno espliciti) che impongono di occuparsi delle superstringhe per accedere a posti

fissi e risorse. Si accusano gli scienziati di trattarla come un affare (occuparsi di stringhe consente loro di pubblicare libri e produrre documentari divulgativi che vendono bene e, tra un convegno e l'altro, girare il mondo). Ma la richiesta emergente da queste critiche e apprensioni è, in breve, la necessità di una maggiore apertura del mondo della ricerca, evitando di avviluppare l'intero settore su un solo ambito.

Quali sono i motivi di tale inaspettata prudenza? Dopotutto l'appello alla sperimentabilità è forte e ripetuto da tutti i detrattori, l'incapacità di produrre previsioni che siano in qualche modo controllabili è un solido argomento per tutti coloro i quali ritengono che la teoria sia un vicolo cieco. Questo è materiale sufficiente per mettere all'angolo le superstringhe. L'allentamento dei criteri di scientificità è un rischio che li preoccupa e contro cui si scagliano. Allora come mai, partendo da queste critiche forti, non derivano conclusioni altrettanto forti e definitive? Woit cercando di spiegare perché falsificare la teoria delle superstringhe non è ancora possibile si sofferma proprio su cosa, secondo lui, fanno gli stringhisti: speculano. Ma, aggiunge, non sono gli unici. L'attività speculativa è uno degli aspetti della ricerca scientifica, su cui gli scienziati investono molto del loro tempo. Speculare significa tentare di verificare se da un'idea può originare una teoria ed è un modo di procedere comune. La teoria delle stringhe non è diversa in questo senso.

> La generalizzazione della nozione di "scientifico" che includesse tali speculazioni renderebbe certamente la teoria delle superstringhe una scienza. Ma ce la sentiamo di dire che tutta questa attività speculativa è scientifica? [...]Se io annunciassi che sto analizzando la prospettiva di una teoria unificata elaborata sull'assunzione che il mondo sia costituito di tartarughe estremamente piccole, e che da questa assunzione spero di derivare il Modello standard e calcolarne i parametri indeterminati, molte persone direbbero che io sicuramente non sto facendo "scienza". D'altro canto, se dopo pochi mesi di lavoro io fossi in grado di derivare i parametri del Modello standard dall'assunzione delle tartarughe, allora la gente dovrebbe cambiare opinione e ammettere che io ho fatto scienza. (Woit 2006, pp.214-216)

Ciò che rende una speculazione parte della scienza è il consenso di una parte della comunità scientifica: «la speculazione conosciuta come teoria delle superstringhe continua ad essere qualificata come scienza secondo questo criterio, dal momento che una grossa fetta di teorici la considera un'assunzione ragionevole su cui lavorare»

(Woit 2006, p.216). Il riconoscimento dell'importanza della speculazione, della sua presenza sempre più massiccia nel mondo della scienza che, da molto tempo ormai, inserisce tra i suoi oggetti particelle e forze mai osservate, puntando a costruire su queste assunzioni delle teorie efficaci, non è ignorato dai critici delle superstringhe. Speculare significa fare scienza se si soddisfa un unico criterio: la comunità scientifica deve ritenere ragionevole la speculazione. Gli esempi portati da Dawid sono un tentativo di sottoscrivere questo stato di cose e mostrare come sia possibile utilizzare dei criteri condivisibili anche per considerare la ragionevolezza di una teoria puramente speculativa, tanto da poterne scegliere, tra diverse, una come migliore.

I critici delle superstringhe pur riconoscendo questa importante componente del processo scientifico sono comunque allarmati. Quando una teoria speculativa si impossessa di uno spazio vasto dell'attività di ricerca come ha fatto la teoria delle stringhe, quando diventa corroborazione per ulteriori speculazioni, c'è motivo di essere apprensivi. Senza la guida di regole condivise e di protocolli, ciò che spinge a prendere una teoria per buona rischia di diventare una valutazione soggettiva, anche laddove il soggetto è una intera fetta di comunità scientifica.

> Come abbiamo visto, non esiste un modo chiaro per separare nettamente ciò che è scienza da ciò che non lo è sulla base di questioni prettamente umane, relative a quello che la gente sceglie di credere e perché. La scienza, seguendo questo metodo, non ha alcuna garanzia di immunità nei confronti dei pericoli generati dai comportamenti di natura religiosa di cui gli esseri umani possono essere preda. Stringenti norme di razionalità sono necessarie e devono essere continuamente fatte rispettare per assicurare che la scienza continui a meritare questo nome. (Woit 2006, p.217)

Anche Smolin si concentra sulle scelte della comunità scientifica come criterio di accreditamento del successo della scienza: «la scienza ha avuto successo perché gli scienziati costituiscono una comunità che è definita e preservata dall'adesione a un'etica comune» (Smolin 2006, p.300). L'etica comune di cui parla Smolin si basa su pochi assunti: un disaccordo si deve considerare risolto se può essere deciso da soggetti in buona fede che si appellano a ragionamenti razionali basati su prove disponibili a tutti. Se invece questi argomenti razionali non conducono all'accordo, allora si deve incoraggiare la pluralità delle posizioni. (Smolin 2006, p.300). Baggott è ancora più radicale: si può speculare, si può osare, ma non bisogna mai dimenticare

che una speculazione, una teoria senza sostegno empirico, non è il punto di arrivo, non è una descrizione della natura. La guida delle prove empiriche è indispensabile, Tentare di modificare questo criterio significa abbandonare il metodo scientifico ed i suoi criteri di applicazione.

> In doing this, some theorists have railed against the constraints imposed by scientific methodology that, they argue, has outlived its usefulness. They have declared that the time has come to embrace a new methodology for a “post-empirical science”. Or, if you prefer, they have given up. (Baggott 2014, p.XII)

La speculazione non perde la sua importanza ma dimenticarsi della fondamentale necessità di prove empiriche condurrebbe ad articolare la fisica come una torre di speculazioni poggiate su altre speculazioni, insinuando nell’opinione pubblica un’immagine di arbitrarietà che finirebbe per minare la credibilità della scienza. La comunità scientifica e la sua competenza sono un argomento spinoso da trattare, scegliere di dare peso ai critici non è diverso da scegliere di accettare l’opinione professionale dei molti. Ritson e Camilleri a questo proposito citano Leonard Susskind, fisico stringhista e autore del libro *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design*, dove risponde alle critiche cercando di cambiare prospettiva:

> What in the multiverse is going on? Could it really be that a secret cabal of scientific priests have plotted to overthrow the rules of good scientific method and have absconded with the nation’s scientific funding? Have America’s greatest universities - Harvard,Princeton, Stanford, Berkeley, Massachusetts Institute of Technology, California Institute of Technology - all become infected with the same cancer of meaningless metaphysical speculation? Has serious science been driven out by string theorists bent on world domination? Or are the critics a bunch of disgruntled conspiracy theorists, angry at being ignored? And might there be a bit of opportunism at work, an opportunity for gaining 15 minutes of scientific fame - without the real work? (Susskind 2006 in Ritson e Camilleri 2015, p. 220)

Come sottolineano Ritson e Camilleri: «Here the debate becomes a debate over credibility» (Ritson e Camilleri 2015, p.221). Trasportare lo scontro su questo terreno non aiuta però a strutturare una valutazione rigorosa della rosa di elementi, che

includono anche, ma non solo, le scelte personali degli scienziati, che portano a preferire una teoria piuttosto che un'altra. Alla domanda mossa polemicamente da Susskind sulla possibilità che le più importanti università si siano sbagliate, si può contrapporre una domanda diversa: e se così fosse, in che modo potremmo accorgercene?

Una controversia speciale

La controversia sul caso delle stringhe conduce il dibattito su diversi ambiti del panorama scientifico. Si toccano temi delicati che spaziano dalla definizione di scienza alla gestione amministrativa di risorse e cattedre nelle accademie. La portata della controversia è però andata oltre, ingigantendosi oltre misura. Centrale è, a mio parere, ribadire la natura speculativa della teoria delle superstringhe. Per rispondere alla domanda sull'appartenenza della teoria delle stringhe all'ambito della scienza, rifacendoci a quanto detto da Woit a proposito delle speculazioni, possiamo affermare che se valutata come una speculazione la teoria rientra a pieno diritto nel campo della ricerca scientifica. La speculazione scientifica è però un terreno scivoloso e richiede cautela d'uso. La sua natura porta in primo piano le responsabilità della comunità scientifica, a cui si deve il riconoscimento di quali siano le speculazioni ragionevoli, che stabilisce quali sono "tutti i fatti" con cui deve essere in accordo, che si spacca e dibatte nel *boundary work* con argomenti finalizzati alla vittoria della discussione, e non sempre totalmente aderenti alla valutazione dell'oggetto del dibattito.

La maggior parte delle critiche mosse dagli scettici sottolinea la vaghezza della teoria delle superstringhe e l'assenza di prospettive di avanzamento della ricerca, contestando le scelte di chi, nonostante questo, ne ha fatto il centro del proprio lavoro. Criticare la teoria delle superstringhe per questa ragione probabilmente non avrebbe dato voce ad una controversia così radicale e così estesa. Il dibattito si sarebbe si sarebbe esaurito su uno scontro attorno alla gestione dei fondi per la ricerca e non sui principi che la governano. Il cambio di prospettiva avviene nel momento in cui il "clan delle stringhe" smette di trattare la teoria come speculativa e la tratta invece come una vera e propria teoria scientifica, in via di sviluppo certamente, ma già corroborata nei suoi elementi costitutivi, ovvero le sue sorprendenti capacità di produrre connessioni non previste all'atto della sua formulazione e la sua semplicità ed eleganza. La

certezza nel suo valore conoscitivo da parte dei suoi sostenitori è tale da ritenere che possa essere fondamento per ulteriore attività speculativa, e dunque che possa essere ritenuta ragionevolmente vera. Davanti a questo atteggiamento la dinamica del dibattito entra in una fase più serrata e radicale. Criteri come la falsificabilità, la produzione di fatti nuovi, la progressività e la produzione di aggiustamenti *ad hoc,* sono criteri non applicabili ad una speculazione, che è destinata a fallire ogni test a cui è stata sottoposta proprio per la sua natura precaria e non corroborata. Sottoposta a criteri così rigorosi la teoria delle stringhe viene ritratta come un'intrusa nella scienza, "*fairy tale physics*" come la chiama Baggott, una strana teoria priva di valore che ha ipnotizzato senza motivi fondati le principali università americane.

Tuttavia, se trattassimo con questi strumenti ogni nuova ipotesi speculativa resteremmo privi di qualunque nuova idea. Argomenti come quello del tempo trascorso dalla sua prima formulazione senza che siano emersi elementi a suo favore non fornisce una solida base di critica. Fin tanto che resta una speculazione non siamo nemmeno certi di sapere davanti a cosa ci troviamo. Presumere quali risultati avrebbe dovuto produrre in un certo lasso di tempo è una posizione fondata su aspettative infondate. Assumere che se è l'unica alternativa disponibile allora è giusto trattarla come vera è un argomento debole. La sottodeterminazione scientifica sottolinea proprio questo: la teoria delle superstringhe, fin tanto che non esce dallo stato di pura speculazione, non ha un valore intrinseco motivato dal suo esistere in un campo povero di alternative. La richiesta di Dawid di limitare il peso della sottodeterminazione scientifica per la teoria delle superstringhe devia l'attenzione dalla questione principale.

Tra le speculazioni scientifiche la teoria delle superstringhe ha dei meriti e degli interessanti punti a favore che, di per se stessi, ne giustificano il suo persistere nell'ambito della ricerca ma ne impediscono al tempo stesso la collocazione al livello successivo, quello di teoria scientifica. La "spallata" data dagli stringhisti ha fatto concorrere la teoria delle stringhe in un campo molto più esigente, trasportando il discorso su tematiche fondazionali ed epistemologiche. Senza applicare le dovute cautele nel trattare di speculazioni scientifiche e di ricerca scientifica in generale il rischio di ripercussioni è alto. La scienza non è un compartimento stagno fatto di ricerca, rivoluzioni e grandi scoperte. Come porta in primo piano il caso delle stringhe gli strascichi di un atteggiamento eccessivamente entusiasta e poco incline alla critica producono effetti diretti sulle carriere e sulle vite di scienziati e ricercatori,

contribuendo ancora di più al modificare le condizioni dell'ambiente della ricerca. Si forza chi vuole fare ricerca a farla in un determinato campo, escludendo possibili alternative.

Nel corso di questa analisi sono emersi tre aspetti che hanno contribuito ad inasprire il dibattito e a condurlo su tematiche che, a mio parere, non gli competono pienamente: la grande importanza attribuita alle teorie del tutto, lo spostamento del dibattito dal merito delle teorie e delle speculazioni a quello dell'autorità, e lo slittamento ingiustificato da speculazione a teoria corroborata. In questa parte finale richiamerò partitamente ciascun aspetto ripensandone i tratti specificamente epistemologici.

L'importanza delle teorie del tutto

Uno degli elementi che ha contribuito al successo della teoria delle superstringhe e che ha creato tanta compattezza tra i ranghi dei suoi sostenitori è il suo essere una possibile teoria del tutto. L'idea di avere a portata di mano una teoria finale che possa spiegare i fondamenti dell'universo ha generato grande entusiasmo. La teoria delle superstringhe è stata investita di aspettative enormi, rivoluzionarie, che hanno contribuito a qualificarla come "speciale". Il tentativo di ottenere un trattamento diverso, che evitasse i normali canoni di controllo scientifico è in parte compensato da queste aspettative.

Peter Achinstein in un intervento al *Rotman Institute of Philosophy* intitolato: "What is a theory of everything, and why should we want one?" solleva dei dubbi sulla ricerca di quelle che sono definite teorie del tutto. Innanzi tutto, si domanda, in cosa consiste il "tutto" a cui ci si riferiscono queste teorie? Con tutto, spiega Achinstein, i sostenitori di queste teorie sostengono sostanzialmente una posizione riduzionista: la teoria delle superstringhe dovrebbe, secondo questo scenario, spiegare ogni cosa, compresi i fenomeni mentali – compreso, esemplifica Achinstein, il sogno che ho fatto la scorsa notte (Achinstein 2014). Le tre condizioni che una teoria del tutto dovrebbe rispettare per essere tale sono:

1) appellarsi a leggi fondamentali per cui non esiste un'ulteriore spiegazione
2) presentare degli oggetti fondamentali governati da queste leggi
3) stabilire che tutto ciò che accade deve essere spiegato da questi due elementi, le leggi e gli oggetti fondamentali.

Ma perché una teoria del genere dovrebbe esistere? Quali indicazioni ci sono che ci convincano di tale esistenza? (Achinstein 2014). Achinstein elenca i motivi che spingono a ritenere che la ricerca di una teoria del tutto sia valida obiettando a ciascuno di essi.

Il primo è un principio storico: la scienza si è mossa sempre in direzione di principi più semplici ed economici, e questo condurrebbe a ipotizzare che, proseguendo in questa direzione, l'unificazione tenda a convergere da qualche parte. Secondo Achinstein, tuttavia, il massimo che possiamo aspettarci è che scendendo nel sempre più piccolo prima o poi dovremo fermarci, ma non e' detto che il punto in cui ci fermeremo coincide con, o equivale a, una teoria del tutto.

Il secondo è il principio dell'unificazione: la scienza mostra nel suo procedere come tutto sia interconnesso, tutto interagisce con tutto. Non appare dunque giustificato pensare, seguendo questo ragionamento, che in ambiti diversi esistano teorie diverse. La presenza di due cose strettamente interconnesse ci suggerisce che possano essere la stessa cosa. Anche in questo caso Achinstein non ritiene l'argomento conclusivo. Quando si arriva a trovare due principi possiamo ipotizzare che esista un principio più fondamentale o che sia la combinazione dei due a dare gli esiti che vediamo. Non c'è motivo di preferire una ipotesi di unificazione.

Infine, il terzo motivo è un principio di intellegibilità: la scienza deve presupporre una teoria del tutto. La scienza è guidata dalla certezza che il mondo è intellegibile e non solo descrivibile, e questo conduce inevitabilmente a pensare che esista un nucleo unico che spieghi tutto. Achinstein rifiuta in questo caso l'argomento sostenendo che possiamo fare scienza anche senza ritenere che tutto sia intellegibile. Newton non sa dirci perché la gravità appare così come la vediamo ma questo non gli impedisce di trovare una legge che spiega perché i pianeti si muovono in un certo modo. L'intellegibilità inoltre è intesa come intellegibilità per noi, ovvero ha senso parlarne solo ipotizzando che possiamo comprenderla. Non è detto, tuttavia, che pur conoscendo tutte le forze in campo sia possibile derivarne gli esiti (Achinstein 2014).

Achinstein ritiene che tutti gli argomenti portati a favore dell'esistenza di una teoria del tutto siano puramente metafisici: non c'è nessun motivo per cercare una teoria di questo genere se non utilizzando argomenti a priori. Mettere in campo una teoria del tutto è una forzatura. La realtà è che gli scienziati solitamente cercano una comprensione contestuale, lavorano perché vogliono comprendere una cosa ad un certo livello e in un certo tempo – una comprensione dunque legata al dove siamo e

al quando siamo. Quando si chiede ai fisici a cosa ambiscono, la risposta di norma è: unificare le quattro interazioni fondamentali. Il passo ulteriore che conduce a pensare che tutto sia intellegibile, e che la comprensione stessa debba essere unificata, è ingiustificato senza qualche prova che tale unificazione sia raggiungibile, e ancor prima sensata da cercare. Quindi incoronare la teoria delle superstringhe come più fondamentale delle altre in quanto candidata plausibile di una teoria del tutto è una posizione che non trova un fondamento solido.

Un dibattito sull'autorità delle metavalutazioni

Come fanno notare Ritson e Camilleri, da parte di molti stringhisti si sta portando avanti un *boundary work* di secondo livello, un confronto non su cosa entri e cosa no nei confini della scienza ma a proposito di «who really has the epistemic authority to map science» (Gieryn 1999, p.28). Susskind a questo proposito è molto chiaro:

> Good scientific methodology is not an abstract set of rules dictated by philosophers. It is conditioned by, and determined by, the science itself and the scientists who create the science. What may have constituted scientific proof for a particle physicist of the 1960's namely the detection of an isolated particle - is inappropriate for a modern quark physicist who can never hope to remove and isolate a quark. Let's not pull the cart before the horse. Science is the horse which pulls philosophy. (Susskind in Ritson e Camilleri 2015, p.209)

La posizione è chiara, gli stringhisti attraverso il loro lavoro fanno la scienza e ne ripensano al tempo stesso le regole. Questa idea si ricollega a quanto già detto precedentemente, e cioè che la tendenza a squalificare i critici che non lavorano direttamente sulla teoria non si basa su ciò che dicono ma su un *scientific expert principle*:

> given a well established scientific field, one would expect that non-experts base their opinion about the status of theories in that field largely on the assessments of those who know the theories best. (Dawid 2009, p.990)

Questa posizione inasprisce il dibattito tra le parti, non fornisce elementi sul merito

della teoria e per quanto lo *scientific expert principle* sia un principio valido in questo caso almeno sembra essere male orientato. Essere la massima autorità sulla teoria delle stringhe non implica esserlo anche sulla valutazione delle alternative, sui principi che regolano l'operato scientifico e sulle priorità amministrative delle grandi università americane. Inoltre tentare di evitare il disaccordo delegittimando gli avversari è una pratica pericolosa: è un tentativo di creare un accordo fittizio basato sull'esclusione di alcuni argomenti dal campo del dibattito. L'accordo è certamente un obiettivo plausibile ma sapendo che la comunità scientifica è permeabile a irrazionalità e motivazioni personali bisognerebbe essere prudenti sul modo in cui questo viene ottenuto. «Per questo motivo Feyerabend sosteneva fortemente che gli scienziati non dovrebbero mai essere d'accordo, a meno di non essere obbligati. Quando gli scienziati raggiungono un accordo troppo presto, prima di essere costretti dalle prove, la scienza è in pericolo» (Smolin 2006, p.303).

Da speculazione a teoria corroborata

Speculare all'interno della scienza è lecito, ma, sostiene Achinstein in un intervento all'interno di un workshop del *Munich Center for Mathematical Philosophy* intitolato "Why trust a Theory? Reconsidering Scientific Methodology in Light of Modern Physics", non è lecito credere nelle speculazioni. Achinstein prende ad esempio Maxwell, che ha applicato le teorie meccaniche dell'astronomia ai gas. Maxwell ha assunto che i gas potessero essere composti da molecole sferiche che si muovono a velocità uniforme con collisioni perfettamente elastiche e non ha offerto spiegazioni sul perché, tranne il desiderio di tentare di applicare le teorie meccaniche anche ai gas, visti i successi ottenuti nell'astronomia. Maxwell sviluppò la sua teoria dei gas facendosi unicamente guidare dai successi di un'altra teoria in un altro campo, e in seguito osservando i risultati dell'applicazione. (Achinstein 2015). Achinstein ci mette in guardia sulle speculazioni: possono essere formulate solo utilizzando alcuni criteri – come nel caso di Maxwell, per esempio, applicare una soluzione di successo in altri campi e osservare cosa accade. È lecito quindi ragionare per generalizzazione o per analogia ma nessuna di queste ragioni può essere di per sè considerata una conferma o una prova. È necessaria una dimostrazione empirica in grado di aumentare le probabilità che la speculazione sia vera. Questo modo di procedere, concluderà Achinstein, ci suggerisce solo buone ragioni per condurre una buona

ricerca, o per continuarla, ma in nessun caso potranno essere considerate prove della correttezza della teoria su cui si ricerca (Achinstein 2015).

Ciò che è accaduto nel dibattito sulla teoria delle stringhe ha fatto sì che venisse ritenuta molto probabilmente vera dai suoi sostenitori che, per trattarla come tale, sono costretti a mutare le regole della conferma empirica. Accettando che la teoria fosse puramente speculativa non sarebbero venute meno le buone ragioni per ritenerla interessante e dunque lavorarci, ma per qualche motivo, forse per l'incontenibile speranza di trovarsi a pochi passi da una rivoluzione storica o l'eccessiva fiducia riposta in figure di spicco come Witten hanno spinto gli stringhisti a considerare la teoria come vera, avviando un conflitto su cosa può e cosa non può essere considerata scienza. In realtà la teoria era già parte della scienza ma non abbastanza da soddisfare chi su di essa era pronto a costruire ulteriori speculazioni e descrizioni dell'universo.

Conclusione

Questo lavoro ha proposto una ricostruzione di un dibattito ampio e complesso che richiede un breve riassunto per punti e alcune conclusioni finali sui risultati raggiunti.

La teoria delle stringhe risulta in grave difficoltà una volta confrontata con i principali criteri di accettabilità proposti all'interno della filosofia della scienza:

- Nonostante la teoria faccia delle previsioni nessuna di queste è controllabile, rendendo la teoria di fatto non falsificabile.
- La teoria non è stata in grado di dimostrare un valore tale da rivoluzionare il mondo della fisica teorica prendendo il posto del precedente paradigma. Invece, è rimasta bloccata nella fase rivoluzionaria senza sviluppare mai la capacità di risolvere rompicapo necessaria per il passaggio a scienza normale.
- Le modifiche che la teoria ha subito dopo la formulazione sono risultate *ad hoc*, necessarie per non incorrere nella falsificazione ma incapaci di produrre nuovo sapere corroborato.
- Le doti di coerenza, eleganza e bellezza della teoria non sono in grado di sopperire alla mancanza di corrispondenza con i fatti. Inoltre la sua bellezza ed eleganza sono solamente apparenti: sotto la superficie dell'idea semplice si cela una grande complicatezza.
- L'inosservabilità delle stringhe è più radicale di quella con cui la scienza è abituata a trattare attraverso metodi indiretti, e le dimensioni extra e la supersimmetria, anche se dimostrate, non basterebbero a corroborare le stringhe.

Dal punto di vista del dibattito scientifico la teoria delle superstringhe evidenzia una serie di atteggiamenti e scelte proprie della comunità scientifica di riferimento:

- I suoi sostenitori hanno rinunciato al valore del disaccordo preferendo considerare la teoria più come un dogma e come conseguenza il dibattito si è spostato nella direzione dell'autorità dei sostenitori invece che sui meriti e demeriti delle stringhe.

- L'essere l'unica alternativa disponibile, tradotta in una sorta di monopolizzazione di un vasto ambito della ricerca da parte di coloro che si occupano di stringhe, non può essere l'aspetto determinante a suo favore.
- L'allentamento delle regole di accettabilità, che la teoria delle stringhe sottende laddove si presenta come se fossero una teoria corroborata, apre le porte a speculazioni incontrollate e pericolose (come, per esempio, il principio antropico).
- L'universo descritto a partire dalle stringhe arriva al grande pubblico, complici la fama e il fascino della teoria, presentando speculazioni ambiziose come se fossero la reale descrizione dell'universo, mettendo così a rischio la credibilità dell'impresa scientifica.
- Essere una possibile teoria del tutto non è un valore che possa essere speso per chiedere un trattamento diverso da quello concesso al resto della scienza, in quanto non esiste nessun motivo valido per credere che una teoria del tutto possa esistere.

La teoria delle superstringhe ha però alcune innegabili caratteristiche positive che devono essere prese in considerazione:

- La teoria nasce da osservazioni con obiettivi differenti da quello di produrre una teoria del tutto e si sviluppa per similitudine tra le particelle descritte da Veneziano e le stringhe vibranti.
- Ha prodotto numerosi risultati che possono essere considerati altrettante ragioni per continuare a lavorare su di essa: è una speculazione interessante capace di identificare un quadro consistente per la supersimmetria, la radiazione dei buchi neri e l'esistenza della gravità.

Nessuna di queste ragioni è però sufficiente a trasformare il suo stato da speculazione a teoria corroborata. Il tentativo operato in ambiente stringhista di includere la teoria delle stringhe nel campo delle teorie corroborate ha prodotto storture fondamentali nel dibattito scientifico che riguarda la teoria. La controversia è così feroce proprio a causa della strada che si è cercato di far prendere alla teoria, seguendo il convincimento che sia il contesto tradizionale di scienza a non essere adeguato per valutare la scientificità della teoria. Per farla rientrare nel contesto della

scienza è dunque necessario, si sostiene, mutare i criteri di valutazione obsoleti e inadeguati. In caso contrario si dovrebbe rinunciare ad una teoria incredibilmente promettente.

In realtà, come detto più volte nel corso di questo lavoro, si tratta di una falsa assunzione. Nella scienza non è necessario abbandonare una speculazione interessante solamente perché è una speculazione. Come sostenuto da Achinstein, non bisogna chiedersi perché credere ad una teoria. È meglio domandarsi perché una teoria è interessante e meritevole di essere perseguita, senza tentare di creare nuove regole di conferma non empirica (Achinstein 2015). Tentare di accreditarsi come più che semplice speculazione ha trasportato il dibattito sulle stringhe su tematiche radicali che ben poco hanno a che fare con la valutazione dei meriti e dei risultati della teoria.

I motivi che hanno portato a questo tentativo di mutare la caratterizzazione della teoria delle superstringhe meriterebbero indagini ulteriori e più approfondite, ma già dall'analisi qui presentata del processo di formulazione e sviluppo della teoria appare evidente l'importanza che hanno giocato alcuni fattori. Il forte desiderio di essere parte di una nuova rivoluzione scientifica e l'estrema fiducia in scienziati di primo piano come Witten sono due dei motivi per cui probabilmente la teoria è stata considerata così speciale – motivi che hanno contagiato anche le istituzioni scientifiche e accademiche che, sulla scia dell'entusiasmo, hanno drasticamente favorito una ricerca all'apparenza fortemente promettente a scapito di altre. Questo ha portato la teoria ad essere ancora più centrale nel dibattito, ancora più radicata nelle accademie e dunque ancora più unica nel suo genere. Quando Leonard Susskind si chiede se è davvero possibile che tutte le migliori università degli Stati Uniti si siano sbagliate (Susskind 2006 in Ritson e Camilleri 2015, p. 220) fa un'osservazione importante. Le università sono formate da persone e il caso delle stringhe ha evidenziato come personali inclinazioni non spariscano nel momento in cui si devono prendere "oggettive" decisioni su come incrementare la ricerca. La richiesta di favorire il disaccordo fatta da Feyerabend e quella di saper rischiare aprendo a teorie e ricerche poco probabili avanzata in spirito popperiano da Smolin, andrebbero prese in considerazione come prassi da seguire, piuttosto che come appelli alla personale sensibilità dei singoli.

Un commento finale riprende la domanda di fondo che ha motivato la presente analisi della teoria delle stringhe, ovvero come demarcare scienza e pseudoscienza. Nel corso di questa trattazione si è potuto osservare come anche le più radicali critiche

spesso sono state smorzate in favore della cautela e come, allo stesso modo, ogni criterio di demarcazione adottato lasciava aperto uno spiraglio di dubbio o un appello alla eccezionalità della teoria.

Affermare che la teoria delle stringhe non è falsificabile comporta una serie di domande specifiche. In primo luogo, bisogna ritenere che l'impossibilità di verifica a causa di limitazioni strumentali sia imputabile alla teoria, e, che le prospettive di un miglioramento delle condizioni strumentali in futuro siano così remote da poter essere escluse? Oppure, utilizzando i criteri proposti da Kuhn e da Lakatos, pur muovendo valutazioni negative sulla teoria, ci troviamo invece nella condizione di non poter giungere ad una definitiva eliminazione della stessa? Tutte le caratteristiche pregevoli della teoria delle stringhe impongono di tenerla "in vita" almeno come speculazione interessante, utilizzando come criterio di demarcazione l'opinione della comunità scientifica.

Se così fosse, e in secondo luogo, la teoria delle superstringhe è parte della scienza almeno in una particolare dimensione, ovvero quella speculativa, che ha criteri meno rigorosi di quelli osservati fino ad ora ma non per questo è meno affollata? Woit ci dice che le speculazioni sono «proprio il genere di cose in cui gli scienziati spendono molto del loro tempo» (Woit 2006, p.214).

In terzo luogo, i criteri valutativi a nostra disposizione si mostrano legati all'ambito di applicazione e non sono mai definitivi: «*tutte le metodologie, anche le più ovvie, hanno i loro limiti*» (Feyerabend 1975, p.29). Smantellare i criteri, anche solo come eccezione, finisce col minare la possibilità di dibattito e confronto, esponendo l'intero ambiente scientifico al rischio di perdere rigore e credibilità? Utilizzare tali criteri in modo solo contestuale fa emergere forzature che mal si adattano al procedere scientifico, assecondando invece scelte arbitrarie guidate esclusivamente da inclinazioni personali?

Rifarsi a criteri valutativi aiuta sicuramente a focalizzare l'attenzione sul contesto, sulle dinamiche del confronto e sulla possibilità di far rientrare l'oggetto di valutazione nell'ambito della scienza, specificandone le caratteristiche ed evidenziandone le problematiche. La scienza è in grado di accogliere più di quanto una demarcazione fondata su criteri immutabili e acontestuali potrebbe consentire, dando spazio alle prassi di volta in volta più adeguate a gestire la mole di problemi che emergono nelle diverse situazioni.

Il modo in cui i problemi scientifici vengono affrontati e risolti dipende dalle circostanze in cui tali problemi sorgono, dai mezzi (formali, sperimentali, ideologici) disponibili e dai desideri di coloro che li affrontano. Non vi sono immutabili condizioni al contorno della ricerca scientifica. (Feyerabend 1987, p.316)

Bibliografia

Achinstein, Peter (2014). What is a Theory of Everything and Why Should We Want One? Conferenza: Rotman Institute of Philosophy. 14 Novembre 2014. http://www.rotman.uwo.ca/event/peter-achinstein-theory-everything-want-one/ (10 Gennaio 2018).

Achinstein, Peter (2015). Scientfic Speculation. Conferenza: MCMP Workshop - Why trust a Theory? Reconsidering Scientific Methodology in Light of Modern Physics. 7 Dicembre 2015. https://videoonline.edu.lmu.de/en/node/7482 (11 Gennaio 2018).

Baggott, Jim (2014). *Farewell to Reality*. New York: Pegasus Books LLC.

Cartwright, Nancy e Frigg, Roman (2007). String Theory under Scrutiny, in *Physics World* 03 Settembre 2007, pp. 14-15, http://physicsworld.com/cws/article/print/2007/sep/03/string-theory-under-scrutiny (20 Settembre 2017).

Dawid, Richard (2009). On the Conflicting Assessments of the Current Status of String Theory; in *Philosophy of Science* vol. 76, no. 5, 2009, pp. 984–996. *JSTOR*, JSTOR, www.jstor.org/stable/10.1086/605794 (10 Ottobre 2017).

Dawid, Richard (2013). *String Theory and the Scientific Method*. Cambridge: Cambridge University Press.

Feyerabend, Paul K. (1987). *Farewell to Reason*; trad. it. *Addio alla ragione*. Roma: Armando, 2004.

Feyerabend, Paul k. (1975). *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*; trad. it. *Contro il metodo: Abbozzo di una teoria anarchica della conoscenza*. Milano: Giangiacomo Feltrinelli editore, quarta ed. 2008.

Gieryn, Thomas F. (1999). *Cultural Boundaries of Science: Credibility on the Line*. Chicago: The University of Chicago Press.

Greene, Brian (1999). *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory*; trad. it. *L'universo elegante: Superstringhe, dimensioni nascoste e la ricerca della teoria ultima*. Torino: Giulio Einaudi editore s.pa. 2000.

Kuhn, Thomas S. (1957). *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*; trad. it. *La rivoluzione copernicana: L'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale*. Torino: Giulio Einaudi editore s.p.a. 1972.

Kuhn, Thomas S. (1977). *The Essential Tension*; trad. it. *La tensione essenziale: Cambiamenti e continuità nella scienza*. Torino: Giulio Einaudi editore s.p.a. 1985.

Kuhn, Thomas S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*; trad. it. *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*. Torino: Giulio Einaudi editore s.p.a. quarta ed. 1999.

Lakatos, Imre (1978). *The methodology of scientific research programmes*. Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge, quarta ed. 1989.

Laudan, Larry (1977). *Progress and its Problems: Towards a Theory of Scientific Growth*; trad. it. *Il progresso scientifico: Prospettive per una teoria*. Roma: Armando, 1979.

Popper, Karl (1959). *The Logic of Scientific Discovery*; trad. it. *Logica della scoperta scientifica*. Torino: Giulio Einaudi editore s.p.a. terza ed. 1998.

Ritson, Sophie e Camilleri, Kristian (2015). Contested Boundaries:The String Theory Debates and Ideologies of Science, in *Perspectives on Science*, vol. 23, no. 2, 2015, pp. 192-227. https://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/POSC_a_00168 (15 Settembre 2017).

Smolin, Lee (2006). *The trouble with Physics*; trad. it. *L'universo senza stringhe*. Torino: Giulio Einaudi editore s.p.a. 2007.

Woit, Peter (2006). *Not Even Wrong: The Failure of String Theory and the Continuing Challenge to Unify the Laws of Physics*; trad. it. *Neanche sbagliata: Il fallimento della teoria delle stringhe e la corsa all'unificazione delle leggi della fisica*. Torino: Codice edizioni, 2007.