

L'origine dell'Universo

Stephen W. Hawking

Secondo il popolo Boshongo dell'Africa Centrale, all'inizio c'era solo oscurità, acqua e il grande dio Bumba. Un giorno Bumba, afflitto da un mal di pancia, ha vomitato il sole. Il sole ha prosciugato l'acqua producendo la terra. Ancora dolente, Bumba ha vomitato la luna, le stelle e poi alcuni animali. Il leopardo, il cocodrillo, la tartaruga, e finalmente l'uomo. Questo mito della creazione, come molti altri, tenta di rispondere alla domanda che ci poniamo tutti:

- Perché siamo qui?

- Da dove veniamo?

La risposta data generalmente è che gli uomini sono di origine recente, perché è ovvio che gli esseri umani sono migliorati in conoscenza e tecnologia. Così non possiamo essere esistiti da molto tempo, se no saremmo progrediti di più.

Per esempio, secondo il vescovo Usher, il libro della Genesi piazza la creazione del mondo alle nove del mattino il 27 ottobre del 4004 a.C. D'altro canto, l'ambiente fisico, come le montagne e i fiumi, cambia molto poco nel tempo di una vita umana. Si pensava quindi che essi fossero uno sfondo costante, esistito da sempre come un paesaggio vuoto, oppure creato insieme agli esseri umani. Non tutti però erano contenti dell'idea che l'universo avesse avuto un inizio.

Per esempio Aristotele, il famoso filosofo greco, credeva che l'universo esistesse da sempre. Qualcosa di eterno è più perfetto che qualcosa di creato. Egli suggeriva la ragione per cui vediamo il progresso: le alluvioni o altri disastri naturali avrebbero ripetutamente portato indietro le civiltà alle loro origini. Il motivo di credere in un universo eterno era il desiderio di evitare di invocare l'intervento divino per la creazione e il funzionamento dell'universo.

Viceversa, quelli che credevano che l'universo avesse avuto un inizio lo usavano come un argomento per l'esistenza di Dio, causa prima e primo motore dell'universo. Se si crede che l'universo abbia un inizio, la domanda ovvia è: cos'è successo prima dell'inizio?

Cosa faceva Dio prima di fare il mondo?

Stava preparando l'inferno per la gente che si pone queste domande?

Il problema se - o no - l'universo avesse avuto un inizio preoccupava molto il filosofo tedesco Immanuel Kant. Egli sentiva che c'erano contraddizioni logiche, o *antimonie*, in entrambi i casi. Se l'universo ha avuto un inizio, perché ha aspettato un tempo infinito prima di iniziare? Egli chiamava questa la *tesi*.

D'altro canto, se l'universo è esistito da sempre, perché ha preso un tempo infinito per raggiungere lo stato attuale?

Egli chiamava questa l'*antitesi*.

Sia la tesi che l'antitesi dipendevano dall'assunzione di Kant che il tempo fosse assoluto.

Cioè, proviene da un passato infinito verso l'infinito futuro, indipendentemente da qualsiasi universo che possa o non possa esistere in questo scenario. Questa è ancora l'immagine nella mente di parecchi scienziati attuali. Tuttavia nel 1915 Einstein introdusse la sua rivoluzionaria Teoria Generale della Relatività. In essa, spazio e tempo non sono più assoluti né uno sfondo fisso per gli eventi. Invece essi sono quantità dinamiche modellate dalla materia e dall'energia nell'universo. Esse sono definite solo dentro l'universo, così non ha senso parlare di un tempo prima che l'universo inizi. Sarebbe come cercare un punto più a Sud del Polo Sud.

È indefinito.

Se l'universo è essenzialmente invariato nel tempo, come si assumeva generalmente prima del 1920, non ci sarebbe nessuna ragione perché il tempo non sia definito arbitrariamente all'indietro. Qualsiasi cosiddetto inizio dell'universo sarebbe artificiale, nel senso che si può immaginare la storia prima delle origini. L'universo potrebbe essere stato creato l'anno scorso ma tutte le memorie e le prove fisiche lo fanno sembrare molto più vecchio. Questo solleva profonde domande filosofiche sul significato dell'esistenza.

Io l'affronterò adottando quello che è chiamato *l'approccio positivista*, secondo cui noi interpretiamo l'*input* dei nostri sensi in termini di un nostro modello del mondo. Non ci chiediamo se il modello rappresenti la realtà, ma solo se funziona. Un modello è buono se per prima cosa interpreta un ampio intervallo di osservazioni in maniera semplice ed elegante, e se fa predizioni precise che possono essere provate e possibilmente contraddette dalle osservazioni.

Nell'ambito dell'approccio positivista si possono confrontare due modelli dell'universo: Uno in cui l'universo è stato creato l'anno scorso ed uno in cui l'universo esiste da molto più tempo. Il modello in cui l'universo esiste da più di un anno può spiegare cose come gemelli identici che hanno avuto un evento in comune più di un anno fa. D'altro canto il modello in cui l'universo è stato creato l'anno scorso non può spiegare tali eventi, quindi il primo modello è migliore. Non ci si chiede se l'universo sia esistito realmente prima di un anno fa, o se sembra solo che sia così.

Nell'approccio positivista, è indifferente.

In un universo che non cambia non ci sarebbe nessun punto di partenza naturale.

La situazione è cambiata radicalmente tuttavia quando Edwin Hubble ha iniziato a fare osservazioni col telescopio da 100 pollici di Monte Wilson nel 1920. Hubble ha trovato che le stelle non sono distribuite uniformemente nello spazio, ma sono raccolte in vasti insiemi chiamati galassie. Misurando la luce delle galassie Hubble poteva determinare la loro velocità. Ci si aspettava che altrettante galassie si muovessero verso di noi quante se ne allontanassero. Questo avverrebbe in un universo che non cambia col tempo. Ma con sua sorpresa egli trovò che quasi tutte le galassie si allontanano da noi. Inoltre quanto più le galassie appaiono lontane, tanto più esse si allontanano. L'universo non è invariato nel tempo, come tutti pensavano precedentemente, ma è in espansione. La distanza tra le galassie aumenta col tempo.

L'espansione dell'universo è stata una delle più importanti scoperte intellettuali del ventesimo secolo, o di ogni secolo. Essa ha trasformato il dibattito sull'inizio dell'universo: se le galassie oggi si allontanano, devono essere state più vicine in passato. Se la loro velocità fosse costante, esse dovevano essere l'una sull'altra circa 15 miliardi di anni fa.

Era questa l'origine dell'universo?

Parecchi scienziati erano ancora scontenti che l'universo avesse un inizio, poiché sembrava che la fisica dovesse crollare. Si doveva invocare una forza esterna, che per convenienza si può chiamare Dio, per determinare come è iniziato l'universo. Essi perciò avanzavano teorie in cui l'universo si espande all'epoca attuale ma non ha avuto un inizio. Tra queste, la Teoria dello Stato Stazionario proposta da Bondi, Gold e Hoyle nel 1948.

Nello stato stazionario, mentre le galassie si allontanano, se ne formano di nuove, da materia che si suppone essere creata continuamente nello spazio. L'universo sarebbe esistito per sempre e sarebbe apparso identico in qualsiasi epoca. Questa ultima proprietà ha la grande virtù, da un punto di vista positivista, di predire qualcosa che può essere messo alla prova dalle osservazioni.

Nei primi anni '60 il gruppo di radioastronomi di Cambridge diretto da Martin Ryle fece una ricerca di radiosorgenti deboli. Esse appaiono distribuite molto uniformemente nel cielo, indicando che la maggior parte di esse sono esterne alla nostra galassia. Le sorgenti più deboli dovrebbero essere in media le più lontane. La teoria dello stato stazionario prediceva il numero di sorgenti con diversa intensità. Ma le osservazioni mostravano più sorgenti deboli di quanto ci si aspettasse, indicando che la loro densità era più alta in passato. Questo era contrario all'assunzione di base della teoria dello stato stazionario, che ogni cosa fosse costante nel tempo.

Per questa e per altre ragioni questa teoria fu abbandonata.

Un altro tentativo di evitare che l'universo abbia un inizio era l'idea che ci fosse stata una precedente fase di contrazione, ma che a causa di rotazioni e irregolarità locali la materia non fosse caduta tutta nello stesso punto. Parti diverse della materia avrebbero mancato la collisione e l'universo si sarebbe espanso di nuovo, evitando uno stato di densità infinita.

Due russi, Lifshitz e Khalatnikov, ritenevano di aver provato che una contrazione generale senza simmetria esatta dovrebbe sempre produrre un rimbalzo, non raggiungendo mai una densità infinita. Questo risultato era molto conveniente per il materialismo dialettico marxista-leninista, perché evitava domande imbarazzanti sulla creazione dell'universo. Essa perciò diventò un articolo di fede per gli scienziati sovietici.

Quando Lifshitz e Khalatnikov pubblicarono la loro teoria, ero uno studente di 21 anni che cercava qualcuno per finire la tesi di dottorato. Io non credevo alle loro cosiddette prove e cominciai con Roger Penrose a sviluppare nuove tecniche matematiche per studiare la questione. Noi abbiamo dimostrato che l'universo non poteva rimbalzare.

Se la teoria generale della relatività di Einstein è corretta, si formerà una *singolarità*, un punto di densità e curvatura dello spazio-tempo infinite, dove il tempo ha avuto inizio.

L'evidenza osservativa per confermare l'idea che l'universo abbia avuto un inizio molto denso arrivò nell'ottobre 1965, pochi mesi dopo il mio primo risultato sulla singolarità, con la scoperta di un debole fondo di microonde che attraversa lo spazio. Queste microonde sono le stesse dei nostri forni a microonde, ma molto molto meno potenti. Esse cucinerebbero la tua pizza solo a -271.3 °C, insufficienti a scongelarla, immaginiamoci a cuocerla! Possiamo osservare queste microonde da soli: basta sintonizzare la tv su un canale vuoto. Una piccola percentuale della neve che si vede sullo schermo sarà causata da questo fondo di microonde. La sola ragionevole interpretazione del fondo è che la radiazione sia partita da uno stato molto caldo e molto denso. Man mano che l'universo si è espanso, la radiazione si deve essere raffreddata fino a diventare il debole residuo che osserviamo oggi.

Sebbene i teoremi della singolarità di Penrose e me predicessero che l'universo ha avuto un inizio, essi non ci dicevano come fosse iniziato. Le equazioni della relatività generale non funzionano alla singolarità. Allora la teoria di Einstein non può predire come l'universo inizia, ma solo come si evolve una volta iniziato.

Ci sono due modi di concepire il risultato di Penrose e mio: Una è che Dio sceglie come l'universo inizia, per ragioni che non possiamo comprendere. Questo era il punto di vista di Papa Wojtyła. ad una conferenza sulla cosmologia in Vaticano. Il Papa disse ai delegati che andava bene studiare l'universo dopo il suo inizio, ma che non bisognava porsi domande sul inizio stesso perché quello era il momento della creazione e il lavoro di Dio. Ero contento che egli non sapesse che avevo presentato un articolo alla conferenza, suggerendo come fosse iniziato l'universo. Non mi piaceva l'idea di finire sotto l'Inquisizione come Galileo.

L'altra interpretazione del nostro risultato che è favorita da molti scienziati, suggerisce che la teoria generale della relatività non è applicabile nel fortissimo campo gravitazionale dell'universo primordiale. Essa deve essere rimpiazzata da una teoria più completa. Questo

è comunque prevedibile, perché la relatività generale non tiene conto della struttura a piccola scala della materia, governata dalla teoria quantistica. Questo non ci importa normalmente, perché la scala dell'universo è enorme rispetto alle scale microscopiche della teoria quantistica.

Ma quando l'universo ha la dimensione di Planck, un milionesimo di un milionesimo di un milionesimo di cm, le due scale sono identiche e si deve tener conto della teoria quantistica. Per comprendere l'origine dell'universo dobbiamo combinare la teoria generale della relatività con la teoria quantistica. Il metodo migliore di far questo sembra essere l'idea di Feynman di una somma sulle storie dell'universo.

Richard Feynman era un tipo colorito, che suonava i tamburi bongos in una bettola di Pasadena, ed era un fisico brillante all'Istituto di Tecnologia della California. Egli propose che un sistema passa da uno stato A ad uno stato B percorrendo ogni possibile cammino della storia. Ogni cammino della storia ha una certa ampiezza di probabilità, e la probabilità del sistema di andare da A a B si ottiene sommando le ampiezze di ogni traiettoria. Ci sarà una storia in cui la luna è fatta di formaggio blu, ma la sua ampiezza è bassa, il che è una cattiva notizia per i topi.

La probabilità che esista uno stato dell'universo all'epoca attuale è ottenuta sommando le ampiezze di probabilità di tutte le storie che terminano con quello stato.

Ma come iniziano le storie?

Questa è la domanda delle origini in maniera diversa.

Serve un Creatore per decidere come inizia l'universo?

Oppure lo stato iniziale dell'universo è determinato dalle leggi della scienza?

In realtà, queste domande salterebbero fuori anche se le storie dell'universo iniziassero in un passato infinito, ma appaiono più pressanti se l'universo inizia solo 15 miliardi di anni fa.

Il problema di cosa è accaduto all'inizio del tempo è un po' come la domanda di cosa accadeva ai bordi del mondo, quando la gente pensava che il mondo fosse piatto.

Il mondo è una piastra piatta, con il mare che trabocca sul bordo?

Io l'ho messo alla prova sperimentalmente. Ho fatto il giro del mondo e non sono cascato giù. Come tutti sanno, il problema di cosa accade al bordo del mondo fu risolto quando si comprese che il mondo non è una lastra piatta ma una superficie curva. Il tempo tuttavia sembrava essere diverso. Sembrava separato dallo spazio ed essere come un modellino di ferrovia. Se essa ha un inizio deve esserci qualcuno che fa partire il treno.

La teoria generale della relatività di Einstein ha unificato tempo e spazio come spazio-tempo, ma il tempo era diverso dallo spazio, ed era come un corridoio che ha sia un inizio che una fine - o che è infinito. Tuttavia combinando la relatività generale con la teoria quantistica, Jim Hartle e io comprendemmo che il tempo poteva essere come un'altra direzione nello spazio sotto condizioni estreme. Questo significa che si può uscire dal problema che il tempo abbia un inizio, in maniera analoga a quella con cui ci siamo liberati dal bordo del mondo.

Supponiamo che l'inizio dell'universo sia come il Polo Sud sulla Terra, con i gradi di latitudine che giocano il ruolo del tempo. L'universo inizierebbe in un punto al Polo Sud.

Mentre ci si muove verso Nord, i cerchi di latitudine costante che rappresentano la dimensione dell'universo si espandono. Chiedersi cosa accade prima dell'inizio dell'universo diventa una questione senza senso, poiché non c'è niente a Sud del Polo sud. Il tempo, misurato in gradi di latitudine, dovrebbe iniziare al Polo sud ma il Polo sud è simile ad ogni altro punto. Almeno così mi è stato detto. Sono stato in Antartide ma non al Polo Sud.

Le stesse leggi della natura avvengono al Polo sud come in altri posti. Questo rimuoverebbe la vecchia obiezione, che l'universo abbia un inizio che sarebbe il posto in cui le leggi normali si interrompono. L'inizio dell'universo sarebbe invece governato dalle leggi della scienza.

Lo schema che Jim Hurtle e io abbiamo sviluppato, della creazione spontanea quantistica dell'universo, è simile alla formazione di bolle di vapore nell'acqua bollente. Le storie più probabili dell'universo sono come le superfici delle bolle. Parecchie bollicine apparirebbero e scomparirebbero, come mini-universi che si espandono e collassano immediatamente, mentre sono ancora microscopici. Essi sono possibili universi alternativi, ma non ci interessano molto perché non durano abbastanza da formare galassie, stelle e vita intelligente. Alcune bollicine tuttavia crescerebbero fino ad una grandezza tale da non collassare. Esse continuerebbero ad espandersi ad una velocità sempre maggiore e formerebbero le bolle che vediamo, che corrispondono agli universi in espansione perenne.

Questa è chiamata *inflazione*, come il meccanismo dei prezzi, che vanno sempre su. Il record dell'inflazione è stato toccato in Germania dopo la prima guerra mondiale. I prezzi salirono di un fattore di 10 milioni di volte in 18 mesi. Ma questo era nulla in confronto all'inflazione nell'universo primordiale: l'universo si è espanso di un fattore di milioni di trilioni di trilioni in una piccola frazione di secondo. Diversamente dall'inflazione dei prezzi, l'inflazione nell'universo primordiale era una cosa buona. Essa ha prodotto un universo grandissimo e uniforme come quello che osserviamo.

Tuttavia l'universo non sarebbe completamente uniforme. In questo caso, nella somma tra le storie, quelle che sono lievemente irregolari avrebbero una probabilità pari a quelle completamente uniformi. La teoria perciò predice che l'universo primordiale probabilmente fosse lievemente non uniforme. Queste irregolarità produrrebbero piccole variazioni nell'intensità del fondo a microonde che proviene da diverse direzioni del cielo.

Il fondo a microonde è stato osservato dal satellite MAP, ed è stato trovato lievemente irregolare come predetto. Così sappiamo di essere sulla strada giusta.

Le irregolarità nell'universo primordiale rappresentano regioni che sono lievemente più dense di altre. L'attrazione dovuta a questa densità supplementare rallenterà l'espansione della regione e infine produrrà un collasso della zona, per formare galassie e stelle. Guardate bene la mappa del cielo a microonde: È il marchio di tutte le strutture dell'universo. Noi siamo il prodotto di fluttuazioni casuali quantistiche dell'universo primordiale.

Davvero Dio gioca a dadi.

Abbiamo fatto un tremendo progresso in cosmologia negli ultimi cento anni. La teoria generale della relatività, e la scoperta dell'espansione dell'universo, hanno frantumato la vecchia idea di un universo esistito da sempre e che esisterà per sempre. Invece la relatività generale ha predetto che l'universo e il tempo stesso inizino nel Big Bang. Ha anche predetto che il tempo sarebbe finito nei buchi neri. La scoperta del fondo cosmico a microonde e le osservazioni dei buchi neri sostengono queste conclusioni. È un cambiamento profondo della nostra immagine dell'universo e della stessa realtà.

Sebbene la teoria della relatività generale predicesse che l'universo deve essere venuto da un periodo di grande curvatura nel passato, non poteva predire come l'universo sia emerso dal Big Bang. Allora la relatività generale da sola non può rispondere alla domanda centrale nella cosmologia: perché l'universo è fatto così?

Tuttavia se la relatività generale è combinata con la teoria quantistica potrebbe essere possibile predire come sia nato l'universo. Esso si sarebbe inizialmente espanso a velocità sempre crescente.

Durante questo cosiddetto periodo inflazionario, il matrimonio delle due teorie predice che si siano sviluppate piccole fluttuazioni che hanno prodotto la formazione di galassie, di stelle e di tutte le altre strutture cosmiche. Questo è confermato da osservazioni di piccole disomogeneità nel fondo cosmico a microonde che hanno esattamente le proprietà predette.

Apparentemente, siamo sulla strada di comprendere l'origine dell'universo, sebbene ci voglia ancora molto più lavoro.

Una nuova finestra sul primissimo universo sarà aperta quando scopriremo onde gravitazionali misurando accuratamente la distanza tra sonde spaziali. Le onde gravitazionali si propagano liberamente verso di noi dalle origini, non ostacolate da nessun materiale interposto. Al contrario, la luce è diffusa moltissimo dagli elettroni. La diffusione continua finché gli elettroni si raffreddano, dopo 300000 anni.

Sebbene abbiamo avuto alcuni grandi successi non tutto è risolto. Non abbiamo ancora una buona comprensione teorica del fatto osservato che l'espansione dell'universo stia accelerando di nuovo, dopo un lungo periodo di rallentamento. Senza una tale comprensione, non siamo sicuri del futuro dell'universo.

Continuerà ad espandersi per sempre?

L'inflazione è una legge della natura?

Oppure l'universo collasserà di nuovo?

Stanno arrivando velocemente nuovi risultati osservativi e teorici. La cosmologia è un argomento molto eccitante e attivo.

Siamo vicini a rispondere alle antiche domande:

Perché siamo qui, e da dove proveniamo?

Grazie per avermi ascoltato.