



Francesca Vidotto

vidotto@cpt.univ-mrs.fr

Gravità quantistica a loop e cosmologia

Che cos'è lo spazio? quali sono le sue proprietà? L'umanità si pone questa domanda fin dall'antichità. È un'entità continua o discreta? È un'entità rigida e assoluta o dinamica e relazionale? La fisica dell'ultimo secolo, che ha visto nascere la meccanica quantistica e la relatività di Einstein, ci indica delle risposte che sembrano contraddire alcune delle idee che ci insegnano a scuola, ma che ci avvicinano alle intuizioni dei filosofi antichi.

Oggi la migliore teoria scientifica a disposizione, confermata da esperimenti ed osservazioni, che descrive le proprietà dello spazio, è la Relatività Generale di Einstein. La scoperta della Relatività Generale è che lo spazio non è un palcoscenico immobile in cui i fenomeni fisici elettromagnetici e nucleari avvengono. Tali fenomeni sono descritti da campi di forza, oggetti dinamici dai quali scaturiscono tutte le interazioni che osserviamo in natura. Einstein capisce che anche lo spazio è un campo di forza, il campo della forza gravitazionale, e come tale evolve, si curva, interagisce.

Ma negli stessi anni si andava capendo che tutti i campi hanno proprietà quantistiche, ovvero sono soggetti al principio di indeterminazione e hanno una natura intrinsecamente discreta. Quando queste proprietà si attribuiscono allo spazio stesso, cosa succede?

In meccanica quantistica esiste un limite nella precisione con cui possiamo determinare una posizione: non è un nostro errore, è la teoria stessa che non lo permette. Per poter dire che una particella si trova all'interno di una certa regione di spazio, la particella deve possedere una certa energia. Per poter dire che si trova in una regione più piccola, abbiamo bisogno che essa abbia un'energia più grande. Ma non possiamo confinare la particella in una regione sempre più

piccola, aumentando all'infinito la sua energia: la teoria generale della relatività ci dice che c'è un limite all'energia che possiamo concentrare in una data regione di spazio, oltre il quale si verifica la formazione di un buco nero. In questo caso, la particella si nasconderebbe all'interno del buco nero e non potremmo dire nulla di più sulla sua posizione. Esiste quindi una scala oltre la quale non possiamo andare: questa si chiama la scala di Planck.

È alla scala di Planck che si manifesta la quantizzazione del campo gravitazionale: lo spazio è fatto di atomi di spazio. Ognuno di questi atomi di spazio conserva delle proprietà che conosciamo dello spazio su distanze spaziali: una di queste è l'invarianza di Lorentz. Questa ci dice che la fisica non dipende da come orientiamo ogni atomo di spazio. Quello che conta è solo quanto questo è grande (in quale livello energetico si trova) e quali atomi di spazio gli stanno vicino. In gravità quantistica la configurazione di questi atomi di spazio si chiama "rete di spin": lo spin è il numero quantistico che ci dice il volume di ogni atomo di spazio e quanto questo interagisce con gli atomi vicini, la rete ci dice come questi atomi di spazio sono connessi tra loro.

Una rete di spin può essere usata per descrivere cosa succede nell'infinitamente piccolo alla scala di Planck, ma anche per descrivere l'infinitamente grande: addirittura può descrivere l'intero universo. La cosmologia è la scienza che studia l'universo: questo non vuol dire descriverne ogni dettaglio, significa al contrario fare un'approssimazione per capire come si comporta l'universo del suo insieme. Pensiamo ad un palloncino pieno di gas: se per esempio variamo la temperatura, possiamo descrivere come cambia il moto molecole del gas, oppure possiamo descrivere cosa succede globalmente dando il valore del raggio del palloncino. In modo analogo, possiamo dare una buona descrizione dell'evoluzione dell'universo dicendo come cambia il suo raggio.

Il modello standard dell'universo, per il quale l'universo attuale proviene da un universo caldo e denso, è diventata familiare. Se andiamo indietro nella storia dell'universo, troviamo tutta la materia che osserviamo oggi nell'universo condensata in una regione piccolissima. Possiamo addirittura dire che tutta la materia si trovava in un punto? Abbiamo tutti sentito parlare del big bang, il punto in cui all'inizio tutto sarebbe stato concentrato. I fisici si sono trovati in passato in difficoltà di fronte al big bang, perchè le equazioni della relatività generale con cui descriviamo l'universo, perdono di senso quando si arriva al punto detto "big

bang”. Questo è il modo in cui la teoria ci avverte che ci siamo dimenticati di includere qualcosa nelle nostre equazioni. Di cosa si tratta?

Ad alte energie, non possiamo trascurare gli effetti della meccanica quantistica. In particolare, non possiamo trascurare il fatto che lo spazio è fatto di atomi di spazio: non esistono punti nello stato quantistico, non esiste nulla al di sotto del volumetto minimo associato a una atomo di spazio. Possiamo immaginare di condensare tutta la materia dell'universo in una regione molto piccola, ma non in un punto. La natura quantistica dello spazio ci porta una sorpresa: andando indietro nella storia dell'universo, condensando tutta la materia in una regione sempre più piccola, ad certo punto sembrerebbe che la natura quantistica dello spazio faccia sì che la materia, invece che attirarsi gravitazionalmente, si respinga, così che il big bang non può avere luogo. Se il big bang non c'è, è lecito chiederci cosa sia successo nell'universo prima. L'immagine che ne deriva è quella di un palloncino che si sgonfia e poi si rigonfia, senza però mai scomparire. Allo stesso modo, la trama dell'universo si contrae e si espande, ma senza mai dissolversi completamente. Il passaggio tra una fase e l'altra, tra contrazione ed espansione, non è più un evento singolare, ma un rimbalzo. Certo si tratta comunque di un evento in cui l'universo presenta caratteristiche piuttosto estreme (delle energie che faticiamo a raffigurarci) quindi parliamo di un *grande* rimbalzo!

Quali fossero le proprietà dell'universo al momento di questo grande rimbalzo diventa ora un problema difficile ma accessibile, a patto di tenere debitamente in conto la natura quantistica dello spazio. Possiamo allora usare le reti di spin per descrivere l'universo, e possiamo costruire delle “storie quantistiche” di come queste reti di spin evolvono. L'evoluzione di questo universo quantistico viene descritta da un oggetto dal nome evocativo di “schiuma di spin”. Le equazioni che regolano le reti di spin e le schiume di spin ci possono fornire un indizio importante sull'origine di tutte le strutture che osserviamo nell'universo: stelle, galassie, ammassi di galassie... All'oggi siamo in grado di ricostruire, con mastodontiche simulazioni al computer, la nascita di tutte queste strutture a partire da piccole increspature nella trama di uno spazio continuo. La missione di una cosmologia di schiuma di spin vorrebbe essere di spiegare tali “increspature” a partire dagli atomi di spazio.