Ti con zero
scienza&arte, economia&politica&socie
recensioni di saggi, di letteratura, racconti,

PierLuigi Albini

243. Recensioni di saggi
Quanti di spazio*

Jim Baggott

Quanti di spazio
La gravità quantistica a loop e la ricerca della struttura dello spazio, del tempo e dell'universo

Adelphi
2022
pp. 442

Il libro è indubbiamente voluminoso, ma se si è interessati a sapere a che punto sono le ricerche di fisica teorica sugli argomenti del sottotitolo, che comprendono anche la meccanica quantistica; se si è curiosi di conoscere come sono nate e si sono sviluppate le due teorie più diffuse sulla struttura dell'universo: la gravità quantistica a *loop* e quella delle stringhe e del multiverso; se si vogliono conoscere le vicende personali e scientifiche e le ricerche in collaborazione dei due massimi esponenti della gravità quantistica, tra loro amici, Lee Smolin e Carlo Rovelli[1]; se si è desiderosi di capire come nascono e procedono le elaborazioni delle teorie fisiche, ma non ancora sottoposte a evidenza sperimentale; se si è interessati a comprendere come avvengono nella fisica teorica gli intrecci tra intuizione, creatività e rigore matematico; se si ha una immagine approssimativa o distorta della scienza e non si capisce che essa non persegue la *verità* ma l'attendibilità in vari gradi e che "più impariamo, meno sembriamo capire"; e, infine, se si vuole avere una introduzione all'unica metafisica possibile, quella su basi scientifiche... Ebbene, questo è non solo un libro da leggere ma su cui riflettere; un libro certo non facile ma godibile con un certo impegno. Senza esagerare, si tratta di un testo dalla cui lettura si esce con idee e anche con interrogativi diversi da quelli con cui il non specialista aveva iniziato a leggerlo. Oltre tutto, l'autore ha scritto il libro in costante dialogo con Smolin e Rovelli.

Già all'inizio Baggott[2] ci avverte che le teorie fisiche più accreditate, quelle relative alla gravità quantistica e quella della meccanica quantistica "pur rappresentando traguardi intellettuali grandiosi e di enorme successo, […] sono però crivellati di buchi". Questo è un tema su cui anche Rovelli insiste spesso affermando che se la gravità quantistica a *loop* è ancora affetta da problemi da risolvere, la stessa cosa vale per la meccanica quantistica, nonostante sia di applicazione corrente.

Il punto di partenza è la non concordanza tra le due massime teorie nate nel Novecento: la relatività di Einstein e la meccanica quantistica. Il fatto è che la relatività toglie di mezzo lo spazio-tempo assoluti (per cui il campo gravitazionale è lo stesso spazio-tempo e non la concezione della

[1] Di Rovelli vedi recensioni precedenti su Ticonzero e Lupo della steppa: *Che cos'è il tempo? Che cos'è lo spazio?*; *Che cos'è la scienza*; *Sette brevi lezioni di fisica*; *Helgoland*. Di Smolin vedi: *L'universo senza stringhe* e *La rivoluzione incompiuta di Einstein* [letti, ma non recensiti su Ticonzero]

[2] Jim Baggott è un PhD in fisica chimica presso l'Università di Oxford nonché autore di numerosi libri di divulgazione scientifica

gravità newtoniana); inoltre lo spazio-tempo è assiomaticamente continuo. Nella meccanica quantistica le interazioni avvengono proprio nello spazio-tempo che è però discreto, anche se passivo, nel senso che è divisibile, ma non sotto la lunghezza ($1{,}6\times10^{-35}$ m) e sotto il tempo di Planck ($5{,}4\times10^{-44}$ s). Lo spaziotempo della quantistica ci consente di calcolare le coordinate spaziali e temporali delle particelle.

La relatività è valida nel macrocosmo mentre la meccanica quantistica è valida nel microcosmo.

Le due fisiche teoriche maggiormente diffuse, la gravità a *loop* (acronimo: LQG, *Loop Quantum Gravity*) e la teoria delle stringhe – avvertendo che deve esserci una realtà più profonda - cercano di trovare la soluzione di questa aporia tra le due massime teorie fisiche del Novecento. Del resto, anche i modelli cosmologici più adottati, come il Big Bang, sono pieni di lacune. In sostanza, "serve una teoria quantistica della gravità". Baggott propende per la teoria di Smolin-Rovelli (ma ci sono anche altri scienziati che hanno dato contributi importanti sull'argomento) piuttosto che per quella delle stringhe. Di quest'ultima, delle sue varianti e versioni analizza storie e problemi - come anche delle altre, del resto – per concludere sulla sua inattendibilità per le complicazioni che presenta. La versione iniziale della teoria "richiedeva ben 26 dimensioni, poi ridotte a 11 di cui 10 spaziali e una temporale" e il suo sviluppo successivo ha dato luogo a impressionanti ramificazioni, sempre più complesse, anche con l'introduzione di *variabili nascoste* per risolvere le equazioni o con la proposta della cosiddetta "teoria M", che è una congettura e non una teoria: infatti, "nessuno sa come sia fatta". Inoltre, la teoria delle stringhe presuppone l'esistenza di una particella chiamata *gravitone*, responsabile della trasmissione della forza di gravità. Ora, come si sa, le onde gravitazionali sono state rilevate più volte (ancora un successo di Einstein) e in futuro le sperimentazioni saranno sempre più raffinate, ma per osservare il singolo gravitone – è stato calcolato – "l'apparato sperimentale dovrebbe operare con un'irrealistica efficienza del 100 per cento, avere le dimensioni di Giove", nonché altre impossibili prescrizioni, come la necessità di isolare l'apparato dal rumore di fondo dei neutrini, che "dovrebbe essere protetto con uno schermo di diversi anni luce". Inoltre, la teoria della relatività non "interpreta la gravità come una forza, bensì come una conseguenza della distorsione della geometria spaziotemporale (il campo gravitazionale) dovuta alla presenza di massa-energia"; mentre la teoria delle stringhe presuppone che la forza sia trasmessa dal campo prodotto dal gravitone. La teoria delle stringhe ha però l'ambizione di avere una portata generale e onnicomprensiva.

Nel libro di Baggott c'è la storia del successo presso i fisici – in particolare quelli sperimentali, perché ragionano *per particelle*, il gravitone, appunto - della teoria delle stringhe che è anche una specie di osservatorio su come funzionano le carriere accademiche e il consolidamento di una scuola nel mondo scientifico. Dopodiché, se la teoria prescelta si dimostra troppo problematica, ci saranno numerosi ricercatori che resisteranno ad abbandonare l'impegno di una intera vita e a cambiare argomento. In particolare, è stato proprio Lee Smolin che, per un certo periodo di tempo, ha cercato di collegare le due teorie come se fossero due facce della stessa soluzione, ma senza successo (vedi il suo libro in nota 1).

Baggott dedica molte pagine alla meccanica quantistica ai problemi che pone; una scelta necessaria proprio perché la teoria di Smolin e Rovelli tenta di portarla nel *cuore* dell'universo. Di qui il titolo del libro. La teoria è basata su una tecnica matematica che semplifica la relatività generale e la fa "somigliare a una teoria di campo quantistica", ma non ha ancora basi sperimentali.[3]

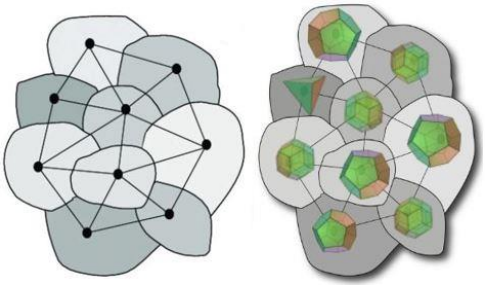
Semplificando molto: non esisterebbe uno spazio continuo. Lo spazio, come osserva spesso Rovelli, è *granulare*, cioè discreto. Qui c'è la critica forse più serrata alle posizioni di Einstein Riprendendo le elaborazioni di Roger Penrose e di altri sulla cosiddetta *schiuma di spin*[4], la teoria ritiene lo spazio formato da tasselli interconnessi, cioè quanti di spazio o anelli concatenati che

[3] Tutte e due le teorie (stringhe e loop), d'altra parte, si riferiscono a dimensioni troppo piccole e a energie troppo elevate per poter fare esperimenti allo stato attuale

[4] Sulla Rete di spin o schiuma di spin, vedi Wikipedia e spin sulla Treccani

formano appunto una rete di *spin* la cui dimensione non può essere inferiore alla scala di Planck. [5] "Lo spazio e la geometria convenzionali *emergono* come insieme di relazioni tra grandi reti di spin". Di questi anelli (*loop*) sono calcolabili sia il volume (il numero dei quanti di volume situati nei nodi) sia l'area. I grani di spazio sarebbero così piccoli che in un protone ce ne starebbero circa 10^{65}.

Di base, esisterebbe solo spazio quindi, ma dalle intersezioni - detti *nodi* - dei quark (quanti) di spazio emerge il tempo, come fenomeno secondario ossia come un insieme di eventi *congelati*, statici/senza tempo, ma la cui sequenza appare come dinamica. Un po' come, osservo, i fotogrammi di un film che, fatti scorrere in successione, diventano dinamici, ossia *si rivestono di tempo*. Secondo la teoria, quindi, è il cambiamento del numero dei nodi e dei collegamenti che fa scattare il tempo. Graficamente, la rete di spin può essere rappresentata come nella figura accanto.



Ogni punto o solido è un quanto di spazio, ogni linea è la relazione tra i quanti del campo gravitazionale

La cosa interessante della teoria è che quelle interconnessioni della rete di spin – prima dell'avvento del tempo - possono accadere tra punti anche molto distanti; la qualcosa potrebbe forse spiegare uno degli ancora non risolti misteri della meccanica quantistica ossia l'*entanglement* o intreccio. Quest'ultimo fenomeno non è riducibile alla fisica classica perché, a livello micro, dato un sistema - anche tra due sole particelle - l'intervento su una di esse ha un effetto immediato anche sull'altra, non importa a quale distanza siano. Si tratta di un effetto verificato sperimentalmente che sollevò critiche severe da parte di Einstein - mentre era ancora solo una teoria - senza che riuscisse a venirne a capo. Il fatto è che questo fenomeno implica delle correlazioni a distanza più veloci della luce (istantanee), almeno sotto il profilo della comunicazione alla velocità massima possibile, ossia un carattere *non locale* della realtà fisica a livello micro. In breve, secondo l'originaria elaborazione di Smolin/Rovelli, non ci sarebbe alcun superamento della velocità della luce nell'*entanglement*, velocità che è espressa in termini di spazio/tempo (circa 300.000 km/s), perché il tempo non c'è ancora ovvero non è una variabile osservabile. L'*entanglement* altro non sarebbe che il riflesso di ciò che avviene a livello *primario* nella schiuma di spin. Baggott ne conclude che "siamo stati tutto il tempo a grattarci la testa chiedendoci come hanno fatto le particelle a comunicare *attraverso* lo spazio-tempo a velocità maggiori della luce, quando in realtà sono sempre rimaste in contatto *al di sotto* dello spazio-tempo", cioè non osservabile. Più avanti, vedremo che Rovelli propone una diversa interpretazione della meccanica quantistica a differenza di Smolin; nel senso che Rovelli – scrive l'autore: "Ha messo insieme una struttura logica che, a suo parere, dimostra la completezza della teoria dei quanti. Non c'è altro da aggiungere. A dover cambiare è il nostro modo di interpretare ciò che la teoria dice".

Tornando allo spazio discreto della gravità quantistica a *loop*, ciò significa anche che "la nostra esperienza di uno spazio continuo, nel quale i corpi si muovono in modo continuo e uniforme, è un'illusione del nostro mondo classico e macroscopico". E qui l'autore fa una analogia con un lenzuolo liscio e continuo al tatto, che è un'illusione derivante dalla stretta trama del tessuto: "il lenzuolo non esiste negli spazi tra i fili".

In sintesi, la differenza tra la teoria della gravità quantistica a loop e l'attuale modello standard che descrive tre delle quattro interazioni fondamentali note (ambedue sono delle teorie dei campi), è che la prima ha una dimensione alla scala di Planck, mentre la seconda è di 17 ordini di grandezza superiori.

Una delle conseguenze della teoria LQG riguarda il cosiddetto Big Bang, ossia l'origine esplosiva dell'universo, che è largamente accettata, sebbene sia "afflitta da un gran numero di difficoltà" – scrive l'autore. Per esempio, rimane l'enigma della materia oscura, "la quale è un ingrediente essenziale del modello cosmologico del big bang, ma è completamente assente nel

[5] Il suo valore equivale a un centomiliardesimo di miliardesimo del diametro di un protone, ossia un 16 preceduto da 35 zeri.

modello standard delle particelle elementari". La LQG non nega un'esplosione iniziale, ma la interpreta come un *rimbalzo* (Big Bounce), ossia che ad un certo punto della massima espansione dell'universo la forza di gravità comincia a farlo contrarre fino a ridurlo a una cosiddetta *singolarità* che, alla scala di Planck, esplode di nuovo generando un nuovo universo. Ci sono degli interrogativi, ovviamente, su questa dinamica, ma ciò significa che l'attuale universo sarebbe generato da un universo precedente e così via rimbalzando: per l'eternità, si suppone. In questa interpretazione viene in soccorso la teoria del rimbalzo da buchi neri a buchi bianchi ipotizzata da Rovelli. Si tratta di un tema talmente affascinante da suscitare infinite discussioni riguardanti anche, ovviamente, le credenze religiose. Di recente, per esempio, sulla pagina social di Rovelli, rispondendo a una lettrice che in sostanza protestava contro la teoria del Big Bounce perché non supporrebbe l'esistenza di un Dio creatore, il fisico rispondeva che alcuni non possono essere "così insicuri della propria religione che devono nascondere la propria insicurezza dietro la scienza" e che "la maggior parte dei colleghi che frequento, quelli che studiano il Big Bang, ritengono plausibile che il Big Bang non sia stato un inizio, ma solo un grande rimbalzo. Ma c'è di più: la totalità degli scienziati seri che conosco, compresi quelli cristiani, ritengano che il problema non abbia nulla a che vedere con l'esistenza o meno di un Dio creatore". Osserva Baggott, per concludere l'ampia disamina che compie sull'argomento dell'origine dell'universo ", sotto molti punti di vista quello proposto dalla LQG è un universo *molto più elegante* di quello del modello standard del Big Bang (ma anche di quello della teoria delle stringhe)".

Per avviarci alla conclusione di questa pressoché impossibile recensione, data la vastità delle nozioni e delle riflessioni contenuto nel libro – per cui si parla qui solo di alcuni argomenti, tralasciando parti pur essenziali -, vediamo infine alcune delle evoluzioni teoriche differenziate tra Smolin e Rovelli, di cui si parla nel testo. I due amici continuano a collaborare ma i loro interessi stanno divergendo, pur sempre all'interno della LQG. "Ci sono due argomenti sui quali sono in profondo disaccordo: il secondo è *la natura del tempo* […] il primo è l'*interpretazione della meccanica quantistica".* Ad un certo punto della loro storia scientifica (nel 2014), Smolin ha infatti espresso un'idea rovesciata rispetto all'impianto canonico della teoria, basata sullo spazio: "e se il tempo fosse reale?" – si è chiesto. Un tentativo compiuto assieme ad altri che produsse, tra l'altro, il libro di successo *La rinascita del tempo*. Secondo Rovelli, invece, "il tempo non è la mappa della realtà: è una forma di stoccaggio della memoria".[6] Inoltre, Smolin, seguendo le orme di Einstein, ritiene incompleta la meccanica quantistica (a differenza di Rovelli, come si vedrà dopo).

Un'idea, secondo me molto interessante, avanzata da Smolin è stata quella della *selezione naturale cosmologica*. Al di là dei dettagli, "proprio come l'evoluzione della vita sulla Terra è governata dai processi della mutazione genetica casuale e della selezione naturale, così nel tempo l'universo tende a una struttura che si auto-replica, massimizzando il numero dei buchi neri" – scrive Baggott. Sarebbero proprio i buchi neri a fungere "da semi per la creazione di nuove regioni di spazio-tempo o nuovi universi".[7] L'ipotesi di Smolin si basa su uno scenario "in cui le interazioni [*iniziali*] sono abbastanza "a tentoni" con un vasto spettro di esiti"; così si stabiliscono delle relazioni e delle interazioni che si consolidano. "La natura impara sul campo": cioè, sarebbero gli esiti "delle relazioni passate ad essere selezionati nelle interazioni future". Si tratta del *principio di precedenza* ripreso dal sistema giudiziario anglosassone; ma mi sembra che la supposta casualità iniziale sia in contrasto con l'affermazione che qualsiasi universo si evolve "verso una struttura favorevole alla vita, il che elimina la necessità di ricorrere la principio antropico", che è assunto da una delle versioni della teoria delle stringhe riguardanti l'esistenza del multiverso.[8] Però si afferma anche che, quanti che siano gli universi esistenti, tutti hanno una genealogia comune.

Infine, per quanto riguarda Rovelli e la sua *interpretazione relazionale* della meccanica quantistica, a differenza di quanto ritiene Smolin, la teoria non è affatto incompleta; va solo

---

[6] In Carlo Rovelli, *Buchi Bianchi*, Adelphi, 2023

[7] Questa idea di una sorta di legge universale evoluzionistica, qui accennata, può essere completata dalla lettura del libro di Pier Paolo Di Fiore, *La vita inevitabile*, Codice edizioni, di prossima recensione su Ticonzero. Sulla questione dei buchi neri/buchi bianchi, è ovviamente da segnalare ancora il recente libro di Rovelli, *Buchi bianchi*

[8] Si veda L. Susskind, *Il paesaggio cosmico. Dalla teoria delle stringhe al megaverso*, Adelphi, 2007

interpretata in modo diverso da quanto usualmente si fa. C'è da ricordare che fu Roger Penrose ad affermare che "ogni cosa deve essere espressa in termini di *relazioni* tra oggetti, e non tra un oggetto e uno spazio di fondo", avendone formulato l'idea nel 1971; nello stesso testo si espone la teoria delle *reti di spin*. [9] Rovelli ha commentato, a proposito di fenomeni quantistici – compreso l'esperimento mentale del famoso gatto di Schrödinger – che "la realtà è definita solo nel contesto dell'interazione tra il sistema e *il dispositivo che compie l'osservazione*",[10] cioè dal collasso provocato dall'osservatore sulla funzione d'onda che rappresenta un multiverso di probabilità (ma per Rovelli non esiste alcun collasso effettivo). Cioè quello di cui si sta parlando "non è niente di più che la *relazione* tra un sistema quantistico e lo strumento che usiamo per predisporlo, e la successiva relazione tra il sistema predisposto e l'apparato di misura". La conseguenza è che è sbagliato pensare che la funzione d'onda sia *reale* "nel senso che rappresenta le proprietà fisiche del sistema.[11] Essa è solo un modo per "*codificare* il risultato delle interazioni precedenti con il sistema". La conseguenza, a proposito del dilemma del gatto di Schrödinger, è che "non abbiamo fatto altro che prendere l'informazione codificata nella funzione d'onda al momento del sistema quantistico originale". Cioè, il gatto era morto **o** vivo fin dall'inizio, non morto/vivo finché la scatola in cui era rinchiuso non era stata aperta.

Insomma, per Rovelli, la realtà è il risultato dell'interazione tra un sistema e il dispositivo che "compie l'osservazione". E se si tratta solo di informazioni codificate, allora "spariscono le inquietanti azioni a distanza (*entanglement*) a livello dell'osservazione. La realtà è un tessuto di relazioni e sono queste che noi rileviamo attraverso gli apparati strumentali.

Da notare – osserva Baggott – che quella di Rovelli, nonostante possa essere fraintesa, è "un'interpretazione saldamente empirista". Tanto da insistere, molto più di Smolin (forse risentendo di più della tradizione scientifica italiana), sulla necessità di ideare verifiche sperimentali nuove della teoria. Rovelli nega il realismo della funzione d'onda ma non è anti-realista nel senso che nega l'esistenza della realtà in sé. Egli è un realista che "crede in una realtà indipendente in linea di principio da qualunque interazione fisica, e che non ci sia nulla di speciale nell'interazione che crea *conoscenza*". Riemergono su queste posizioni due questioni; la prima è una forma di neo-kantismo di Rovelli, assimilabile all'affermazione della differenza tra *noumeno* e *fenomeno*; la seconda, non trattata nel testo – se non nell'accenno alla non-specialità della conoscenza - è la questione dello statuto del nostro cervello/mente come strumento interpretativo, poiché è fatto della stessa materia dell'universo. Cioè, al netto delle differenze nel passaggio tra un livello emergente e il successivo delle strutture fisico-chimiche-biologiche, è l'universo che pensa se stesso. Anche in questo caso, torna un approccio evoluzionistico. Penso che siano qui i germi di una visione unitaria del mondo.

Sostiene Baggott: "Sono più di venticinque anni che rifletto e scrivo sulla meccanica quantistica, e posso assicurare che l'interpretazione relazionale è la formulazione più chiara che io abbia mai incontrato della posizione originale di Copenaghen".[12]

In conclusione, di cosa sarebbe fatto il mondo? Di campi quantistici. Afferma Rovelli che, con l'esplosione dell'universo 13,8 miliardi di anni fa (Big Bang o Big Bounce che siano) "si entra nel reame della gravità quantistica".

*Ringrazio Mario Agostinelli per le sue osservazioni

27 aprile 2023

Codice ISSN 2420-8442

[9] Si veda Roger Penrose, *La strada che porta alla realtà. Le leggi fondamentali dell'universo*, Rizzoli, 2005

[10] Ricordo che il dilemma riguarda un gatto chiuso in una scatola; non possiamo sapere se è vivo o morto se non aprendo la scatola, il che equivale al collasso della funzione d'onda.

[11] La funzione d'onda descrive la probabilità che una particella possa essere osservata in un punto dello spazio; nel momento in cui avviene l'osservazione la funzione d'onda *collassa*.

[12] Per l'interpretazione di Copenaghen, si veda su Wikipedia