

## Scorrendo all'indietro la Storia

Stephen Hawking

Mi piaceva la storia a scuola. Tutti quei regni e imperi, che nascevano e cadevano, l'uno dopo l'altro, mi affascinarono. In Europa, l'impero romano è sorto ed è caduto. È seguita l'età oscura, il periodo medievale, il Rinascimento, la rivoluzione industriale, e i tempi moderni. In poco più di 2000 anni, in meno di un milionesimo dell'età dell'universo, si è sviluppata la maggior parte della nostra moderna scienza e tecnologia.

Noi pensiamo alla storia come un avanzamento continuo nel tempo. Un evento ne causa un altro e così via. A volte la connessione di causa non è ovvia, ma segue il principio del determinismo scientifico, formulato dallo scienziato francese De Laplace, all'inizio del diciannovesimo secolo. Conoscendo lo stato dell'universo in un certo istante, le leggi della scienza predicono univocamente la sua evoluzione futura. Si racconta che Napoleone chiese a Laplace come si collocasse Dio in questa cornice. Egli replicò: Sire, non ho avuto bisogno di questa ipotesi.

Il determinismo scientifico lavora anche all'indietro. Noto lo stato dell'universo in un certo istante, c'è un'unica storia precedente che lo genera. Allora perché non raccontiamo la storia all'indietro? Perché di solito non abbiamo una conoscenza completa dello stato di un sistema, e ci è più facile predire la sua evoluzione futura anziché la sua storia passata.

Consideriamo, per esempio, un puzzle in una scatola: Supponiamo che il puzzle sia in uno stato ordinato con tutti i pezzi incastrati insieme. Se si agita la scatola, il puzzle probabilmente arriverà ad uno stato disordinato, in cui il disegno è spezzato e scomposto. Tuttavia, poiché il disegno è in uno stato scomposto, sarà molto difficile determinare quale storia precedente lo ha allontanato dallo stato ordinato. Fare questo richiederebbe un'esatta conoscenza dello stato disordinato e tutti i movimenti della scatola durante lo scuotimento. Questa è una conseguenza della seconda legge della termodinamica.

Essa è la forma precisa della legge di Murphy: le cose tendono sempre al peggio.

La seconda legge dice che un sistema evolverà verso uno stato sempre più disordinato. La ragione è semplice: ci sono più stati disordinati che ordinati. Nel caso del puzzle c'è un solo stato totalmente ordinato in cui i pezzi si incastrano tutti insieme. C'è un certo numero di stati in cui gruppi di pezzi si incastrano insieme e un grandissimo numero di stati in cui il disegno è completamente spezzato e scomposto. Se il puzzle è in uno stato parzialmente ordinato, scuotendo la scatola è probabile che esso passi a uno dei tanti stati disordinati, piuttosto che a uno dei relativamente pochi stati più ordinati. In altre parole, se si scuote la scatola, è più probabile scomporre ulteriormente il disegno. Le possibilità che il disegno si ricomponga da solo sono molto piccole!

La seconda legge della termodinamica è valida perché, come spiegherò dopo, l'universo è iniziato in uno stato ordinato. A causa della seconda legge noi pensiamo che il tempo si muova in avanti.

Il tempo è un fiume che scorre sempre, che porta via tutti i nostri sogni.

Questo è come dire che essa è la ragione per cui ricordiamo il passato ma non il futuro. Non sappiamo veramente come funziona il cervello umano. Io trovo quello delle donne particolarmente misterioso. Ma è ragionevole presumere che gli umani ricordino nella stessa direzione del tempo, come fanno i computer. Se i computer operassero in maniera diversa dal cervello umano, ci si potrebbe fare una fortuna con la borsa, con un computer in grado di dirci i prezzi di domani! Noi comprendiamo come lavorano i computer, diversamente dagli umani, e si può dimostrare che quando un computer registra una cosa nella sua memoria, la quantità totale di disordine aumenta. Così i computer e gli umani ricordano il passato ma non il futuro.

A causa della seconda legge, noi di solito raccontiamo la storia in avanti. Diciamo che gli eventi posteriori sono causati dagli eventi precedenti, e non che gli eventi precedenti sono accaduti in modo tale da produrre i successivi. Questo approccio dal basso verso l'alto - come lo chiamo io - lavora bene in situazioni in cui possiamo scegliere lo stato iniziale, e osservarne i risultati. Non sappiamo quale fosse lo stato iniziale dell'universo, e certamente non possiamo tentare stati iniziali diversi per vedere che tipo di universo si produrrebbe.

La ragione per cui non conosciamo lo stato iniziale dell'universo è quella che Roger Penrose e io abbiamo dimostrato, in accordo con la teoria della relatività generale: l'universo sarebbe iniziato con un Big Bang. Uno stato dell'universo in cui i campi gravitazionali erano così forti da far terminare lo spazio-tempo e rendere non valida la teoria della relatività generale. Per questo la relatività generale non può predire come inizia l'universo.

La ragione per la quale la relatività generale crolla durante il Big Bang, è che non tiene in conto la teoria quantistica, la teoria del molto piccolo. Essa è dominante quando l'universo è molto piccolo, poco dopo il Big Bang. Per comprendere l'origine dell'universo dobbiamo combinare insieme la teoria della relatività generale e la teoria quantistica. Il miglior

modo di far questo è usare l'idea di una somma sulle storie dell'universo, formulata da un certo fisico statunitense, occasionale suonatore di bongos, detto Richard Feynman.

In questo modo l'universo non ha una sola, singola storia, come pensiamo normalmente. Invece esso possiede tutte le storie possibili, ciascuna con una diversa ampiezza di probabilità. Ci sarà una storia in cui la Luna è fatta di formaggio verde, sebbene la sua probabilità sia bassa.

La somma tra le varie storie è generalmente pensata in un contesto dal basso verso l'alto: noto lo stato dell'universo in un certo istante, si può calcolare la probabilità che esso sia in uno stato differente in un istante successivo. Si sommano le probabilità di tutte le possibili storie che iniziano con lo stesso stato iniziale e finiscono con lo stato finale in questione. Di solito, c'è n'è una con una probabilità maggiore delle altre. Essa viene chiamata la Storia dell'Universo.

Come possiamo usare la somma di tutte le storie, per studiare l'origine dell'universo?

Noi non conosciamo lo stadio iniziale dell'universo. Il lavoro di Penrose e mio indica che esso viene determinato dalla teoria quantistica, e che non può essersi verificato più di 14 miliardi di anni fa. Nel 1983, Jim Hartle e io abbiamo ipotizzato una condizione iniziale per l'universo. Secondo questa ipotesi, l'universo dovrebbe apparire spontaneamente dal nulla, come bolle di vapore che appaiono spontaneamente nell'acqua bollente.

Come le bolle, l'universo iniziale si espanderà rapidamente. Questa condizione iniziale per l'universo è chiamata *l'ipotesi senza condizioni al contorno*, perché richiede che l'universo sia creato spontaneamente dal nulla, ma in accordo alle leggi della scienza. Si può allora calcolare la probabilità di stati diversi all'epoca attuale sommando le probabilità di tutte le storie che iniziano con una bolla e finiscono con lo stato in questione.

Se si accetta *l'ipotesi senza condizioni*, come origine naturale dello stato quantistico dell'universo, si arriva a visioni profondamente diverse della storia, e delle relazioni tra causa ed effetto. Non si dovrebbe seguire la storia dell'universo dal basso verso l'alto, perché questo assume che esista una sola storia, con un ben definito punto di partenza e di evoluzione. Invece, si dovrebbero tracciare le storie dall'alto verso il basso, in altre parole tracciarle all'indietro partendo dallo stato misurato nell'epoca attuale. Le storie che determinano lo stato finale non hanno un'esistenza indipendente, ma dipendono dalla probabilità che viene misurata. Noi creiamo la storia tramite le nostre osservazioni, anziché essere creati dalla storia.

Come esempio, consideriamo la dimensione apparente dell'universo. In accordo alla teoria-M, il nostro miglior candidato per la teoria fondamentale, lo spazio-tempo ha 10 dimensioni spaziali e una dimensione temporale. L'idea è che sette delle dimensioni spaziali siano arrotolate in maniera così piccola che non possiamo vederle, a parte le tre grandi dimensioni normali.

Ma perché esse non sono più grandi?

Perché ci sono così tante dimensioni curvate strettamente?

Ci sono buone ragioni per pensare che la vita sia possibile solo in tre dimensioni spaziali. Due dimensioni non sono sufficienti: un animale a due dimensioni con un canale di alimentazione si dividerebbe in due parti.

In quattro o più dimensioni le orbite planetarie e gli atomi non sarebbero stabili. Parecchie persone sono molto riluttanti a pensare al *principio antropico*, che stabilisce che il nostro universo è scelto tra tutti possibili universi solo perché ci sono degli esseri intelligenti che l'osservano. Essi vorrebbero piuttosto credere che ci sia qualche meccanismo che obblighi tutte le dimensioni - tranne quattro - a curvarsi spontaneamente. In alternativa, forse tutte le dimensioni sono iniziate piccole, ma per qualche ragione solo quattro di esse si sono espanse.

Mi dispiace deludere queste speranze, ma non credo che ci sia una ragione dinamica per cui l'universo appaia a quattro dimensioni. Invece *l'ipotesi senza condizioni* predice la probabilità quantistica per qualunque numero di grandi dimensioni spaziali, da 0 a 10. Ci sarà una probabilità di avere un universo con 10 grandi dimensioni spaziali. Tuttavia il valore di questa probabilità non ha significato perché noi non viviamo in 10 dimensioni.

Non ci chiediamo quali siano le probabilità delle varie dimensioni dell'universo. Finché l'ampiezza delle tre grandi dimensioni spaziali non è esattamente zero, non c'importa quanto piccola essa sia confrontata con le altre. ...

Viviamo in un universo che appare a quattro dimensioni, così siamo interessati solo alla probabilità di superfici che hanno solo tre grandi dimensioni. Questo può suonare come l'argomento del *principio antropico*: la ragione per cui osserviamo l'universo a quattro dimensioni è che la vita è possibile solo in esse.

Ma l'argomento qui è diverso, perché non dipende dal fatto che le quattro dimensioni siano la sola arena per la vita. Piuttosto, significa che la distribuzione di probabilità delle dimensioni è irrilevante, poiché abbiamo già verificato che siamo in quattro dimensioni.

Nella teoria-M le sette dimensioni extra sono arrotolate in un piccolo spazio interno. È la forma di questo spazio interno a determinare proprietà fisiche come la carica dell'elettrone e l'interazione tra particelle. È ben noto che la teoria-M ha molte soluzioni, che differiscono per i loro spazi interni. Se si costruisce la storia dell'universo dal basso verso l'alto, non c'è una ragione perché essa debba finire proprio con uno spazio interno che produce le interazioni tra particelle che osserviamo, secondo quello che chiamiamo il modello standard.

Ma se si cerca la probabilità di un particolare spazio interno, si è interessati solo a quelle storie che finiscono con questo spazio. Si devono perciò tracciare le storie dall'alto verso il basso, all'indietro partendo dallo stato finale.

Si può calcolare la probabilità che ci sia uno spazio interno come quello previsto dal modello standard, ma sulla base dell'*ipotesi senza condizioni*. Di nuovo, non importa quanto piccola sia questa probabilità rispetto alle altre. Sarebbe come chiedermi quale sia la probabilità che io sia cinese.

Io so di essere britannico, anche se la probabilità che io sia cinese è più alta perché ci sono più cinesi sulla terra. Allo stesso modo sappiamo che la teoria di bassa energia corrisponde al modello standard, pur pensando che altre teorie possano avere maggiori probabilità di esistere.

Il modello standard governa quasi ogni cosa di tutto ciò che noi proviamo, e tutta la Chimica e la Biologia. In particolare esso permette l'esistenza di lunghe catene di atomi di carbonio, che sono alla base della vita sulla terra. È possibile che uno spazio interno diverso permetterebbe una forma di vita completamente diversa. Tuttavia con la maggior parte degli spazi interni strutture così complicate non sarebbero stabili, e così la vita non sarebbe possibile.

Sebbene le ampiezze relative di stati completamente diversi non c'interessino, quelle di stati vicini sono importanti. L'*ipotesi senza condizioni* implica che la probabilità sia più alta per storie in cui l'universo inizi completamente uniforme. La probabilità è ridotta quanto più l'universo è irregolare. Questo significa che l'universo primordiale dovrebbe essere stato quasi uniforme, con piccole irregolarità. Possiamo osservare queste irregolarità come piccole variazioni nelle microonde che provengono da diverse direzioni del cielo.

Queste piccole variazioni sono state misurate dal satellite MAP e trovate in completo accordo con la teoria. Questo è stato un trionfo per quelli di noi che lo avevano predetto, anni prima che fosse rivelata qualsiasi variazione. Le piccole irregolarità nell'universo primordiale devono essere cresciute sotto l'influenza della gravità, e hanno prodotto la formazione delle galassie, delle stelle e infine dei cosiddetti esseri intelligenti come noi, che possiamo osservare l'universo e scegliere quelle storie che finiscono in uno stato in cui noi esistiamo. Che la probabilità di un tale stato non sia zero è una predizione dell'*ipotesi senza condizioni*.

Forse Hartle ed io avremmo dovuto brevettarla e far pagare a ciascuno dei diritti per la propria esistenza.

In conclusione, l'approccio dal basso verso l'alto alla cosmologia, in cui uno fa scorrere la storia dell'universo avanti nel tempo, sarebbe appropriato se si sapesse che l'universo doveva andare in una maniera particolare nel passato. Ma in assenza di una tale conoscenza, è meglio lavorare dall'alto verso il basso, ripercorrendo all'indietro dallo stato finale le storie che contribuiscono all'integrale di percorso. Questo significa che le storie dell'universo dipendono da cosa viene misurato, contrariamente alla solita idea che l'universo abbia una storia obiettiva indipendente da chi la osserva.

La somma di Feynman permette ogni storia possibile per l'universo, ma le osservazioni scelgono quella sottoclasse di storie in cui esiste la proprietà che viene osservata. Ci sono storie in cui l'universo collassa prima, o ha 11 dimensioni, ma esse non contribuiscono alla probabilità che misuriamo. Io chiamerei questo *principio di selezione* piuttosto che *principio antropico*, perché non dipende dalla vita intelligente. La vita può, dopo tutto, essere possibile in 11 dimensioni ma noi sappiamo di vivere in quattro di esse.

Cosa significa dire che l'universo può avere molte storie alternative?

Quale è la vera storia dell'universo?

Per rispondere a tali profonde questioni filosofiche io credo che si debba adottare l'approccio positivista di Carl Popper e altri. In questo una teoria è solo un modello matematico per descrivere le osservazioni. Essa non ha nessuna pretesa di realtà, qualunque questa possa essere. Due modelli molto diversi possono descrivere le stesse osservazioni.

Entrambe le teorie saranno ugualmente valide, e nessuno potrà dire che una sia più reale dell'altra. In accordo alla filosofia positivista, l'insieme di storie che portano a uno stato con un dato spazio interno definisce un modello matematico consistente. C'è un modello per ogni spazio interno e perciò un grandissimo numero di universi possibili.

I risultati sono deludenti per quelli che speravano che la teoria ultima potesse predire la fisica di tutti i giorni. Non possiamo predire caratteristiche discrete, come il numero di grandi dimensioni, o lo spazio interno che determina le quantità fisiche che noi osserviamo. Piuttosto, noi usiamo quelle per selezionare quali storie contribuiscono all'insieme. Sembra esserci un vasto panorama di possibili spazi interni. Noi viviamo nella regione antropicamente permessa, in cui la vita è possibile.

Anche se penso che avremmo potuto scegliere un posto migliore.

Grazie per avermi ascoltato.

---