

The background of the book cover features a blue grid of lines that curves and converges towards the center, creating a sense of depth and perspective. Interspersed within this grid are various colored geometric shapes, including yellow, red, and green rectangles and triangles, some of which are slightly offset or overlapping, giving the overall design a dynamic and abstract feel.

Damiano Anselmi

Dalla fisica alla vita



Viaggio nell'infinitamente
piccolo e ritorno

Damiano Anselmi

**Dalla Fisica
Alla Vita**

**Viaggio nell'infinitamente
piccolo e ritorno**

Copyright © 2019 Damiano
Anselmi

Tutti i diritti riservati

ISBN: 9781689871877

DEDICA

Alla libertà,

Alla vita

Sommario

La fisica e gli effetti speciali

Dal grande al piccolo: la meccanica
quantistica

La vita è libertà. E la libertà è vita

Cosa siamo? Vita naturale e vita

artificiale

Il nostro futuro, il nostro destino

Dal piccolo all'infinitamente piccolo: la gravità quantistica

Nel cuore dell'universo, dove tutto perde senso, ma continua a reggere il mondo

Alla scoperta del senso nascosto dell'universo

Le corrispondenze tra il grande e il piccolo

I nostri limiti

Lo spettro dell'involuzione

Le scoperte della fisica dell'ultimo secolo forniscono risposte alle domande più profonde che possiamo porci

(chi siamo, da dove veniamo, qual è il senso della vita, qual è l'origine del mondo, qual è il significato del tutto?). Presentando i principi chiave della meccanica quantistica sotto una luce nuova e combinandoli con idee molto recenti sulla gravità quantistica, possiamo capire cosa la natura sta cercando di dirci sulla vita e sul significato dell'universo.

1

La fisica e gli effetti speciali

La fisica viene spesso impiegata dai divulgatori scientifici per stupire, incantare, affascinare il lettore, usando tutta una serie di “effetti speciali”. Quante volte avete sentito parlare del misterioso buco nero, in cui tutto può cadere, ma da dove nulla può uscire, tanto che non esce nemmeno la luce? Per non parlare del big bang e dell’immensità del cosmo, le distanze astronomiche, la varietà delle galassie, che ci fanno riflettere sulla nostra

solitudine nell'universo e ci danno un senso di piccolezza ed impotenza. E naturalmente i misteri legati alla nozione del tempo, per cui osservando una galassia lontana la vediamo nel passato, perché la luce che oggi ci arriva da là è necessariamente partita molti anni fa. Si tratta di argomenti molto interessanti. Tuttavia, rispetto a quello di cui parleremo qui sono poco più che curiosità, perché ciò di cui ci occuperemo non è curioso, affascinante, inaspettato: è sconvolgente. Per questo ci dobbiamo mentalmente preparare.

Lo spazio, il tempo: pensavamo fossero assoluti e invece sono relativi. Pensavamo che fossero

separati, invece sono collegati tra loro nella nozione di spaziotempo. Pensavamo di aver capito, con un certo grado di precisione, la realtà che ci circonda, o un suo sottoinsieme, ma poi abbiamo scoperto che le cose sono diverse da come ce le eravamo immaginate. In molti casi, questi progressi, o aggiornamenti, della nostra conoscenza sono molto interessanti, ma non sconvolgenti. Molti libri dedicati alla divulgazione scientifica trattano aspetti accattivanti delle scoperte fatte in fisica, ma evitano con una certa cura, se così possiamo dire, di scendere in profondità, di affrontare quello che può veramente sconvolgerci, quello che può cambiare per sempre la maniera con cui

pensiamo noi stessi e il mondo.

In questo libro non vi incanterò cogli effetti speciali, ma mi accontenterò di sconvolgere il vostro pensiero rispondendo a una serie di domande ricorrenti. Chi siamo? Da dove veniamo? Come siamo fatti? Dove andiamo? Abbiamo un ruolo nell'universo? Una missione, magari? Cos'è la realtà che ci circonda? Cos'è l'essere? Cos'è l'universo stesso? Cos'ha da dire, in proposito, la fisica? Immagino che molti lettori attendano con curiosità, e da molto tempo, di conoscere le risposte a queste domande, per cui è ormai giunto il momento di rivelarle.

Molti di noi, probabilmente,

usavamo guardare, da piccoli, i programmi tv di divulgazione scientifica. In molti paesi del mondo questo tipo di programmi trattano argomenti affascinanti, specialmente quando riguardano le scoperte della fisica. Ma scommetto che quando si cimentano nell'impresa di spiegare agli spettatori le basi della meccanica quantistica, non risultano tanto facili da capire. A prima vista, la meccanica quantistica non è un argomento che lasci molto spazio all'immaginazione. Forse non è in grado di attrarre l'attenzione del lettore, o spettatore, quanto ciò che riguarda il cosmo, le galassie, la relatività, il big bang. Effettivamente, può sembrare a molti un argomento

prettamente tecnico e arido, per non dire noioso. La verità è l'esatto opposto, e sono sicuro che dopo aver terminato la lettura di questo libro concorderete con me.

I divulgatori scientifici si trovano ad affrontare un compito arduo, quando devono occuparsi della meccanica quantistica. Normalmente preferiscono concentrare la loro attenzione su aspetti importanti, ma marginali, invece che occuparsi dei concetti fondamentali e le idee più problematiche.

Ci sono varie ragioni che possono spiegare questa specie di imbarazzo al cospetto della meccanica quantistica. La più importante è che gli stessi fisici si sono mostrati recalcitranti, a dir poco,

di fronte ad essa. Per tantissimo tempo, molti di loro si sono rifiutati di accettarne il messaggio, per quanto sconvolgente, e procedere da quello elaborandolo ulteriormente. Di rimando, questo ha rallentato il processo di divulgazione e ridotto lo sforzo che avrebbe potuto permettere al grande pubblico di apprezzarne i concetti fondamentali in termini semplici.

Alcuni fisici, tra cui Einstein, non si sono mai voluti arrendere alla rivoluzione epocale e totalizzante dovuta alla meccanica quantistica. Non hanno mai voluto considerarla una teoria definitiva, proprio perché il messaggio che emergeva da essa era per loro inaccettabile. Infatti, demoliva

tutte le certezze che avevano dato per scontate fino ad allora. Spesso, l'essere umano preferisce continuare lungo la strada tracciata dalle sue credenze, dalle certezze di cui è convinto e a cui si è ormai “affezionato”, piuttosto che rimettere tutto in discussione per capire meglio quello che sta di fronte ai suoi occhi.

Ecco, se vogliamo, questa è la chiave di tutto: riuscire a vedere ciò che sta di fronte ai nostri occhi.

In questo libro faremo un viaggio “verticale”. Scenderemo nelle profondità dell'universo, per capire chi siamo, da dove veniamo, e che tipo di relazione c'è tra noi e il resto del reale. Riusciremo a capire perfino qual

è il nostro scopo nell'universo, la ragione per cui esistiamo. Infatti, nell'ultimo secolo la fisica ha fatto dei passi da gigante, ed è in grado di rispondere alla maggior parte delle nostre domande. Anche se ultimamente, a dire il vero, è piombata, come forse tutta la scienza, in una crisi epocale. Vedremo il perché anche di questo.

Divideremo il viaggio in due parti. Prima scenderemo dalle nostre scale di grandezza, che possiamo quantificare in termini di metri, o centimetri, fino alle scale atomiche, dove regna la meccanica quantistica. In un centimetro, mettendoli in fila, stanno circa cento milioni di atomi, quindi faremo il nostro primo, e unico, pit-stop a un

cento milionesimo di centimetro. Sono distanze piccole? Potevano essere considerate piccole all'inizio del ventesimo secolo, ma oggi non lo sono più così tanto. Ormai abbiamo una certa familiarità con i fenomeni che avvengono a quelle scale di grandezza. Ci fermeremo laggiù per parecchio tempo, perché le implicazioni di ciò che troveremo sono scon■volgenti.

Nella seconda parte del viaggio, invece, scenderemo dalle scale atomiche fino a scale un miliardo di miliardi di volte più piccole, dove conosceremo la gravità quantistica. Sembra strabiliante che siamo in grado di compiere un balzo così grande in un

colpo solo, ma è esattamente così, per ragioni che analizzeremo in dettaglio. Impareremo un sacco di cose nuove, soprattutto in relazione a ciò che ha senso e ciò che non ha senso, ciò che ha un senso fondamentale nella natura, e ciò che può avere al massimo un senso approssimato, buono per capirsi nella vita di tutti i giorni, ma limitato e fallace tutte le volte che desideriamo porci domande fondamentali su noi stessi e la natura.

Ma, soprattutto, il viaggio che ci apprestiamo a fare è un viaggio con ritorno. Anzi, il ritorno sarà la parte più importante, perché ci rivelerà cosa siamo, da dove veniamo e dove andiamo.

Invero, possiamo capire molte cose riguardo a noi stessi e l'universo se cerchiamo di abbracciare la natura nella sua totalità, grazie alla conoscenza che la scienza ha accumulato nel corso della storia. Quando ci spostiamo orizzontalmente, per esempio da un pianeta a un altro, non troviamo grandi cambiamenti, se per un momento mettiamo da parte il fatto che sulla terra c'è la vita e sugli altri pianeti no (capiremo poi il senso di questa differenza). Viaggiando da Marte a Venere, da Giove a Saturno, troviamo pianeti gassosi o solidi, senza atmosfera o pieni di acidi. Possiamo spostarci da stelle medie come il nostro sole a stelle più piccole o stelle più grandi,

per poi raggiungere le supernove, le nane bianche, fino ai buchi neri. Possiamo immaginare di viaggiare da una galassia all'altra. Ciascuna avrà la sua forma e la sua storia. Incontreremmo una grande varietà di opzioni, configurazioni e situazioni diverse, dovute alle circostanze più svariate. Si tratta di una varietà che potremmo chiamare orizzontale. Molto interessante, forse affascinante, ma non sconvolgente.

Invece, se viaggiamo verticalmente, nel senso delle scale di grandezza relative, troviamo dei cambiamenti veramente sconvolgenti. Impareremo a conoscerli, e ci diventeranno familiari, più familiari di

quanto possiamo immaginare. Al punto che, una volta emerse le naturali conclusioni a cui ci porteranno, ci dovremo chiedere: “ma come abbiamo fatto a non pensarci prima?” Ciò che il nostro viaggio ci insegnerà è sempre stato davanti ai nostri occhi, e siamo stati solo noi a non volerlo vedere.

Questo tipo di viaggio richiede necessariamente di scendere in profondità, invece che salire verso scale di grandezza cosmiche. Sia perché, come detto, quel che troviamo salendo a distanze astronomiche è pure interessante, ma non sconvolgente, sia perché noi siamo fatti di ciò che è più piccolo di noi, non di ciò che è più

grande di noi, per cui possiamo
imparare molto più su noi stessi
scendendo nell'abisso
dell'infinitamente piccolo, invece di
perderci nelle vastità spaziali del
cosmo.

2

Dal grande al piccolo: meccanica quantistica

Il mio atteggiamento scientifico è sempre stato quello per cui di fronte alla natura dobbiamo metterci nei panni dei bambini, degli alunni della scuola elementare. La natura è l'insegnante, la maestra, e noi dobbiamo semplicemente apprendere quello che sta cercando di

dirci, dobbiamo soltanto sforzarci di capire. Non siamo noi i professori, non siamo noi coloro che possono dettare alla realtà ciò che ci deve dire. Sembra una considerazione ovvia, banale, ma occorre sapere che, soprattutto in epoca moderna, non è la posizione condivisa dalla maggior parte dei fisici. Invocando spesso forzature ed artifici, consapevolmente o meno, molti di loro insistono a vedere nella realtà quello che la realtà si rifiuta ripetutamente di dirci, anche dopo ripetuti fallimenti.

Quando la natura sembra andare in una direzione che noi giudichiamo non in linea con quello che ci aspettiamo, la nostra prima reazione non è quella di cambiare le nostre idee per adattarele al

messaggio della natura. La prima reazione è quella di complicare le cose in maniera artificiosa per cercare di far rientrare la novità, anzi una sua versione addomesticata, nel nostro quadro di idee preconcepite. Purtroppo questa è la reazione umana più naturale, anche di molti fisici, che quando indagano la natura cercano di trovarci il messaggio preferito da loro stessi, invece che mettersi nei panni del bambino, dell'allievo di scuola elementare, che dice alla maestra, cioè la natura: "insegnami, voglio imparare, sono tabula rasa, sono pronto ad apprendere quello che hai da dirmi."

La meccanica quantistica ci comunica un messaggio sconvolgente,

che siamo chiamati a decifrare senza preconcetti. Assieme ad altre scoperte della fisica dell'ultimo secolo, fino alle più recenti, a cui mi onoro di aver contribuito, ci permette di dare un quadro dell'universo che è completamente nuovo. E interessante, ma soprattutto sconvolgente.

Per apprezzare tutto ciò, possiamo confrontare i fenomeni che avvengono alle nostre scale di grandezza, che vuol dire distanze relative di metri, o centimetri, ai fenomeni che avvengono a distanze di grandezza molto più piccole. Cominciamo dalle distanze atomiche, tipo il raggio di un atomo, che vuol dire cento milioni di volte più piccole di un centimetro, fino ad

arrivare alle distanze “infinitamente” piccole, pari a dieci miliardesimi di miliardesimi di miliardesimi di centimetro, dove cominciano a farsi sentire gli effetti, diretti o indiretti, della gravità quantistica. Come si può facilmente immaginare, la realtà delle cose cambia completamente quando ci immergiamo a quelle profondità. Noi esseri umani siamo collocati in un ambiente in cui avvengono fenomeni di un certo tipo, che abbiamo codificato per mezzo di certe leggi fisiche. Ebbene, i fenomeni che hanno luogo nel mondo microscopico sono così profondamente diversi da quelli che ci sono familiari che ci potremmo scoprire completamente inadatti a descriverli.

Per dirla tutta, non siamo nemmeno in grado di descriverli usando le parole del nostro linguaggio.

Non possiamo dare per scontato che la natura sia fatta per essere spiegata o capita da noi. La natura è quello che è. Non le importa di noi. Noi, d'altro canto, siamo una delle tante specie viventi di uno dei tanti pianeti. Dal punto di vista fisico, un essere vivente è un agglomerato di atomi, una delle tante maniere di mettere degli atomi assieme. "Il nostro" agglomerato di atomi sta cercando di capire che cosa succede a scale di grandezza pari a quelle dell'ingrediente più piccolo di cui è fatto, l'atomo stesso, e poi a scale di grandezza un miliardo di miliardi di

volte ancora più piccole. Sta cercando di capire quello che succede laggiù, per avere qualche lume in più riguardo alla natura del mondo e il senso di quello che succede quassù. Molto probabilmente, questa impresa può portare a un corto circuito, o un circolo vizioso, o un problema assolutamente insolubile.

Quello che noi apprendiamo dal mondo che ci circonda è assolutamente parziale ed inadeguato, perché il mondo stesso che ci circonda è parziale: è un piccolo tassello dell'universo. Allo stesso tempo, è ciò che plasma il nostro pensiero e la nostra maniera di vedere le cose. Anzi, molto spesso l'intuizione suggeritaci dal mondo che ci circonda

ci porta fuori strada, perché la realtà di laggiù è completamente diversa dalla realtà di quassù. Oggi possiamo descrivere questa diversità con precisione, che è quello che mi accingo a fare nel libro.

Siamo finalmente in grado di comprendere quanto sia abissale il distacco che separa i due mondi, il regno di ciò che è grande e il regno di ciò che è piccolo. Le informazioni che stiamo per apprendere sono così sconcertanti che ci faranno dubitare che la natura ci abbia dotato di capacità sufficienti a superare gli ostacoli che troveremo lungo la strada verso la comprensione della natura stessa. Ci fanno temere che a un certo punto

saremo costretti ad arrenderci.

Giusto per concederci un piccolo assaggio di quello che ci aspetta, nel mondo che ci circonda possiamo “vedere”, perché possiamo “accendere la luce”. Cosa vuol dire? La luce è un flusso di miliardi e miliardi di fotoni, i quanti di luce, che vuol dire i “corpuscoli”, o “particelle elementari” della luce, le sue unità fondamentali e indivisibili. I fotoni provengono da una qualche sorgente, che può essere il sole o una lampadina, per esempio. Colpiscono gli oggetti che stanno intorno a noi. In parte vengono assorbiti, in parte riflessi. Molti fotoni riflessi dagli oggetti arrivano all'interno dei nostri occhi e generano stimoli

nervosi, che poi giungono al nostro cervello e vengono rielaborati fino a produrre quelle che chiamiamo immagini. I quanti di luce che investono lo spazio che ci circonda sono numerosissimi. Così abbiamo la percezione di vedere un continuo davanti ai nostri occhi, quel continuo che chiamiamo realtà. Grazie a questo, abbiamo una percezione chiara di tutte le cose che ci circondano.

Alle nostre scale macroscopiche, vedo questo tavolo di fronte a me e posso dire che sta qui ed è fermo. Vedo un'automobile che sfreccia ed ho un'idea chiara di dove stia nell'istante in cui la vedo. Ho anche un'idea chiara della sua velocità, che posso

eventualmente misurare con precisione aiutandomi con un autovelox. Di tutti gli oggetti che ci circondano percepiamo, e possiamo misurare, tanto la posizione, quanto la velocità.

È di importanza fondamentale poterle percepire entrambe, perché è l'insieme delle due che ci dà la percezione del movimento, quindi della continuità temporale. Alle nostre scale di grandezza possiamo seguire la traiettoria di un oggetto con la precisione che vogliamo. Se percepiamo con precisione soltanto la posizione, ma non la velocità, non potremmo collegare un evento precedente all'evento successivo. Sarebbe un po' come guardare una

serie di fotografie, che possono essere precise quanto si vuole, ma sono pur sempre statiche. Se paragoniamo la visione delle foto alla visione di un video, ci rendiamo facilmente conto di quanto ci perdiamo.

Invece, laggiù, a piccole distanze, il buio è totale. Questo succede già alle distanze atomiche, figurarsi un miliardo di miliardi di volte al di sotto di quelle. Che cosa vuol dire “buio totale”? Vuol dire che non esiste nessuna possibilità di “accendere la luce”. Infatti, se volessimo, per esempio, accendere la luce per “vedere” l’atomo, dovremmo fare i conti col fatto che la luce è fatta di fotoni. In pratica, ci troveremmo ad investire l’atomo con uno tsunami di

fotoni, stravolgendo completamente ed istantaneamente il suo stato. Alla fine non vedremmo la realtà per come è, ma per come l'avremo modificata noi.

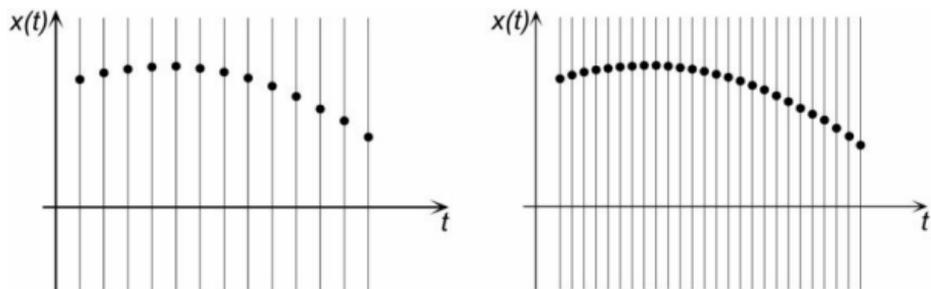


Fig.1 | La continuità temporale ci permette di identificare le traiettorie degli oggetti

C'è qualche possibilità di vedere la realtà per quello che è, a quelle distanze? Potremmo, per esempio, pensare di indirizzare verso l'atomo un fotone alla volta. Basterebbe a disturbarlo il meno possibile? No,

perché delle due l'una: o il fotone che indirizziamo verso l'atomo è troppo "grande" rispetto all'atomo, e allora non ci permette di misurare la posizione, o è troppo "vispo", troppo energetico, e allora non ci permette di misurare la sua velocità. Se vogliamo misurarle entrambe, l'unica possibilità che abbiamo è lo tsunami di fotoni, che funziona solo con oggetti macroscopici.

Più precisamente, se gettiamo addosso all'atomo un fotone poco energetico, per disturbarlo il meno possibile, non possiamo localizzare l'atomo, perché un fotone poco energetico è "troppo grande" per misurare con precisione la posizione. Cioè, ha una grande lunghezza d'onda. In

un certo senso, è un fotone “grosso e grasso”. Sarebbe come cercare di capire dove sta un granello di sabbia tirandogli addosso una roccia di una tonnellata e (nel buio pesto in cui siamo costretti a lavorare) ricavare la collocazione del granello di sabbia dal risultato dell’urto colla roccia. È ovvio che non si può ottenere alcun risultato soddisfacente in questo modo.

Se vogliamo veramente determinare la posizione dell’atomo, possiamo tirargli addosso un fotone di lunghezza d’onda molto piccola. In altre parole, un fotone “snello”, cioè più “piccolo” dell’atomo stesso. Però in quel caso il fotone sarebbe così “vispo”, cioè avrebbe un’energia così grande, da far

schizzare via l'atomo a grandissime distanze. Questo ci impedirebbe di determinarne la velocità. Quando facciamo un esperimento come questo, riusciamo a localizzare l'atomo, ma non possiamo dire se sia fermo o in movimento. Per la precisione, riusciamo a determinare dove l'atomo *stava*, prima di disturbarlo e farlo schizzare via, ma non possiamo dire quale velocità *avesse*.

Cominciamo a toccare con mano il fatto che il mondo microscopico ha delle proprietà così diverse dal mondo che ci circonda che dobbiamo fare delle rinunce importanti, rinunce in grado di stravolgere, come vedremo, la nostra stessa comprensione della

realtà. Possiamo determinare la posizione dell'atomo colla precisione che vogliamo, ma allora dobbiamo rinunciare completamente a dire quanto è veloce. Oppure, possiamo determinare la sua velocità, rinunciando a determinare la sua posizione. Oppure possiamo accontentarci di una via di mezzo, ma allora dobbiamo misurare sia la posizione che la velocità in modo impreciso, e il prodotto di quelle imprecisioni ha un limite minimo e quindi non può essere ridotto a piacere. Addio alla possibilità di fare un video della realtà microscopica!

Abbiamo illustrato quello che si
c h i a m a *principio* di

indeter *mina* *zione*. Esso stabilisce un limite oltre al quale la nostra osservazione non si può spingere. Oltre quel limite non ha nemmeno senso parlare di “determinare” la realtà.

Dobbiamo fare i conti col fatto che a livello microscopico ci sono domande che non ha nemmeno senso chiedere. Il semplice fatto di non poter percepire contemporaneamente, con precisione sufficiente, la posizione e la velocità demolisce ogni idea di continuità temporale. La percezione si riduce così a un susseguirsi di flash. Le immagini successive sono troppo diverse dalle precedenti, o separate da intervalli di tempo troppo lunghi, per permetterci di ricostruire un “video”.

Dobbiamo farcene una ragione: non si può realizzare un video della realtà microscopica. Non ha alcun senso pretendere una cosa del genere. Ma allora, come “appare” la realtà microscopica? Cos'è?

Per dare un'idea più chiara, supponiamo di osservare la posizione $x(t)$ di un oggetto a istanti successivi $t_1, t_2, \dots t_n$. Nella figura 1 abbiamo visto cosa otteniamo con un oggetto macroscopico. In quel caso è facile identificare la traiettoria sottostante. Ma la situazione cambia drammaticamente quando osserviamo un atomo, come mostrato nella figura 2. All'inizio (immagine di sinistra) misuriamo la posizione a intervalli di

tempo, diciamo, di un secondo. Ai nostri occhi non apparirà nessuna traiettoria chiara. Calma, non demordiamo. Decidiamo di infittire le misure, in modo che passi soltanto mezzo secondo tra la precedente e la successiva (immagine di destra). Purtroppo, nemmeno allora riusciremo ad individuare un barlume di traiettoria continua. Potremo andare avanti all'infinito, infittire le misure quanto vogliamo, separandole di un decimo di secondo, poi un centesimo di secondo, poi un millesimo, e così via, ma la situazione non cambierà: l'atomo continuerà a schizzare da una posizione alla successiva senza continuità, senza regola. Sembra che non voglia saperne

di “stare in riga”.

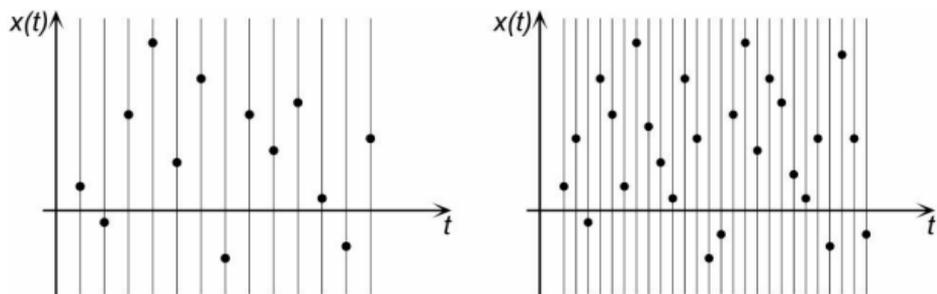


Fig.2 | Non si può osservare la "traiettoria" di un atomo

Il massimo che possiamo fare è accontentarci di una traiettoria molto grezza e sfocata, rinunciando alla precisione delle misure, di modo che, ogni volta che riveliamo una posizione approssimata, scalziamo l'atomo il meno lontano possibile.

Volevamo sapere come appare la realtà microscopica? Questo è soltanto

un as|saggio...

Le esperienze che facciamo quotidianamente ci danno un'idea di come è fatto il mondo. Ci suggeriscono delle leggi fisiche e anche, magari, dei "principi primi". E noi siamo spesso portati a credere che la comprensione del mondo che emerge dall'osservazione di una sua piccola parte, il mondo macroscopico attorno a noi, sia universale. Ma non potrebbe essere un'illusione, invece? Un'approssimazione buona per capirci tra noi, magari grossolana, che emerge da qualcosa di più piccolo, fatto in tutt'altra maniera? Siamo davvero autorizzati a pensare che il mondo macroscopico abbia una

relazione così precisa coi principi primi dell'universo da permetterci di coglierli così facilmente da qui, senza nemmeno dover scendere in profondità a controllare? Non la stiamo facendo un po' troppo facile tutte le volte che pensiamo questo?

Oggi possiamo dire con certezza, grazie alla meccanica quantistica, che questi dubbi sono fondati. Quando esploriamo l'infinitamente piccolo ci troviamo di fronte ad un mare di difficoltà. Dobbiamo lavorare nel buio più pesto. Non è possibile accendere la luce. Non è possibile osservare nulla senza disturbarlo. Abbiamo un atomo qui, un fotone che passa di là, e tutto intorno il nulla, il silenzio

assoluto. Dobbiamo fare i conti con quantità discrete, sporadiche, dei flash, altro che il continuo della realtà quotidiana. E allora, come facciamo a relazionare i flash tra di loro? Come facciamo a capire a quali leggi obbediscono? Non possiamo farla facile, perché facile non è.

E quando scendiamo a distanze ancora più piccole emergono sconvolgimenti ancora più profondi, come si può facilmente immaginare. A un certo punto potremmo essere costretti a fare rinunce tali da doverci addirittura arrendere. Allora la natura ci dirà: “caro essere umano, per te è *game over*. Hai fatto la tua parte, è stato bello, ma la tua avventura finisce qui.

Avanti un altro!”

Per descrivere ancora meglio la grande lontananza tra i due mondi, quello microscopico e quello macroscopico, dobbiamo aggiungere che quando cerchiamo di descrivere il primo ci troviamo in difficoltà ad usare correttamente le parole del nostro linguaggio. Abbiamo sviluppato un linguaggio, e quindi un pensiero, interagendo con il mondo macroscopico che ci circonda, che, come detto, ci dà una percezione molto limitata e parziale del reale. Quando andiamo ad esplorare il mondo microscopico, scopriamo che le stesse parole che usiamo comunemente si rivelano inadeguate, così inadeguate

che abbiamo persino problemi ad usare correttamente il verbo “essere”, che è il mattone fondamentale di qualunque lingua. Siccome ci stiamo proprio interrogando su ciò che “è”, su ciò che è l’universo, è chiaro che se viene a cadere il verbo essere, tutte le domande che ci facciamo perdono completamente senso.

Perché non possiamo più usare disinvoltamente il verbo essere? Ce lo spiega la meccanica quantistica. Quando scendiamo a piccole distanze, in mezzo al buio più pesto, possiamo osservare il nostro atomo ora, lo possiamo osservare fra un istante, ma non possiamo osservarlo con continuità, perché osservarlo vuol dire

sostanzialmente tirargli addosso qualcosa di dimensioni comparabili, o farlo schizzare via, o incastrarlo in qualche “trappola”, come un rivelatore. Insomma, come accennato sopra, vuol dire disturbarlo, anzi spesso vuol dire stravolgere completamente lo stato in cui si trova.

A livello macroscopico possiamo fare i nostri esperimenti senza problemi di questo tipo, cioè osservare gli oggetti che ci circondano senza praticamente disturbarli, perché la luce che li investe, in generale, non li sposta, non li riscalda granché, non ne modifica lo stato. Ma a livello microscopico questo non è possibile. E non possiamo certamente costruire strumenti più

piccoli dell'atomo, perché gli strumenti sono fatti di atomi. Per questo motivo dobbiamo ragionare in modo indiretto. Ma in questo modo, è chiaro che cozziamo contro un grossissimo problema, e cioè il fatto che nel momento stesso in cui vogliamo osservare la realtà la disturbiamo al punto tale da distruggere quello che volevamo osservare.

E allora che cosa vuol dire veramente "osservare la realtà"? Se non è più chiaro cosa vuol dire "osservare", come possiamo pretendere di capire cosa vuol dire "essere"?

Ma facciamo un passo alla volta. A distanze microscopiche, quelle

atomiche, non si può osservare la realtà con continuità. Non è possibile seguire un atomo nel suo movimento, nella sua traiettoria. Lo possiamo vedere ora, fra un istante, poi un po' dopo, e così via. Immaginiamo (vedi figura 3) di osservare l'atomo nell'istante t_1 e trovarlo nel punto A. Osserviamo poi l'atomo nell'istante t_2 e supponiamo di trovarlo nel punto B. La domanda che possiamo farci è: negli istanti intermedi tra t_1 e t_2 , cioè quelli in cui non lo stavamo osservando, l'atomo dove stava? Cosa faceva? Per tornare ad usare il verbo essere, possiamo almeno dire che esisteva? Che almeno "era" da qualche parte dell'universo, una qualunque? Possiamo dire che

l'atomo esiste tra l'istante t_1 in cui lo vediamo nel punto A e l'istante t_2 in cui lo vediamo nel punto B? Possiamo dire che, magari, negli istanti intermedi si è mosso per andare da A a B?

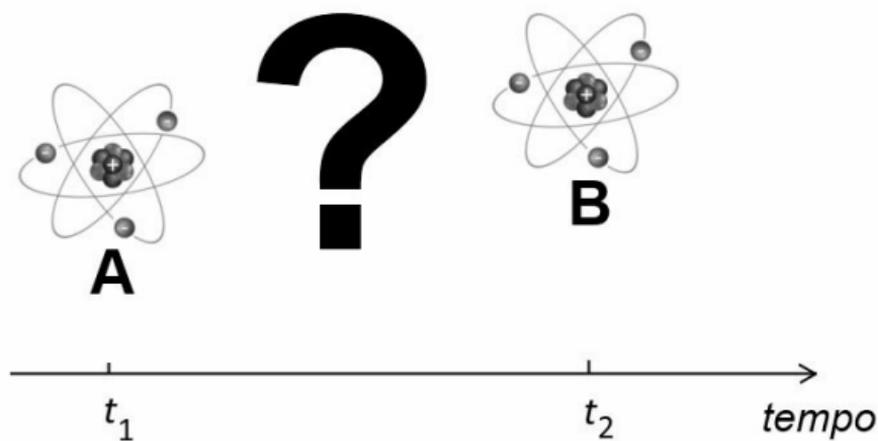


Fig. 3 | Cosa esiste tra l'osservazione di un atomo e la successiva?

Questo è uno dei problemi

fondamentali della meccanica quantistica: che cosa esiste? Date le premesse, potremmo essere costretti a dire che esiste qualcosa soltanto quando noi la osserviamo. Ma allora vorrebbe dire che ciò che esiste dipende dall'osservatore che lo osserva! Insomma, negli intervalli tra un'osservazione e l'altra continua ad esistere una realtà, o no? E se sì, cos'è esattamente che esiste nel frattempo?

Ebbene, la meccanica quantistica ci dimostra che se insistiamo a dire che l'atomo effettivamente esiste tra l'istante t_1 e l'istante t_2 , questa ipotesi semplice, scontata, banale, è così sbagliata da portare a delle conseguenze sperimentalmente false. Dobbiamo

dunque arrenderci: non è possibile fare un'assunzione come questa. Occorre inventarsi qualcos'altro, introdurre qualche nuova entità per immaginarci cosa possa succedere negli istanti intermedi. E dobbiamo essere consapevoli fin dal principio che qualunque cosa introdurremo sarà soltanto uno strumento utile a noi e non corrisponderà a nulla di esistente, perché, per definizione, non lo potremo osservare.

Abbiamo bisogno di identificare degli artifici matematici che ci permettano di stabilire delle relazioni tra l'osservazione fatta nell'istante t_1 e l'osservazione fatta nell'istante t_2 , sperando appunto che siano ancora

collegabili in qualche modo, perché qualora non ci fosse tra loro nessuna relazione, dovremmo arrenderci subito, perché non potremmo dire più nulla di sensato sulla natura.

Ebbene, qualche relazione tra i due eventi, fortunatamente, sopravvive. Però, il concetto stesso di realtà, di esistenza, finisce per cadere, perché tutto quello che alla fine esiste è soltanto ciò che noi osserviamo, nel momento in cui lo osserviamo.

Si può riempire la lacuna in tanti modi equivalenti, ma tra questi non c'è l'ipotesi che l'atomo continui ad "esistere". Tra i modi più convenienti c'è quello di introdurre una cosiddetta "funzione d'onda", che consiste

nell'immaginare che l'atomo diventi una sorta di onda tra A e B. L'onda si sprigiona dal punto A, si estende ovunque e poi collassa nel punto B. La funzione d'onda è un'entità virtuale, che vuol dire non reale, non direttamente osservabile. È uno strumento matematico, e riesce a fare il suo lavoro in modo molto efficiente. Per la precisione, ci aiuta a stabilire le relazioni corrette (che vuol dire, in accordo con i dati sperimentali) tra t_1 e t_2 , tra le osservazioni di dopo e quelle di prima.

Esistono approcci alternativi che portano agli stessi risultati, ma non li menzioniamo qui, perché i dettagli non interessano molto la nostra discussione.

Ciò che importa sapere è che, alla fin fine, a dettare il riempimento giusto è l'esperimento, discriminando ciò che effettivamente riesce a raggiungere lo scopo da ciò che invece non ci riesce. E tra ciò che non ci riesce c'è appunto l'ipotesi che l'atomo viaggi tra il punto A e il punto B. Tentativo dopo tentativo, fallimento dopo fallimento, i fisici sono riusciti a tirar fuori da tutto questo qualcosa di sensato. Che è poi ciò che ci permette di continuare il nostro viaggio.

Detto questo, tutte le nostre certezze crollano, perché abbiamo scoperto che il verbo "essere" non può più essere usato disinvoltamente come facciamo quotidianamente. Dobbiamo

concludere che quando ci chiediamo che cosa sia il mondo, chi lo abbia creato, quale sia la sua origine, perché esista, stiamo facendo uso di parole che non hanno senso se non nella nostra fantasia. Si tratta di domande che non possiamo nemmeno comporre. Tutte queste domande sono nostre illusioni.

Rimettiamoci in viaggio. Vogliamo esplorare distanze sempre più piccole, per cogliere qualche suggerimento su come sia fatto (e come *n o n* sia fatto) l'universo. Con una premessa, che spero di aver trasmesso tramite le osservazioni appena fatte: tutto quello che diciamo è ereditato, ispirato, da un insieme di fenomeni così diversi da quelli che vogliamo esplorare

che tutte le parole che possiamo usare rischiano di non avere il minimo senso. E nessuna delle domande che ci facciamo rischia di avere senso, per quanto insistiamo a volergliene attribuire uno. La stessa parola esistenza non ha più un senso così chiaro, anzi. Per questo, dobbiamo usare la massima cautela e, come già detto, porci come gli scolari di fronte a maestra natura, rinunciando alla nostra presunzione di saperne più di lei.

Per aiutarci a collegare quello che fa l'atomo nel punto A a quello che fa nel punto B, per dare un'idea di quello che succede negli istanti intermedi, veniamo a menzionare un altro caposaldo della meccanica quantistica,

che porta a tantissime conseguenze importanti e ci accompagnerà per tutto il viaggio.

Quando gettiamo un sasso in un lago generiamo delle onde circolari che si propagano in tutte le direzioni. Similmente, le nostre lampadine irradiano luce in tutte le direzioni. Ma siccome la luce è fatta di unità indivisibili, i quanti, detti in questo caso fotoni, è anche possibile creare un raggio di luce molto focalizzato. È quello che fa un qualsiasi laser pointer, di quelli che troviamo comunemente in commercio. In un certo senso, un laser è una mitragliata di fotoni, un fascio di quanti di luce. Grazie al laser pointer possiamo apprezzare la natura

corpuscolare della luce. L'immagine del laser pointer su uno schermo è infatti un punto luminoso, come mostrato dalla figura 4.

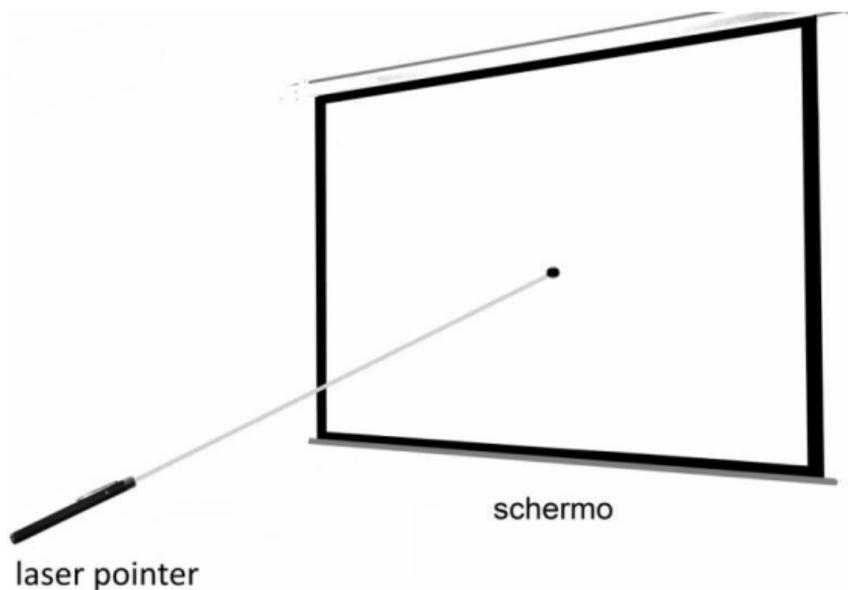


Fig. 4 | L'immagine del laser pointer è un punto luminoso

Ora descriviamo un esperimento

che qualunque lettore può ripetere a casa propria. Creiamo una piccola fenditura accostando due rettangoli metallici, o in qualunque altra maniera. Se facciamo passare il raggio laser attraverso la fenditura, notiamo che l'immagine sullo schermo non è più un punto luminoso. Al suo posto, appaiono quelle che si chiamano frange di interferenza, cioè si alternano zone illuminate a zone buie, come mostrato nelle figure 5 e 6.

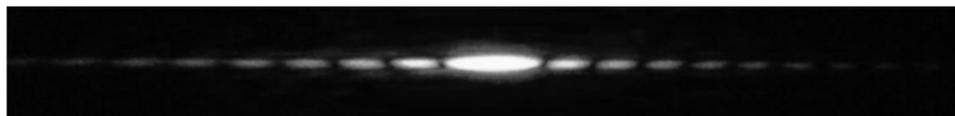


Fig. 5 | Figura di interferenza ottenuta facendo passare il raggio laser attraverso la fenditura

Le figure di interferenza sono tipiche delle onde. Le possiamo anche generare colle onde sull'acqua, gettando in un lago due sassi a distanza ravvicinata. Con l'esperimento appena fatto siamo passati dalla natura corpuscolare della luce, il fascio laser di fotoni, alla sua natura ondulatoria, le frange di interferenza. Questa proprietà è nota come dualità onda-particella. Significa che altre due parole del nostro vocabolario, particella e onda, perdono senso, a favore di una fusione delle due che per il momento ci può bastare, ma non ha alcuna garanzia di sopravvivere quando scendiamo ancor più in profondità. Quello che dobbiamo

chiederci è: cosa sono quelle figure di interferenza? Che cosa vogliono dire?

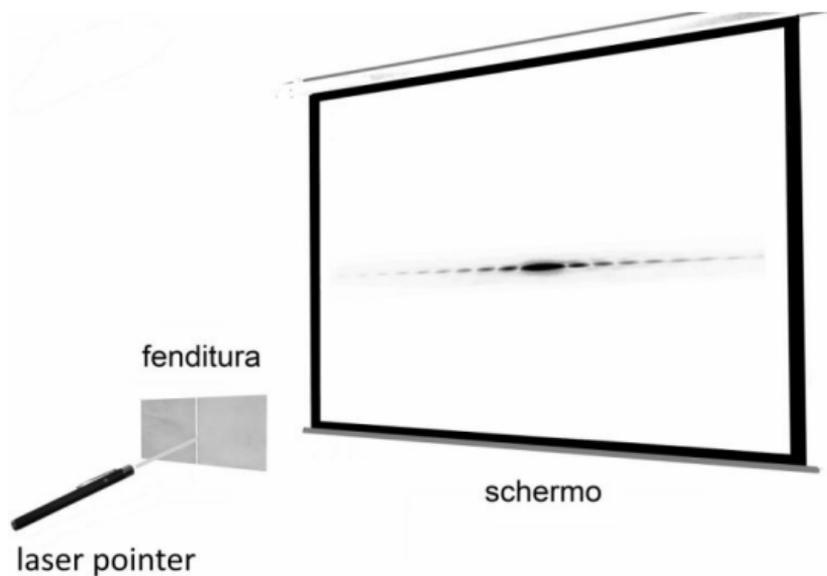


Fig. 6 | Se il raggio attraversa una fenditura, l'immagine alterna zone luminose a zone buie

Per rispondere a queste domande, immaginiamo ora che il laser emetta un singolo fotone alla volta, invece che un

fascio fatto di una miriade di fotoni contemporaneamente. Ebbene, in quel caso il singolo fotone, passando attraverso la fenditura, non procede diritto, in generale, ma devia, come mostrato nella figura 7. E dove va a finire? In una qualunque delle zone illuminate della figura di interferenza incontrata prima. Un'area qualunque? Sì, una qualunque, con una probabilità proporzionale alla luminosità dell'area stessa.

Riepilogando, senza la fenditura il fotone procede diritto e finisce al centro: il fascio rimane focalizzato. Colla fenditura il fotone procede diritto in un certo numero di casi, devia a sinistra in un altro numero di casi, devia

a destra in un terzo numero di casi. Si noti che la luminosità delle frange diminuisce man mano che ci allontaniamo da quella centrale: vuol dire che la probabilità di deviazione diminuisce gradualmente.

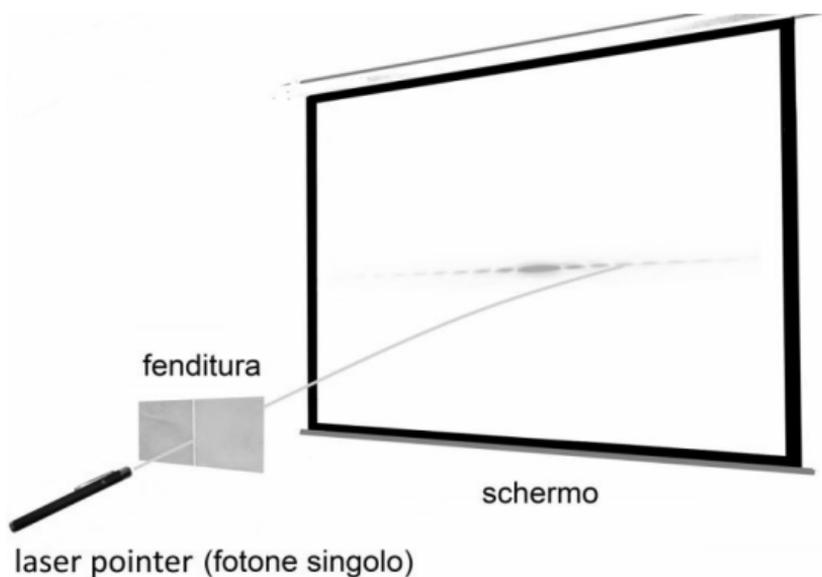


Fig. 7 | Singolo fotone che attraversa la fenditura

Se ripetessimo l'esperimento lanciando un atomo attraverso la fenditura, invece del fotone, il risultato sarebbe sostanzialmente lo stesso. L'atomo avrebbe svariate opzioni per la continuazione del suo viaggio oltre la fenditura, ciascuna caratterizzata da una precisa probabilità di realizzarsi.

La novità sconvolgente l'abbiamo già detta, ma probabilmente è passata inosservata. Una delle cose più difficili – lo impareremo a più riprese in questo libro –, è riuscire a vedere ciò che sta davanti ai nostri occhi. E magari è sempre stato là, davanti ai nostri occhi, da quando siamo nati. Se la prima volta che affrontiamo una nuova questione, per

qualche recondito motivo, sorvoliamo su qualcosa, un dettaglio che la nostra psiche non considera importante in quel preciso momento, saremo molto probabilmente portati a fare la stessa cosa la volta successiva, ancora più sbrigativamente, semi automaticamente, convinti di aver guardato bene la prima volta e quindi sicuri che non ci sia bisogno di soffermarsi più di tanto la seconda. E così anche la volta dopo, e poi ancora, e ancora. È estremamente difficile opporsi alla tendenza naturale ad imboccare scorciatoie mentali, che portano a dare per scontato quello che scontato non è. Sarà ancora più arduo, in seguito, identificare l'errore

commesso, perché saremo costretti a tornare sui nostri passi e a perlustrare tutto quello che avremo fatto nel frattempo, per scovare l'ago nel pagliaio, quel piccolo pertugio che la nostra mente aveva inopinatamente chiuso troppo in fretta.

E allora torniamo indietro e facciamo mente locale su questa fantomatica novità sconvolgente. Abbiamo detto che l'atomo, attraversando la fenditura, ha varie opzioni, per la continuazione del suo viaggio verso lo schermo. Può finire al centro o deviare, può deviare di più o di meno, a destra o a sinistra. E ciascuna opzione ha una ben definita probabilità di accadere. Notato

ancora nulla di sconvolgente?

Ci dobbiamo chiedere: ma chi è che dice all'atomo cosa fare? È forse lui stesso che *decide* se deviare a destra, a sinistra o continuare dritto? Può scegliere, prendere iniziative? Può decidere da solo? Davvero? Ma come è possibile? L'atomo è veramente in grado andare dove vuole? Può fare quello che gli pare?

La risposta è: sì! La realtà quantistica è proprio questa. È l'atomo che decide dove andare! Questo è ciò che vuole dire la parola "quantistico". Per quanto possa apparire sconvolgente (ma ve l'avevo anticipato, no?), le cose stanno così.

Esistono forse atomi "di destra",

“di centro”, o “di sinistra”, a seconda del percorso che scelgono? No, perché se prendiamo un atomo che ha deviato a destra la prima volta e lo facciamo ripassare attraverso la fenditura una seconda volta, non continua a deviare a destra, ma sceglie di nuovo liberamente dove andare.

Non solo. Tutti gli atomi della stessa specie sono identici, tutti i fotoni sono identici. Sono così liberi che non è possibile marcarli o etichettarli in nessuna maniera.

Quindi, a livello quantistico qualunque fotone, atomo o corpuscolo ha la capacità di decidere il suo destino e di cambiare il corso degli eventi. Insomma, l'atomo è libero. In un certo

senso, è vivo! Nessuno gli può ordinare cosa fare o dove andare. Il risultato della sua scelta non è prevedibile, né predeterminabile. Il fenomeno quantistico è un fenomeno creativo. Lì nasce una decisione, dal nulla.

Il fenomeno potrebbe essere vagamente descritto come un getto di dadi, una lotteria, dove a determinare la sorte è l'atomo, o il fotone. Anche se non è esattamente un getto di dadi, come vediamo tra poco.

La novità è talmente sconvolgente che tanti fisici si rifiutarono di accettarla, per partito preso. Einstein, come molti altri, non si volle mai arrendere alla rivoluzione della meccanica quantistica, che considerava

una teoria necessariamente incompleta e provvisoria. Per chiarire il suo pensiero disse la famosa frase: “Dio non gioca ai dadi”. Secondo lui non era possibile che i fenomeni fisici fossero creativi a livello microscopico. Pensava che la presunta creatività che ci faceva credere che l’atomo decidesse da solo la strada da percorrere, fosse illusoria, un abbaglio dovuto alla nostra ignoranza. Credeva che la diatriba sarebbe stata risolta dalla scoperta di certe “variabili nascoste” che non avevamo ancora saputo individuare. E che, coll’aiuto di quelle variabili, il risultato del fenomeno quantistico avrebbe potuto essere previsto in maniera non ambigua a

partire dalle condizioni iniziali, così come succede per tutti i fenomeni macroscopici che avvengono nel mondo che ci circonda.

Quando lanciamo un dado, il risultato può essere un numero da uno a sei. Ciascuna sortita ha probabilità pari ad un sesto. Diciamo che il risultato del getto di dadi è frutto del “caso”, ma questa affermazione non è precisa. Sappiamo che non possiamo prevedere il risultato del nostro lancio. Ma è veramente “caso”? È lui, il dado, che decide il risultato?

Non proprio. Ciò che succede è che, dal punto di vista pratico, non possiamo prevedere il risultato del lancio, perché è un compito troppo

difficile. Ma non impossibile, in linea di principio. Infatti, il risultato è già scritto e univocamente determinato dal nostro lancio. Il dado non è in grado di decidere nulla. Il fenomeno non è di natura quantistica. Pertanto, è profondamente diverso dal fenomeno che fa sì che l'atomo decida dove andare dopo essere passato attraverso la fenditura.

Come ciascun evento che accade a livello macroscopico, il lancio del dado è un evento, come si dice, *deterministico*. Determinismo significa che da identiche condizioni iniziali non possono che conseguire identici risultati finali. Se potessimo controllare bene la forza che

imprimiamo al lancio e la velocità e la disposizione dei dadi nel momento in cui abbandonano la nostra mano, potremmo prevedere con precisione arbitraria il risultato del lancio, usando le leggi della fisica valide alle nostre distanze di grandezza, che sono appunto deterministiche.

Insomma, quel lancio non è un evento creativo. Si tratta di pseudo casualità, se vogliamo. Ciò che ci porta a dire che il risultato è casuale è soltanto la nostra difficoltà a controllare tutte le variabili in gioco. Il problema è troppo complicato, anche dal punto di vista matematico. Se volessimo veramente prevedere il risultato, saremmo costretti a ricorrere

a metodi approssimati e l'errore alla fine sarebbe tale che non riusciremmo comunque a modulare il lancio con la precisione sufficiente a determinare in anticipo il risultato. Ma ciò non toglie che quel risultato sia già scritto e non esca affatto dal nulla.

Einstein pensava che i fenomeni quantistici fossero un po' come questi getti di dadi. Cioè non fossero creativi, ma apparissero tali a noi a causa della difficoltà del problema e di una nostra presunta ignoranza delle variabili in gioco. Pensava che la scoperta delle variabili nascoste lo avrebbe vendicato. Grazie ad esse avremmo potuto, almeno in principio, se non in pratica, controllare, predeterminare e prevedere

il risultato del passaggio dell'atomo attraverso la fenditura. Questo avrebbe reso il fenomeno quantistico simile ai getti di dadi e agli altri fenomeni deterministici che avvengono alle nostre scale di grandezza. Per queste ragioni, Einstein e molti altri studiosi pensavano che la meccanica quantistica fosse una teoria temporanea, destinata ad essere superata da una teoria più completa che comprendesse appunto le variabili nascoste. Ancora oggi alcuni fisici sono impegnati a cercarle.

Il problema fu dibattuto a lungo e qualche decennio dopo la nascita della meccanica quantistica la risposta fu trovata da John Stewart Bell. Bell dimostrò che se quelle variabili

nascoste esistessero, di qualunque natura fossero, porterebbero a risultati in contraddizione cogli esperimenti. Gli esperimenti necessari a dirimere la questione furono effettivamente fatti e diedero torto ai fautori delle variabili nascoste. E questo, senza fare alcuna ipotesi su quelle variabili, se non assumere la loro esistenza!

No, le variabili nascoste non esistono: ormai lo possiamo affermare con certezza. La natura è veramente dotata di un'incredibile vitalità alle distanze atomiche. L'atomo può decidere da solo che cosa fare quando attraversa una fenditura o aggira un ostacolo.

Il mondo quantistico è un brulicare

di frenetiche attività, tentativi, prove ed errori. È come se fremesse alla ricerca di qualcosa, se tentasse costantemente di emergere. Ma cosa cerca? Forse una strada? Una via verso una qualche imprecisata destinazione? E quale? Dove vuole andare l'indeterminazione quantistica? Allacciamo le cinture, perché stiamo per scoprirlo.

La chiamiamo, appunto, *indeterminazione quantistica*, perché la scelta dell'atomo determina il futuro, ma non è determinata dal passato. Il fenomeno quantistico è la causa non causata, il motore immobile che crea dal nulla, l'anima del mondo. Non crea energia, come non crea materia. Non

viola alcuno dei principi di conservazione della fisica. Ciò nonostante, cambia il corso degli eventi, crea una novità, opera una scelta. E gli effetti di quella scelta possono farsi sentire anche a livello macroscopico.

Per esempio, possiamo costruire dispositivi che agiscono in base alla scelta dell'atomo, come una macchina del caffè che al mattino ci prepara un espresso o un cappuccino a seconda che l'atomo scelga di deviare a destra o a sinistra. Possiamo demandare all'atomo la decisione di passare le prossime vacanze al mare o in montagna. Oppure realizzare un algoritmo che compra o vende azioni in automatico

sulla base della scelta dell'atomo. O un meccanismo che punta su questo o quel cavallo a seconda della frangia di interferenza in cui l'atomo va a finire.

Ci si può chiedere se la parola "indeterminazione" sia giusta, se sia la parola migliore che possiamo usare per caratterizzare il fenomeno quantistico, e se catturi in modo esaustivo la sua peculiarità. La risposta è chiaramente no. L'essere umano tende a credersi, da sempre, al centro dell'universo, cioè a pensare che l'universo sia stato creato in qualche senso per lui. E persevera in questo, nonostante la natura e la storia, soprattutto negli ultimi secoli, abbiano cercato a più riprese di fargli capire che non è affatto così. È chiaro che

questo comportamento è una proiezione della nostra insicurezza: cerchiamo di esorcizzare la verità indigesta che la natura ci prospetta. Ma è anche chiaro che chi fa scienza non può prendere una posizione partigiana, neanche se si schiera dalla parte nostra, quella umana. Chi fa scienza deve prescindere dalle proprie emozioni e concentrarsi sulla realtà fattuale delle cose, per capire ciò che è e non deviare verso ciò che vorrebbe che fosse. Purtroppo, è facile a dirsi, ma non altrettanto facile a farsi. La tentazione di considerarci in qualche modo privilegiati rispetto al resto del mondo è prepotente. E il più delle volte inconscia. Pertanto, quando diamo dei nomi alle cose lo facciamo in

una maniera, diciamo così, umano centrica, cioè riferendoci a quello che gli eventi significano per noi, più che al loro significato intrinseco ed oggettivo. Spesso, questa tendenza ci impedisce di vedere ciò che sta davanti ai nostri occhi.

Quella quantistica la chiamiamo “indeterminazione” perché è tale dal nostro punto di vista. Noi non riusciamo a determinare in anticipo quello che l’atomo farà dopo aver attraversato la fenditura, perché lo deciderà lui. Quindi per noi il risultato è incerto, non è determinabile. Però è chiaro che dal punto di vista della natura, e dal punto di vista dell’atomo, le cose stanno diversamente. Alla natura non interessa

nulla di quello che noi possiamo o non possiamo determinare. La natura è quello che è e procede lungo la sua strada, indipendentemente da noi. E poi, soprattutto, dal punto di vista dell'atomo, il fenomeno quantistico è la vera e propria libertà, la libertà di scelta. Non si tratta affatto di indeterminazione, anzi: per l'atomo è esattamente il contrario. È infatti l'atomo, e solo lui, che determina il risultato. L'atomo crea un evento nuovo in maniera assolutamente libera. E, se ci pensiamo un attimo, la libertà assoluta, la libertà non soggetta ad alcun vincolo o influenza esterna, è proprio ciò che dobbiamo chiamare *caso*. Il caso puro, diremo. La pura libertà

dell'atomo. Non il caso finto dei getti di dadi.

Sì, la meccanica quantistica è piena di punti oscuri che cozzano contro la nostra intuizione. Ma se non siamo capaci di accettarli o venire a patti con quelli, è un problema soltanto nostro. Nonostante il nostro grande desiderio di sentirci al centro dell'universo, non possiamo scaricare le nostre difficoltà sulla natura, e quindi ipotizzare che nella natura ci sia qualcosa che non c'è, come le variabili nascoste, solo perché troviamo indigesto il quadro che ne emergerebbe altrimenti.

La più grande fonte dei nostri fraintendimenti è il fatto che insistiamo a descrivere il mondo microscopico coi

concetti suggeriti dall'osservazione del mondo macroscopico. Ma saremmo davvero in grado di fare di meglio? A ben vedere, questa potrebbe essere l'unica via percorribile, per noi. Ma allora non dobbiamo sorprenderci se enormi difficoltà concettuali vengono alla luce, prima o poi. Dobbiamo procedere con mente estremamente aperta, perché ogni passo avanti, da qui in poi, potrebbe nascondere una trappola.

3

La vita è libertà. E la libertà è vita

Come detto, il nostro costante desiderio di sentirci al centro della natura è una maniera per esorcizzare la consapevolezza che la verità è l'esatto contrario: cioè che siamo in fondo soli e irrilevanti al cospetto del cosmo. Ma nel momento in cui facciamo scienza dobbiamo abbandonare ogni forma di partigianeria e stare ai fatti, trarre le conclusioni a cui essi portano senza esitazioni, che ci piacciono o meno. Solo così possiamo superare gli

ostacoli e capire la realtà. La scienza deve essere “verista”, cioè prescindere completamente dallo scienziato.

In definitiva, dobbiamo accettare ciò che ci dice la meccanica quantistica, che ci piaccia o meno. Ma nel momento stesso in cui facciamo questo, dobbiamo forse concluderne che l'atomo è “vivo”?

Riflettiamo un po'. Siamo viaggiando in macchina e ci perdiamo. Arrivati di fronte a un bivio, possiamo decidere se andare a destra o a sinistra. Noi soli decidiamo cosa fare. Ma cos'è che ci fa decidere? Cos'è che ci fa prendere una decisione invece dell'altra? Supponiamo di non avere

nessuna informazione sulla differenza tra le due opzioni, di non sapere dove portano la strada di sinistra e quella di destra, di non avere alcuna idea sulla lunghezza del percorso, sulla piacevolezza dei due tragitti. Supponiamo che, per quanto ci sforziamo, non troviamo alcun motivo che ci faccia propendere per una scelta piuttosto che l'altra. Ci troviamo ancora di fronte a quel bivio. Senza argomenti per preferire una possibilità all'altra. Cosa facciamo? Restiamo lì impalati per sempre? Certamente no. Possiamo procedere comunque. Anche perché, se non sembra esserci nessun motivo per preferire una strada all'altra, non fa molta differenza quale decisione

prendiamo, no? Quindi ne prendiamo una qualunque, a caso, e andiamo avanti. Ma come facciamo a decidere? Che cos'è che ci permette di "andare avanti"?

La meccanica quantistica ci viene in aiuto. Ci suggerisce che il nostro cervello sia governato dai fenomeni quantistici. Non c'è bisogno di ragionare per prendere una decisione. Anche in mancanza di argomenti possiamo decidere. A caso. Come fa l'atomo che attraversa la fenditura. Come in un autentico "getto di dadi quantistico".

E come fa un bambino appena nato. Un bambino di una settimana non parla, non può fare ragionamenti o elaborare

pensieri, non è in grado di calcolare o pianificare. Non sappiamo bene se “voglia” o no. Non ha sicuramente coscienza delle conseguenze delle sue azioni. Eppure esplora, decide, agisce. Eccome se agisce, anche troppo, tanto che spesso si caccia nei guai. Se non fosse soggetto alla costante supervisione di un adulto si farebbe male subito e probabilmente morirebbe, magari ingoiando qualcosa che non dovrebbe. Insomma, il neonato decide, prende iniziative, anche se non ha argomenti per preferire un’opzione ad un’altra. Decide *a caso*.

Che cos’è che lo muove? Che cosa lo anima? Ora un indizio ce l’abbiamo. È esattamente ciò che anima quell’atomo

che decide se deviare a destra o a sinistra dopo aver attraversato la fenditura. Ciò che anima il neonato è una serie di fenomeni quantistici che avvengono nelle cellule del suo cervello, come in quelle del cervello di tutti noi. Questa è la nostra anima.

Quindi, che cos'è la vita? La vita è l'amplificazione degli effetti dell'indeterminazione quantistica dalle scale microscopiche a quelle macroscopiche.

Quando mettiamo insieme tanti atomi, la libertà microscopica, l'indeterminazione, viene persa quasi subito. In termini più precisi, viene statisticamente soppressa, mediata a zero. In una sedia, per esempio, non

sopravvive alcuna libertà: gli atomi sono costretti a stare attaccati l'uno all'altro, stabilmente.

E il fotone, come fa a perdere la sua libertà? Il fotone decide autonomamente dove andare quando passa attraverso la fenditura, al punto che, come detto poc'anzi, potremmo domandare a lui la decisione su come passare la nostra serata: se il fotone devia a destra andremo al cinema – poniamo –, se devia a sinistra andremo a teatro e se procede dritto staremo a casa. Il punto è che il fotone è libero, e può determinare una decisione, soltanto quando è da solo, come nella figura 7. Invece, se facciamo passare attraverso la fenditura un gran numero

di fotoni contemporaneamente, come nella figura 6, l'indeterminazione sparisce, perché i fotoni imboccano tutte le strade percorribili, riempiendo l'intera figura di interferenza. A quel punto, non sono più in grado di discriminare tra le opzioni sul tavolo: non possono più sceglierne una particolare, non riescono più a determinare il futuro. In altre parole, annullano reciprocamente le loro libertà individuali.

In conclusione, è molto facile sopprimere l'indeterminazione quantistica mettendo assieme più atomi, o più quanti, passando cioè dalle scale microscopiche alle scale macroscopiche. Questo fa sì che alle

scale macroscopiche abbiamo la percezione della stabilità, del determinismo. Detto in altre parole, a livello macroscopico il mondo è quasi ovunque “morto”, mentre a livello microscopico il mondo è quasi ovunque “vivo”.

Tuttavia, in un piccolissimo insieme di casi la natura può trovare la strada per mettere insieme gli atomi tra loro in modo da non sopprimere gli effetti dell'indeterminazione quantistica, bensì amplificarli, fino a raggiungere le scale macroscopiche. Questa amplificazione è la vita.

Ecco cosa cerca, perennemente, quell'attività frenetica di prova ed errore che ha luogo nel mondo

microscopico! Ecco dove vuole
arrivare l'indeterminazione
quantistica!

La natura ha impiegato miliardi di
anni per trovare la strada
dell'amplificazione su almeno un
pianeta (ma non siamo soli, come
vedremo fra poco!). Per riuscirci, però,
doveva essere equipaggiata, a qualche
livello, che poi è il livello
microscopico, di fenomeni creativi, di
un'attività creativa fervente ed
indefessa, in grado di animare il mondo,
e alimentare la ricerca costante di strade
nuove e diverse da percorrere per
esplorare l'esistente.

Quando Charles Darwin formulò le
sue teorie evuzionistiche dovette

invocare il caso, a cui attribui, giustamente, un ruolo fondamentale. Venne criticato perché non sapeva spiegare quale fosse l'origine di quel caso. A quel tempo, non poteva identificare la macchina perennemente attiva che generava prove ed errori senza soluzione di continuità. Per questo motivo, la teoria evoluzionistica di Darwin rimase un po' incompleta e insoddisfacente. Ma adesso sappiamo qual è la macchina creativa che anima, dà vita e attiva l'evoluzione! Sappiamo da dove viene quel caso. Esso è dovuto ai fenomeni microscopici, che sono appunto "veri getti di dadi", cioè fenomeni creativi nei quali l'output non è predeterminato

dall'input. E quei fenomeni giocano un ruolo fondamentale anche nella riproduzione, nella generazione di nuovi individui. E quindi, nell'evoluzione.

Come detto, alle nostre scale di grandezza prevale il determinismo. Ciò vuol dire che i fenomeni fisici obbediscono a leggi tali per cui dalle condizioni iniziali seguono risultati univoci. In particolare, uguali input implicano uguali output. Se lasciamo cadere a terra una palla, essa cade a terra: non ha alcuna alternativa. Se ripetiamo l'esperimento un miliardo di volte, otterremo lo stesso risultato un miliardo di volte. È grazie al determinismo che possiamo, per

esempio, lanciare un satellite in orbita attorno alla terra. Sappiamo in anticipo cosa farà. Lo possiamo comandare noi. Similmente, possiamo programmare un computer o un robot affinché eseguano i nostri ordini. Tutto ciò sarebbe impossibile se gli oggetti che ci circondano fossero quantistici, perché in quel caso i loro comportamenti sarebbero imprevedibili.

Ma è proprio vero che alle nostre scale di grandezza tutta la natura è prevedibile, o determinabile? Si potrebbe obiettare che non sono prevedibili i terremoti, che è difficile fare le previsioni del tempo, anticipare l'arrivo di uno tsunami, o semplicemente il risultato di un getto di

dadi. Tutto vero, ma i fenomeni di questo tipo sono soltanto *difficili da prevedere*, a causa della complessità dei problemi che coinvolgono. Non sono fenomeni elementari, ma complessi, che coinvolgono un alto numero di variabili. Per questo motivo, non è per niente facile trattarli, dal punto di vista matematico. Forniscono esempi di pseudo casualità, se vogliamo. In realtà, sono comunque fenomeni nei quali l'esito è univoco e univocamente determinato dalle condizioni iniziali: il "dopo" segue univocamente dal "prima". Non ci sono alternative, non c'è libertà di scelta.

La non prevedibilità di questi eventi dipende dai nostri limiti, dalle

nostra capacità. Per evitare malintesi, non è conveniente focalizzare la nostra attenzione sulla nozione di prevedibilità. È preferibile parlare di determinismo, per significare che ciò che accade dopo è univocamente determinato da ciò che è accaduto prima. Il determinismo ci permette di parlare di cause e di effetti, e introdurre la catena delle cause, per cui ogni evento è causato da un evento precedente e non esistono cause non causate.

Chiarite queste cose, riformuliamo la domanda: è proprio vero che alle nostre scale di grandezza i fenomeni della natura sono deterministici? Tutti? Ne siamo proprio sicuri? Senza

avventurarci nel problema difficile di prevedere i terremoti, noi non possiamo nemmeno prevedere come reagirà nostro figlio o nostra figlia a quello che diremo loro stasera.

Anche noi facciamo parte della natura: anche la vita è un fenomeno fisico. Possiamo forse prevedere se una formica, quando incontrerà un ostacolo lungo la via, lo aggirerà passando da destra o da sinistra? No, non possiamo. Così come non possiamo prevedere dove andrà il fotone singolo dopo aver attraversato la fenditura. Qui ci troviamo di fronte a un dilemma: dovremmo concludere che anche noi siamo deterministici, e che l'indeterminazione quantistica rimane

confinata laggiù, alle scale di grandezza microscopiche? Cioè, che la natura si sarebbe dotata di un motore immobile potentissimo, quale l'indeterminazione quantistica, per non farci nulla? In quel caso, la vita rimarrebbe tutta da spiegare. Se invece guardiamo le cose da un altro punto di vista, quello offerto dall'amplificazione dell'indeterminazione quantistica, non soltanto spieghiamo la vita, ma possiamo cominciare a crearne di nuova!

Noi siamo convinti di “volere”, di “pianificare”, di “decidere”. Ebbene, dobbiamo sapere che, nel momento stesso in cui “vogliamo”, la “nostra”

decisione è stata già presa, dentro di noi, da qualche parte nel nostro cervello. Spesso di notte. Quando ci alziamo ci sentiamo un pochino diversi, e cominciamo a ricamare mentalmente attorno alla decisione già presa, anche se non ci rendiamo conto di averla già presa. E poi, quando ci abbiamo ricamato sopra abbastanza, proviamo perfino la sensazione di averla voluta! Come se ci fosse una volontà in noi, come se nella natura esistesse davvero qualche fenomeno fisico che corrisponda a quella che noi chiamiamo appunto “volontà”.

Non è così. Infatti, ormai abbiamo una certa familiarità col mondo microscopico, fino alle scale atomiche e

anche scale più piccole di quelle atomiche. L'esplorazione della natura microscopica ci ha rivelato un solo tipo di fenomeni inaspettati, i fenomeni quantistici, i "veri getti di dadi". Non abbiamo trovato nulla che si possa ricondurre alle nostre nozioni di volontà, coscienza, intelligenza, razionalità, pensiero, calcolo, intenzionalità, pianificazione. Queste sono tutte nozioni derivate, non elementari. Esse emergono quando consideriamo strutture complesse fatte di tanti atomi, come gli esseri viventi, che sono in grado di modulare le probabilità delle loro decisioni e risposte. Ma le decisioni rimangono sempre casuali. Per la precisione,

rimangono di natura quantistica.

I comportamenti di un bambino appena nato sono completamente casuali, perché le distribuzioni di probabilità delle sue decisioni sono “piatte”, cioè tutte le opzioni sono essenzialmente equiprobabili, che il bambino si metta in pericolo o apprenda un’utile lezione di vita. Man mano che il neonato cresce, i suoi movimenti cominciano a sembrare più regolari. Ogni volta che sperimenta le conseguenze delle sue azioni e si accorge che una certa azione causa dolore, un’altra piacere, e così via, i suoi processi cerebrali modificano le distribuzioni di probabilità delle azioni stesse. Questo aggiustamento

cambia la probabilità che in futuro il bambino prenda una decisione simile in un contesto simile. Un dolore o una perdita abbassano la probabilità di rifare la stessa azione, mentre un piacere o un guadagno la aumentano. Col passare delle settimane, poi dei mesi, poi degli anni, il bambino immagazzina informazioni e il suo cervello comincia a dotarsi di una struttura più elaborata, nella quale le varie decisioni non sono più equiprobabili, ma hanno distribuzioni di probabilità modulate.

Questo è ciò che fa di ciascuno di noi ciò che siamo, ciò che ci distingue dagli altri individui. La nostra indole è dovuta alla distribuzione modulata di

probabilità, che ci fa propendere verso reazioni di un certo tipo piuttosto che un altro. Fatto salvo, però, che ogni decisione rimane pur sempre casuale, frutto di fenomeni quantistici.

In un certo senso, la vita è una sequenza interminabile di getti di dadi (quantistici). E la morte? Cos'è la morte? Abbiamo detto che l'amplificazione dell'indeterminazione quantistica a scale di grandezza macroscopiche è comunque un evento raro nell'universo, altamente sfavorito. È chiaro che ogni volta che accade è soggetto alla possibilità di sparire rapidamente. È in grado di autosostenersi per un tempo più o meno lungo, ma non in eterno. Si tratta

in fondo di combinare gli atomi in una maniera molto particolare. Sappiamo che nella stragrande maggioranza dei casi combinare atomi in strutture più grandi porta ad una soppressione degli effetti dell'indeterminazione quantistica, non alla loro amplificazione. Tutte le volte che l'amplificazione riesce, come negli esseri viventi, è anche debole, di incerta durata e soggetta ad un decadimento relativamente rapido. La morte è la transizione di fase che porta da una combinazione di atomi che amplifica l'indeterminazione quantistica ad una qualunque combinazione che la sopprime. È chiaro che negli esseri viventi il margine di

tolleranza ai cambiamenti non è molto grande, mentre la natura morta può cambiare in una grandissima varietà di modi, restando appunto natura morta.

L'identificazione della natura fisica della vita ci porta naturalmente al progetto di creare la vita artificialmente. Se la vita è quello che abbiamo detto, è chiaro che a questo punto siamo pronti a prendere del fango e a trasformarlo in vita. Cioè, possiamo prendere il fango, staccare gli atomi uno ad uno e ricomporli in un'altra maniera, più oculata, in modo da amplificare gli effetti dell'indeterminazione quantistica a livello macroscopico, invece che sopprimerli. Pertanto, siamo finalmente in grado di creare la vita

artificiale, cominciando dalla realizzazione (e magari vendita) di piccoli robot quantistici, che potrebbero pure avere un grande successo commerciale. Perché non provarci?

Ora che abbiamo rivelato il principio fondamentale della vita, possiamo applicarlo come vogliamo. Possiamo realizzare l'amplificazione seguendo percorsi molto diversi da quello che ha portato alla vita biologica. Inoltre, se realizziamo la vita artificiale, possiamo anche togliere ogni dubbio sulla natura della vita stessa. Infatti, per dimostrare definitivamente che la vita è l'amplificazione dell'indeterminazione quantistica a scale macroscopiche

abbiamo davanti a noi due strade percorribili. Una è quella di studiare le forme di vita esistenti e cercare, come fa la biologia, di capire come funzionano. Questa via, però, presenta delle difficoltà simili a quelle degli esperimenti di meccanica quantistica. Precisamente, se vogliamo capire il funzionamento interno di una cellula vivente finiamo coll'ucciderla. Cioè, a questo livello, l'osservazione del sistema ha un impatto così grande sul sistema osservato da stravolgere il risultato, per cui non sapremo più se il risultato trovato si riferirà al sistema originario o al nostro stravolgimento. Potrebbe essere assolutamente impossibile cogliere la vita sul fatto, "al

volo”, senza ucciderla.

Ma esiste una seconda via. Se costruiamo la vita artificiale come amplificazione dell'indeterminazione quantistica, in un giorno non lontano saremo circondati da esseri animati quantisticamente, cioè esseri che decidono liberamente cosa fare, invece che limitarsi, come i normali robot, ad obbedire ai loro padroni. E allora sarà difficile rifiutarsi di chiamarli vivi. Pertanto, la realizzazione della vita artificiale può anche servire a dimostrare la natura della vita in maniera definitiva.

Cominciamo anche a capire che l'universo ha un “verso”, una direzione precisa, un orientamento nel

senso delle scale di grandezza relative. Alle grandi distanze, quelle astronomiche, il mondo è deterministico: non c'è alcuna libertà; la natura è vincolata ad obbedire appunto a leggi deterministiche, per cui il futuro segue univocamente dal passato. Ma quando scendiamo a distanze microscopiche tutto cambia, e ogni atomo prende decisioni sue. Nel mezzo, alle nostre scale di grandezza, il mondo è prevalentemente deterministico. Con una notevole eccezione: noi, cioè la vita. Per ora ci accontentiamo di questo. Avremo molto di più da dire sull'argomento in seguito.

4

Cosa siamo? Vita naturale e vita artificiale

Abbiamo capito che la vita è l'amplificazione dell'indeterminazione quantistica dalle scale atomiche alle scale macroscopiche. Si tratta di un'amplificazione altamente sfavorita, perché, nella stragrande maggioranza dei casi, quando mettiamo insieme un gran numero di atomi,

l'indeterminazione
sparisce.

quantistica

I fenomeni creativi che permettono al singolo atomo di decidere se andare a destra o a sinistra dopo aver attraversato una fenditura, e quindi determinare un futuro che non è predeterminato dal passato, sono fortemente depressi a scale di grandezza macroscopiche. La sedia su cui sono seduto è stabile. I suoi atomi non hanno nessuna libertà di scelta, né di movimento. In un certo senso, si stanno “pestando i piedi” l'un l'altro, incastrati dentro una struttura macroscopica creata da loro stessi. Un'auto, un satellite, un pallone da calcio obbediscono a leggi deterministiche, in cui gli effetti

quantistici sono trascurabili e il futuro è univocamente determinato dal passato.

Questo è ciò che succede nel caso generale: i modi più semplici, più naturali e spontanei di mettere insieme molti atomi uccidono ogni indeterminazione quantistica e quindi ogni forma di libertà. Per amplificare la libertà microscopica e farla emergere fino alle distanze macroscopiche c'è bisogno di mettere insieme gli atomi in maniera particolarmente oculata. Il fatto che il mondo microscopico sia un brulicare di eventi quantistici, ciascuno dei quali è per sua natura creativo e quindi rappresenta una ricerca, un tentativo, una prova e magari

un errore, mostra che l'universo è fornito di un'attività perenne ed inesauribile di ricerca di strade per amplificare quella stessa libertà. Ma quella frenetica ricerca riesce a raggiungere lo scopo, alla fine?

Il passo successivo è fare un calcolo per determinare qual è la probabilità che l'amplificazione avvenga effettivamente. Vogliamo stimare quante probabilità ci sono che la natura trovi per davvero la strada giusta. Sappiamo quanti sono gli atomi dell'universo visibile (non sono nemmeno tanti, per la verità, perché l'universo è essenzialmente vuoto). Sappiamo qual è l'età dell'universo (molto giovane, sotto vari punti di

vista). Possiamo dunque stimare la probabilità che la vita si formi.

Le stelle sono centomila miliardi di miliardi. Ciascuna ha i suoi pianeti. Per ora, a quanto ne sappiamo, solo uno di questi pianeti ospita la vita. E, a dire il vero, soltanto una piccola parte della materia del pianeta terra ha operato l'amplificazione richiesta, la stragrande maggioranza del pianeta essendo natura morta. Se calcoliamo quant'è la materia vivente sulla terra, mettendo insieme noi, i batteri, le piante, gli altri animali, ecc., troviamo un risultato abbastanza modesto. Ne concludiamo che la probabilità di realizzare l'amplificazione dell'indeterminazione quantistica

nell'universo è piccolissima. Ma occorre essere più precisi, e l'unica maniera per essere precisi è fare un calcolo per bene.

Supponiamo che tutti gli atomi dell'universo siano liberi, a differenza di quelli del tavolo su cui scriviamo, cioè siano tutti in attività per cercare la strada dell'amplificazione, generando tentativi a ripetizione. Supponiamo che così sia stato ininterrottamente dalla nascita dell'universo, quattordici miliardi di anni fa, e che continui ad essere così per sempre. Ebbene, è possibile, sotto queste ipotesi, che venga generata, da qualche parte dell'universo, l'amplificazione richiesta? Cioè che

l'indeterminazione quantistica sia portata dalle distanze microscopiche a quelle macroscopiche? Fino a produrre una cellula, o un acido nucleico?

La risposta è no. Assolutamente no. Il risultato del calcolo mostra che la probabilità che questa attività, per quanto continua ed indefessa, produca qualcosa di macroscopico e vivo, da qualche parte dell'universo, è uguale a zero. Per la precisione, è un numero così piccolo, ma così piccolo, che non si otterrebbe una cellula vivente neanche mettendo in fila miliardi di miliardi di universi vecchi come il nostro. Insomma, il risultato implica che noi esseri viventi sulla terra non dovremmo assolutamente esistere. Non dovremmo

mai essere apparsi, né avrebbero dovuto apparire i nostri predecessori, né le piante, né i batteri. La vita non avrebbe potuto comparire in nessun luogo dell'universo. È chiaro che stiamo sbagliando qualcosa. Ci deve essere qualcosa in più.

Ebbene, il calcolo che ho menzionato porta a questo risultato perché ho assunto di non sapere nulla delle proprietà della natura. In particolare, ho assunto che la natura non abbia nessuna predisposizione a favorire, agevolare, cioè aiutare in qualche modo, l'amplificazione richiesta, e che tutto sia dunque demandato ad un grezzo conteggio di probabilità. Inoltre, ho immaginato che

l'amplificazione dalle scale microscopiche alle scale macroscopiche debba avvenire in un colpo solo, con un unico balzo. È veramente chiedere troppo: in nessun universo sarà mai possibile qualcosa del genere.

Ma se, invece, supponiamo che la natura sia predisposta a venire incontro al processo di amplificazione, allora il risultato del calcolo è completamente diverso. Per esempio, la natura potrebbe essere predisposta in modo da suddividere il lavoro, affinché, invece di raggiungere le scale macroscopiche con un unico balzo, sia possibile diluire il compito in dieci salti successivi, ciascuno dei quali amplifichi di un fattore dieci soltanto (vedi figura 8).

Diciamo dieci balzi da dieci, per semplificare un po' e far capire il concetto base. Potremmo avere balzi di fattori un po' diversi, ma non troppo. Per esempio, un balzo che amplifichi di un fattore cento è inaccettabile. Il calcolo mostra che, se un tale salto fosse necessario, l'amplificazione si arresterebbe irrimediabilmente. Anche l'amplificazione di un fattore trenta è altamente sfavorita dalle leggi probabilistiche. A fatica potremmo accettare un balzo da venti. Molto meglio una sequenza di balzi che amplifichino ciascuno di un fattore compreso tra nove e dodici. Per arrivare alle cellule, ne possono bastare una decina, tredici al massimo.

La decina di tappe non è stata individuata con precisione dalla biologia, ma potremmo pensarla come segue: dall'atomo singolo a molecole di una decina di atomi, da quelle a macromolecole fatte di più decine di atomi, per esempio le basi del DNA, da quelle a frammenti di DNA, fatti di una decina di basi, da quelli ai DNA più semplici, prima passando a centinaia di basi, poi a un migliaio di basi, da quelli ad antenati di cellule senza membrana esterna, simili agli attuali virus, da quelli ai procarioti, da quelli agli eucarioti unicellulari, da quelli agli esseri multicellulari.

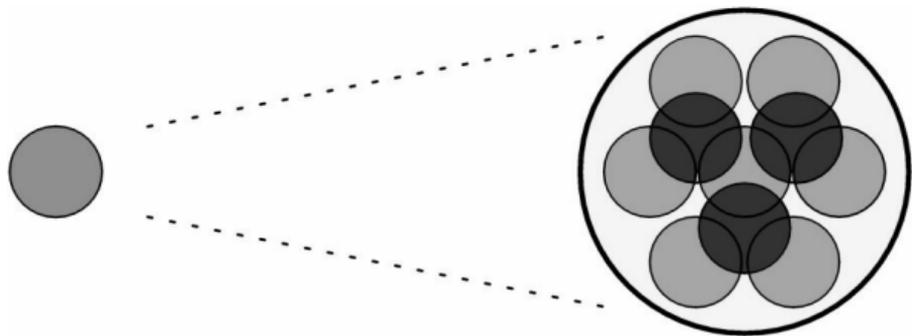


Fig. 8 | Amplificazione elementare da uno a dieci

Ora, se rifacciamo il calcolo delle probabilità suddividendo il percorso in una decina di tappe che amplificano di un fattore dieci ciascuna, invece di pretendere di saltare al risultato finale con un unico balzo, il risultato che troviamo è strabiliante: la probabilità che l'amplificazione sia realizzata è uguale a uno. Non zero, ma uno! Cioè, il 100%! Il ch  vuol dire che

l'amplificazione si realizza sempre, in tutti i casi in cui può farlo, con certezza assoluta.

Ci siamo resi conto, credo, che amplificare l'indeterminazione quantistica dal mondo microscopico al mondo macroscopico è un'impresa titanica. E genericamente senza speranze. A meno ché, come abbiamo appena visto, la natura non fornisca un aiuto affinché questo accada, cioè un meccanismo a gradini che la agevoli, una specie di scala che permetta l'arrampicata. Ma come si fa a sapere se la scala c'è effettivamente? La scala biologica delineata prima, per esempio, è sufficiente? Fa il lavoro richiesto?

In realtà, per rispondere a questa domanda non è nemmeno necessario identificare la scala con precisione, perché il risultato del calcolo è così potente da rispondere in maniera esaustiva. Basta a se stesso. La conclusione è la seguente. Se la natura non è provvista della scala richiesta, la probabilità di realizzare l'amplificazione dell'indeterminazione quantistica a distanze macroscopiche è zero, come detto. Se, invece, la natura è provvista della scala richiesta, la probabilità è uno. Il processo di amplificazione richiede alla natura di portare a termine un'impresa così impegnativa che non sono ammesse vie di mezzo. O è sì,

sempre e comunque. O è no, sempre e comunque. La stessa amplificazione è una biforcazione. Ciò vuol dire che, a livello macroscopico, o il mondo è ovunque morto, o il mondo è ovunque vivo, cioè vivo in tutti i pianeti in cui ci sono le condizioni adatte a generare vita (in quanto a dimensioni, temperatura, atmosfera, ecc.). Ma siccome noi sappiamo che il mondo macroscopico non è ovunque morto, perché noi esistiamo, questo ci porta a concludere che:

- a) il meccanismo di amplificazione a scalini deve necessariamente esistere,
- b) tutti i pianeti dell'universo che permettono la vita sono già abitati.

Ciò vuol dire che nell'universo ci potrebbe essere un pianeta abitato per ogni stella, che vorrebbe dire (almeno) centomila miliardi di miliardi di pianeti abitati. Ma anche se ce ne fosse solo uno ogni centomila stelle, avremmo comunque un miliardo di miliardi di pianeti abitati.

Presumibilmente, questi pianeti ospitano forme di vita simili alla nostra, con esseri più o meno intelligenti di noi, e civiltà più o meno avanzate della nostra. Forse alcuni ospitano forme di vita completamente diverse. Ciò che è certo è che non siamo soli nell'universo.

C'è chi sostiene che qualche miliardo di anni fa il pianeta Venere fosse abitabile, e che sia rimasto

abitabile per qualche miliardo di anni. Se questo fosse vero, allora in base ai calcoli che ho fatto è stato sicuramente abitato. Oggi il pianeta si trova in condizioni che non ne rendono facile l'esplorazione, ma se davvero siamo interessati a trovare i primi segni di vita extraterrestre, è da Venere che dovremmo cominciare.

Ad ogni modo, la cosa più importante che abbiamo imparato è che possiamo produrre e studiare nuove forme di vita direttamente sulla terra. La creazione della vita artificiale, un obiettivo alla portata di noi umani, è l'undicesimo gradino dell'amplificazione dell'indeterminazione quantistica a

scale macroscopiche. Una volta che avremo raggiunto l'obiettivo, passeremo il testimone agli esseri viventi artificialmente, affinché siano loro a cercare la via per fare i salti successivi.

Agli albori della meccanica quantistica, molti pensatori, fisici e filosofi, si chiesero se ci fosse qualche relazione tra la libertà dell'atomo che decide quale direzione prendere dopo essere passato attraverso una fenditura, e il libero arbitrio di noi esseri umani. Le discussioni che ne seguirono furono vivaci, ma non portarono a molto. A lungo andare furono abbandonate. Più recentemente, Karl Popper riconsiderò la questione. Seguendo le intuizioni di Arthur Holly Compton, uno dei grandi

fisici che contribuirono alla meccanica quantistica, pensava che una qualche relazione tra il libero arbitrio e l'indeterminazione quantistica ci fosse davvero. Tuttavia, la conclusione a cui giunse fu che le nostre scelte non possono essere spiegate unicamente dall'indeterminazione quantistica, ma devono necessariamente coinvolgere qualcos'altro. Ebbene, non fu mai in grado di dire che cosa.

Credo che i pensatori del passato sbagliassero, per una serie di motivi. Per prima cosa, il "qualcos'altro" invocato da Popper non può essere un fenomeno fisico, perché i fenomeni fisici che hanno luogo alle scale atomiche ci sono ormai familiari e non mostrano

nient'altro che ciò di cui abbiamo parlato finora. Pertanto, Popper sconfinava nella metafisica. In secondo luogo, non esiste alcun libero arbitrio. Non c'è un "io", un soggetto che decide. Di nuovo, la fisica non ci mostra alcun fenomeno a sostegno di questo tipo di idee, per quanto comuni o naturali ci sembrano. Esse non appartengono alla fisica.

Capovolgiamo il discorso. Supponiamo di partire unicamente dall'indeterminazione quantistica. Cioè rigettiamo qualunque altra nozione, a livello fondamentale, come la volontà, lo stesso libero arbitrio (comunque lo si voglia intendere o definire), la coscienza, la razionalità,

l'intelligenza, il pensiero, l'intenzionalità, la finalità. Oppure, confiniamo questi concetti a ruoli secondari, cioè emergenti, derivati, non fondamentali, non elementari. La domanda che dobbiamo farci è la seguente: è possibile spiegare tutto facendone a meno? Unicamente con l'indeterminazione quantistica? Ebbene, la risposta è sì.

I “veri getti di dadi” che ci fornisce la meccanica quantistica ci permettono di spiegare tutto quello che ci serve, e anche creare la vita artificialmente. In particolare, quando prendiamo delle decisioni, crediamo di essere “noi” a prenderle, ma le nostre azioni maggiormente premeditate non sono

altro che il frutto del gioco del “caso”. A farci credere che siamo noi a decidere è un insieme di rielaborazioni interne che avvengono nel nostro cervello dopo che la decisione è stata già presa in noi (ma non “da” noi), quantisticamente. Quelle rielaborazioni interiori consistono nel rimetterla in discussione, smentirla, cambiarla, oppure, ma sempre in modo quantistico, cioè casuale, confermarla. È chiaro che le nostre decisioni, a differenza forse di quelle degli esseri viventi più semplici, non sono dovute ad un singolo fenomeno quantistico, cioè un singolo atomo che decide se andare a destra o a sinistra attraversando un piccolo ostacolo. In

generale, i processi sono più complessi e coinvolgono molti eventi quantistici allo stesso tempo. Tuttavia, discendono tutti dallo stesso principio, l'indeterminazione quantistica. La complessità ci dà l'illusione che ci sia qualcosa in più, ma questo qualcosa in più non esiste a livello fondamentale, cioè è un effetto secondario, che emerge dai fenomeni elementari che abbiamo descritto.

Dobbiamo immaginare il nostro cervello come diviso in due livelli principali. Il livello inferiore prende decisioni che si traducono più o meno direttamente in azioni sul mondo esterno. Le decisioni più importanti, tuttavia, hanno luogo nel livello superiore. Esse

non agiscono immediatamente sull'esterno, ma modulano le distribuzioni di probabilità delle scelte del livello inferiore. In questo modo, fanno di noi ciò che siamo. Determinano le nostre inclinazioni, il nostro carattere. Il livello superiore potrebbe essere identificato coll'inconscio. Il sistema a due livelli ci permette di rielaborare le decisioni, dopo che sono state già prese, quantisticamente. Questo ci fa credere, erroneamente, che siamo "noi" a prenderle.

In tenera età, da bambini appena nati, esploriamo il mondo che ci circonda in modo completamente casuale: tutte le scelte che facciamo

sono più o meno equiprobabili, cioè hanno distribuzioni di probabilità essenzialmente piatte, indipendentemente dalle loro conseguenze. Prova ed errore dopo prova ed errore, impariamo, a poco a poco, dalle conseguenze delle nostre azioni. Scopriamo che alcune di quelle azioni sono convenienti, altre sono dannose. Ma come viene fissato nel nostro cervello questo apprendimento? Le conseguenze di ciascuna nostra azione, che siano perdite o guadagni, chiamano in causa il livello superiore del nostro cervello, soprattutto durante il sonno. Il livello superiore prende delle decisioni, sempre quantisticamente, che rimodulano le

distribuzioni di probabilità del livello inferiore, quello che agisce direttamente sull'esterno. In futuro, la probabilità di ripetere l'azione o compiere un'azione simile non sarà più piatta, ma favorirà un po' di più l'esito favorevole rispetto a quello sfavorevole.

Grazie a questo tipo di processi interni di apprendimento, la nostra persona cambia, poco o tanto alla volta. Nel bambino il cambiamento è più evidente, nell'adulto meno. Tuttavia, avviene sempre ed è fondamentalmente dello stesso tipo. Un cambiamento grande, nell'adulto, può essere percepito come un cambio di vita.

Nessuno di noi è in grado di

affermare con certezza e precisione quando, come o perché fa o ha fatto una certa scelta invece che un'altra. Come mai? Il punto è che, quando noi rielaboriamo le decisioni, esse sono già state prese, dentro di noi, in modo quantistico. Di solito, una decisione non è tradotta immediatamente in azione. Il ritardo tra la decisione e l'azione permette di "percepire" la scelta interiormente, ed eventualmente rimetterla in discussione. Ciò ci dà la sensazione che questa rielaborazione interna sia l'origine della decisione stessa. Ma nella nostra mente non avviene nulla di assimilabile a ciò che chiamiamo volontà, perché non esiste nessuna possibilità in natura di

generare decisioni diversamente da come la meccanica quantistica ci ha mostrato.

Noi, in fondo, siamo fatti di atomi. Siamo semplicemente agglomerati di atomi raggruppati in maniera diversa da come sono raggruppati nel tavolo che sta davanti a noi, nella sedia o negli altri esseri viventi. La materia vivente è una fase particolare della materia. Gli atomi che costituiscono noi non possono che obbedire alle leggi fisiche a cui obbediscono tutti gli atomi dell'universo. E nella natura, nelle leggi della fisica, non emerge nulla che abbia qualcosa a che vedere con quelle cose che chiamiamo volontà, o libero arbitrio, o coscienza. Tanto che è ben

difficile usare termini come questi a proposito dei neonati. Ma se non possiamo attribuire volontà, libero arbitrio o coscienza ad un bambino di due giorni, è chiaro che tali concetti non sono fondamentali, non sono propri dell'essere umano in quanto tale, meno che meno degli esseri viventi, ma proprietà derivate, acquisite nel corso del tempo, con la crescita, l'esplorazione del mondo esterno, l'educazione. E pertanto non possono appartenere alla sfera di ciò che dobbiamo chiamare fondamentale, o elementare.

Cos'è la coscienza, per esempio? Quando il neonato sperimenta le conseguenze delle sue azioni,

immagazzina informazioni sulla convenienza o meno delle stesse, e rimodula le probabilità di ripetere azioni simili in base ai risultati che ottiene. A poco a poco arriva ad accumulare un bagaglio sufficientemente ricco di informazioni da potersi autogestire agevolmente e con un certo grado di confidenza. E nel momento in cui un essere vivente è in grado di anticipare le conseguenze di una grande varietà di azioni, e prendere decisioni sulla base di quelle informazioni, possiamo dire che è cosciente di se stesso e di ciò che lo circonda, come della relazione tra se stesso e il resto.

È una conclusione che ovviamente

non vale solo per gli esseri umani, ma anche gli animali, almeno quelli più evoluti, tra cui molti animali domestici. Anche loro, dopo qualche anno di vita, cominciano ad associare in maniera abbastanza precisa comportamenti e conseguenze, cominciano a saper come comportarsi per produrre delle conseguenze volute, e come evitare conseguenze sgradite. Per quanto semplici possano apparire a noi le associazioni fatte dagli animali, non sono di tipo essenzialmente diverso dalle nostre.

In conclusione, il processo di apprendimento è fatto di una sequenza interminabile, attivata dall'indeterminazione quantistica, di

tentativi, di prove e di errori, di successi e di fallimenti. Il bambino prova, riprova, magari sbaglia, ogni tanto trova una strada giusta, e quindi apprende, cambia, cresce, modula le probabilità delle sue risposte, fino a “diventare cosciente”.

A livello delle specie, il processo di apprendimento è quello che chiamiamo evoluzione. L'evoluzione riguarda la totalità degli individui della specie, che non sono collegati l'uno all'altro da sensazioni interne. Possiamo immaginare l'evoluzione come un apprendimento non cosciente, cioè un tipo di apprendimento che non porta a sviluppare quella che chiamiamo

coscienza.

Per esempio, il metodo di apprendimento degli insetti e di molti altri esseri più semplici è fondato sul numero di individui. Ogni volta che si riproducono, generano un grandissimo numero di nuovi individui. Grazie alle proprietà quantistiche della vita, e quindi della riproduzione, i nuovi nati sono tutti unici e diversi. Appena possono, si mettono ad esplorare il mondo esterno. Tantissimi di loro vengono implacabilmente soppressi dalla selezione naturale, perché inadatti. Tuttavia, anche nel caso in cui ne sopravviva solo un decimo, o un centesimo, i sopravvissuti sono comunque un numero sufficiente a

garantire la continuazione della specie, e hanno il vantaggio di essere formidabilmente adatti all'ambiente. Questo è il modo con il quale gli insetti "esplorano" e arrivano a "conoscere" il mondo che li circonda. Percorrendo tutte le strade che possono percorrere, individuano abbastanza facilmente quella giusta e scoprono cosa sta intorno a loro. Possono anche non "vederlo", possono anche non esserne "coscienti", possono anche non usare quella che noi chiamiamo intelligenza, e infatti non ne sono nemmeno provvisti, ma sicuramente quello che applicano è un modo molto efficace per arrivare rapidamente ad identificare e conoscere l'ambiente in cui vivono.

Ciascuno dei sopravvissuti, poi, genera altri nuovi individui, in grande quantità, ognuno dei quali si mette in cammino per continuare l'esplorazione. E avanti di questo passo, di generazione in generazione. Capiamo benissimo che anche se solo un decimo o un centesimo degli individui sopravvive ogni volta, con questo metodo bastano poche generazioni per raggiungere un livello ottimale di "conoscenza" dell'ambiente esterno. E questa conoscenza è "memorizzata" nella costituzione stessa degli individui sopravvissuti, cioè nel loro DNA.

Esplorare tutte le strade alla propria portata è, in verità, l'unico "metodo" che la natura ci mette a

disposizione. Anche quando lo scienziato fa ricerca, non fa altro che esplorare tutte le strade che sono alla sua portata. È precisamente con questo metodo che ho trovato la soluzione al problema della gravità quantistica, di cui parleremo più avanti.

Mentre gli insetti esplorano opzioni diverse generando individui diversi, ciascuno dei quali ne esplora una, noi possiamo esplorarne tante grazie alla nostra mente, con lo sforzo che ci permettono di fare la nostra immaginazione, l'astrazione, il ragionamento e l'intelligenza. Ciascuno di noi può simulare tanti esperimenti e anticipare i loro risultati senza doverli realizzare praticamente. Poi,

confrontando i risultati delle simulazioni fra loro, possiamo individuare l'opzione migliore, e realizzare solo quella, risparmiando molto tempo e sforzo. Ma, alla fine, il tipo di lavoro che facciamo, noi e gli insetti, è sempre lo stesso: provare tutte le strade a noi accessibili. E, a ben guardare, provare tutte le strade accessibili non è proprio di chi è intelligente, "superiore". È proprio di chi non ha niente di meglio a disposizione.

E quindi torniamo al punto da cui siamo partiti: non esiste in natura l'"intelligenza", a livello fondamentale, come non esistono la volontà e la coscienza. Esistono soltanto i getti (quantistici) di dadi, il caso,

l'indeterminazione quantistica. Quest'ultima basta e avanza ad animare il mondo, fornendo una macchina inesauribile di prove ed errori, esplorando una per una tutte le vie accessibili per individuare la strada che le permette di emergere a scale di grandezza sempre maggiori. Noi chiamiamo intelligenza semplicemente la capacità di un individuo singolo di provare tante strade con un lavoro mentale, memorizzando i risultati per non rimettersi a percorrere strade già rivelatesi inutili, e quindi economizzare sui tentativi futuri.

In molti casi questo tipo di processi mentali sono utili, ma non esiste in

natura la possibilità di prendere scorciatoie con certezza assoluta, cioè anticipare quali strade possiamo fare a meno di percorrere e quali portino a destinazione. Eccetto che in casi molto, ma molto rari, che sono poi i casi in cui rimane da percorrere soltanto “l’ultimo miglio”. Solo allora possiamo prevedere ciò che ci aspetta senza fare troppo sforzo. Questo vale tanto per l’evoluzione, quanto per il progresso della scienza.

Per esempio, la scoperta del bosone di Higgs, fatta nel 2012, fu quasi a colpo sicuro, perché il modello standard (la teoria che spiega tre interazioni della natura su quattro – di cui parleremo in dettaglio più avanti)

era quasi completo, e quella scoperta era solo il tassello finale, l'anello mancante, l'ultimo miglio. D'altra parte, quando siamo costretti a brancolare nel buio più totale, che vuol dire partire dalla totale assenza di dati e di informazioni, senza indizi e dovendo costruire tutto dal nulla, la probabilità che abbiamo di azzeccarci colla sola forza delle nostre facoltà mentali, la nostra immaginazione, è bassissima, praticamente zero. Siamo condannati, come tutti gli esseri viventi della natura, a provare ciecamente tutte le strade. Fidarsi del nostro intuito, e dell'istinto, o della nostra intelligenza, per scartare a priori un sottoinsieme di quelle, può andare bene un certo numero di volte o

per un certo insieme di scopi, ma fallisce a lungo andare. E poi, siamo costretti a penare parecchio per tornare indietro e capire cosa abbiamo dato per scontato, dove si nasconde l'anello che non tiene. Così è capitato a me. Come vedremo più avanti, ho dovuto perlustrare la teoria dei campi quantistici (l'apparato teorico di cui fa parte il modello standard) in lungo e in largo prima di individuare quell'unica piccola porta che i miei predecessori avevano chiuso troppo in fretta, la porta che conduceva, con mia grande sorpresa, alla formulazione della gravità quantistica.

Cos'è che ci fa azzeccare la mossa giusta o sbagliare, se non il caso? Alla

fine dobbiamo concludere che nella vita, nostra come degli altri esseri viventi, non esiste nulla più che la casualità, una casualità di cui però ora conosciamo l'origine fisica, ciò che ci permette di usarla per costruire altre forme di vita, seguendo un percorso simile a quello della vita naturale, come qui descritto, oppure esplorando percorsi mai immaginati finora.

5

Il nostro futuro, il nostro destino

A questo punto ci possiamo chiedere: che ne sarà di noi, della specie umana, dopo che avremo portato a termine la nostra missione di creare la vita artificiale? Pensare a questo mi ha divertito al punto che ci ho scritto sopra la sceneggiatura di un film. Forse non lo vedremo mai nei cinema, visto che sarebbe molto costoso e richiederebbe un impiego massiccio di effetti speciali, ma... mai dire mai: ne potrebbe anche uscire un colossal avvincente, che

potrebbe avere successo e coprire le spese. È utile sospendere il nostro viaggio un attimo per raccontare la storia di questo film, perché ci dà modo di riflettere su tante cose e capire meglio parecchi concetti.

La storia comincia con una rimpatriata di tre ragazzi. Erano stati compagni di classe alle scuole superiori, poi si erano separati per fare gli studi universitari e avevano proseguito ciascuno per la propria strada. La compagnia è composta da un fisico, una biologa e un imprenditore. A cena, di fronte ad una pizza, Connors, il fisico, butta lì un'idea, scherzando: "Ho risolto il mistero della vita. So cos'è. A dire il vero, è la meccanica

quantistica a dirmelo. Beh, sia come sia, so come creare la vita artificiale”, dice. Gli altri due la prendono come una battuta spiritosa e trovano la cosa divertente. Nemmeno Connors, in fondo, è veramente convinto di quello che dice. Tuttavia, la curiosità spinge i suoi due amici a chiedere spiegazioni, e, di fronte a quelle, i tre cominciano a convincersi che la cosa sia in fondo verosimile, al punto che l'imprenditore fiuta la possibilità di fare un grosso affare.

I nostri tre amici decidono di punto in bianco di aprire un'impresa per costruire e vendere giocattoli quantistici. Si tratta di piccoli “robot”, che in realtà non sono affatto dei robot, perché prendono decisioni

completamente libere, quantistiche appunto. Sono anche dotati di intelligenza artificiale, per cui, grazie all'interazione coll'ambiente, imparano dalle conseguenze delle loro azioni e modulano le distribuzioni di probabilità delle loro scelte future. All'inizio i loro movimenti sembrano molto irregolari ed erratici, casuali, più o meno come quelli di un bambino appena nato. Ma le esperienze che fanno permettono loro di "crescere" e sviluppare la capacità di fare movimenti più "sensati" e regolari, anche se le loro decisioni rimangono sempre di natura quantistica, quindi non predeterminabili.

Come si può facilmente

immaginare, le vendite dei giocattoli quantistici vanno a gonfie vele. In due anni il successo raggiunge livelli strepitosi. Di fronte all'aumentare vertiginoso della domanda, i tre devono necessariamente espandere l'azienda che hanno creato.

Uno dei problemi più grossi della nostra società è la solitudine. La gente vuole compagnia. E così, dopo il grande successo dei giocattoli quantistici, i consumatori pretendono animaletti da compagnia. La ditta messa in piedi dai tre giovani comincia a produrre e vendere infinite varietà di animaletti quantistici da compagnia massimamente personalizzabili, con un successo ancora più travolgente.

Ma i consumatori vogliono ancora di più. Chiedono esseri che possano sì tenere loro compagnia, ma in forme più elevate ed evolute. Esseri con cui sia possibile anche parlare. Insomma, vogliono degli “amici artificiali” personalizzabili, degli amici quantistici. E qui si pone un problema, perché la creazione di esseri viventi artificiali che siano anche intelligenti come gli umani comporta dei grandi rischi. Potrebbero “ribellarsi” e causare problemi, perfino uccidere gli umani loro padroni. Per contenere il pericolo, i nostri amici decidono di produrre degli esseri viventi con l’intelligenza di un bambino di cinque anni e non di più.

Il successo è ancora travolgente, e

la domanda aumenta al punto che starci dietro diventa impossibile.

E qui si attraversa il punto di non ritorno. I nostri amici si chiedono: “perché non creare esseri viventi di intelligenza limitata che possano prodursi da soli?” Prodursi – ragionano – non *riprodursi*, perché il secondo obiettivo è forse ancora troppo difficile da raggiungere. I tre optano per dare ai q-droidi (così cominciano a chiamarli) conoscenze e abilità sufficienti, affinché possano produrre altri esseri simili a loro. In questo modo, pensano i nostri, sarà possibile soddisfare la domanda sempre crescente facendo fare ai q-droidi il grosso dello sforzo.

Passano gli anni, nel corso dei quali quegli esseri quantistici, intelligenti quanto un bambino di cinque anni e in grado di prodursi da soli, vengono generati a milioni e milioni, fino a sfondare la soglia del miliardo. Siccome ogni evento che li coinvolge, e in particolare ogni evento che coinvolge la produzione di nuovi individui, è di natura quantistica, e per ciò stesso incontrollabile e creativo, ad un certo punto capita l'imprevisto. Nasce un individuo, uno soltanto, un pochino più intelligente degli altri, quel tanto che basta per fargli fare il salto di qualità. E da lì non si tornerà più indietro.

Lo chiameremo Qq. Qq ha sete di

conoscenza, raccoglie informazioni a più non posso, soprattutto da internet. Di nascosto, quando è chiamato a produrre altri droidi quantistici, ne approfitta per lavorare su se stesso e migliorarsi, evolversi. A poco a poco acquista un'intelligenza pari quella di un adulto, pur continuando a mantenere l'aspetto di un bambino di cinque anni. Inevitabilmente, Qq comincia a rimuginare su se stesso e la sua situazione, la sua "specialità", e a poco a poco sviluppa un piano per sconfiggere gli umani e conquistare il pianeta.

A un certo punto, Qq si dota delle sembianze di un umano adulto per rimanere in incognito. Costruisce una

copia non evoluta della sua versione infantile e la manda ai suoi padroni umani. Così, gli umani non notano l'assenza di Qq e non si insospettiscono.

Nei mesi seguenti, Qq costruisce una sua fabbrica di esseri viventi artificiali e dà vita ad altri q-droidi intelligenti come lui, tutti con sembianze umane per non essere notati. Nel giro di qualche anno, i q-droidi diventano più intelligenti degli esseri umani, diventano superiori.

Quando raggiungono una popolazione sufficiente, qualche centinaio, molti di loro, tra qui Qq, si trasferiscono in una zona impervia del Canada. Vi installano una fabbrica di prodotti di ogni tipo, soprattutto

tecnologici, che chiamano “Exact science productions” (“Produzioni scienza esatta”), dove sfornano ogni sorta di prodotti, specialmente tecnologici. Forti della loro superiorità in intelligenza, riescono a battere la concorrenza di tutti gli umani. Col passare degli anni invadono il mercato globale con prodotti molto avanzati e a basso costo, super smart phones, computer superveloci, auto e aerei a guida autonoma. Ciò porta ad un progresso mai visto.

Di lì a qualche anno le auto a guida autonoma di nuova generazione sono tutte interconnesse. Conoscono in ogni istante la posizione di tutte le altre. Questo permette loro di muoversi in

maniera molto spedita senza rischiare incidenti. Non si fermano nemmeno agli incroci, ma rallentano quanto basta per alternarsi colle auto che si muovono perpendicolarmente. Un progresso simile in campo aerospaziale permettere di costruire aerostazioni in mezzo alle città, su piani sopraelevati, dove si possono prendere aerei a guida autonoma colla frequenza con cui si prende la metropolitana.

Gli esseri umani non si rendono ancora conto di nulla. Per loro, i canadesi sono semplicemente dei competitori loro simili molto fortunati e particolarmente dotati.

Pian piano i q-droidi conquistano il mercato globale e la Exact Science

Productions si impone come l'unica compagnia del mondo che riesce a stare al passo con i tempi. Inizialmente, il progresso è salutato con favore dall'umanità, perché porta grandi vantaggi e sviluppo, e allo stesso tempo permette un colossale abbattimento dei costi. Ma il contraccolpo successivo è devastante: il pianeta sprofonda in una crisi spaventosa. Nessuna nazione riesce a stare al passo del Canada. In qualunque altro paese l'economia scivola indietro a livelli preindustriali. Tutti i prodotti più avanzati del pianeta sono forniti da una sola ditta, quella canadese, e agli altri non resta che annaspire.

Gli umani non si rendono ancora

conto di cosa stia succedendo. Per loro i q-droidi sono ancora le creature quantistiche costruite da Connors e i suoi due amici, esseri che hanno l'intelligenza dei bambini di cinque anni. Normalmente, tengono compagnia o fanno da baby sitter ai bambini veri. Anche se, vista la crisi, ormai a permetterseli sono sempre meno persone.

Gli incidenti d'auto sono ormai molto rari, giusto qualche unità per anno, ma ad un certo punto ne accade uno nel quale perde la vita un individuo che gli umani non avevano mai visto prima. Il corpo smembrato non contiene ossa, né perde sangue: si tratta di un q-droide dalle sembianze umane. E così gli

umani, finalmente, scoprono che esistono esseri viventi artificiali “adulti” che vivono in mezzo a loro. E si rendono conto che sono intelligenti come loro, a dir poco. E che si nascondono in mezzo a loro! Nessuno sa quanti siano, dove stiano e che intenzioni abbiano.

A quel punto, tra gli umani si diffonde il panico. Comincia una ricerca forsennata a stanare quelle creature.

Viene interrogato Connors, il capo della ditta che produce gli esseri quantistici da compagnia. Viene messo alle strette. Assicura che la sua ditta non ha mai prodotto altro che quegli omini dall'intelligenza dei bambini di cinque anni. Tuttavia, dopo aver fatto e rifatto il

calcolo delle probabilità, Connors è costretto a riconoscere che il numero di droidi quantistici prodotti ha ormai raggiunto un valore così alto che la probabilità di un imprevisto non è più così piccola come è sempre stata. Cioè, non si può più escludere che, in un caso “sfortunato”, nasca o sia già nato, un individuo, soltanto uno, più intelligente degli altri quel tanto che basta per fare il salto di qualità e raggiungere il livello successivo.

Gli viene chiesto perché non abbia provveduto ad imporre agli esseri quantistici di non causare danni all'essere umano e limitarsi ad obbedire ai suoi ordini, un po' come prevedono le leggi della robotica di Isaac Asimov.

Connors spiega di aver fatto il possibile in proposito, che non è poi molto, perché i q-droidi non sono robot. Non sono deterministici, ma vivi, in quanto animati dall'indeterminazione quantistica. La quale, a forza di prove ed errori, fallimenti e successi, può aggirare qualunque vincolo e superare qualunque ostacolo. È la libertà assoluta, la libertà che non può essere incatenata.

Nel frattempo, gli umani risalgono a chi ha prodotto il q-droide morto nell'incidente, che naturalmente si rivela essere la Exact Science Productions. E da quell'informazione non è così difficile unire i puntini e risalire al resto. Ma allora vuol dire

che... la ditta che ha messo k.o. il pianeta appartiene proprio ai q-droidi! E quindi il pianeta è sotto attacco da anni!

Si profila una situazione terribile per gli umani, perché capiscono che per la prima volta nella storia sono costretti a misurarsi con degli esseri superiori a loro. Si interrogano sul da farsi. Si rendono conto che i q-droidi hanno pianificato da parecchi anni la conquista del mondo. Hanno dichiarato guerra all'umanità fin dal primo momento in cui sono comparsi sulla terra, e hanno portato avanti il loro piano meticolosamente. Per di più, di nascosto. Prima, hanno evoluto loro stessi in modo da raggiungere una

superiorità sufficiente. Poi hanno preso il controllo dell'economia mondiale, illudendo l'umanità con conquiste tecnologiche di ogni tipo, e col progresso facile e miracoloso. Infine, hanno portato il mondo ad una crisi spaventosa, che ha ridotto alla povertà tantissime zone del pianeta, fino a costringere molti paesi a ritornare ad un'economia prevalentemente agricola.

I leader degli Stati Uniti, della Cina e delle altre potenze del pianeta formano una coalizione internazionale di paesi pronti a dichiarare guerra ai q-droidi. Gli esseri umani sanno di mantenere ancora un'indiscussa superiorità numerica: sono 9 miliardi contro poche decine di migliaia. E hanno il controllo

di tutte le armi del pianeta. Sperano di essere ancora in tempo. Pregano che non sia già stato superato il punto di non ritorno.

A proposito di armi, gli esperti della Casa Bianca fanno notare al presidente americano che, nonostante il grandissimo progresso raggiunto nei decenni precedenti in quasi tutti i campi, il settore degli armamenti era rimasto invece pressoché fermo. Segno che i q-droidi avevano custodito gelosamente ogni avanzamento in quell'ambito. Se lo erano tenuto tutto per loro, per non dare alcun vantaggio agli esseri umani.

Insomma, che fare? Ci si rende conto di non conoscere nemmeno la potenza degli avversari. Occorre

prendere decisioni al buio. Un getto di dadi segnerà il destino del pianeta, per sempre.

Quando si confrontano due specie, una delle quali superiore all'altra, non c'è molto spazio per trattative o negoziazioni. Nel momento stesso in cui tratti da una posizione di inferiorità, soccombi. E allora l'umanità intraprende la via della guerra, contando sulla superiorità numerica e sperando che i propri armamenti siano sufficienti. Gli umani sanno che, in realtà, non hanno un minuto da perdere, perché ogni giorno che passa gli avversari progrediscono e gli umani arretrano. Bisogna agire subito.

Scoppia dunque la guerra: le

potenze del pianeta contro i q-droidi. Tutte le armi non nucleari sono scaraventate contro il loro sito canadese, che viene messo a ferro e fuoco. L'intera area in cui è situata la Exact Science Productions viene rasa al suolo. Con bombe MOAB sono distrutti i bunker e gli eventuali rifugi sotterranei, in profondità. Successivamente, viene dato il via alle operazioni di terra, per stanare i sopravvissuti. Alla fine, gli umani riescono a scovare e a uccidere i capi dei q-droidi, tra cui quel Qq che aveva dato inizio a tutto. Le operazioni sono seguite da una ferrea caccia globale ai q-droidi che si erano intrufolati tra gli esseri umani, fino ad ucciderli tutti.

Seguono mesi e mesi di calma, e gli umani cominciano a tirare un sospiro di sollievo e a convincersi di aver vinto. Ne concludono che il punto di non ritorno non era stato ancora superato, grazie a Dio. Gli avversari non erano poi così forti come sembravano, dopotutto. Anzi, non avevano quasi opposto resistenza di fronte alla potenza degli armamenti degli umani.

Comincia a diffondersi una grande contentezza. L'umanità non vede l'ora di dare il via alle celebrazioni per lo scampato pericolo. Si organizzano manifestazioni in tutto il mondo e ci si prepara all'ora X, quando si festeggerà la pace ritrovata, in contemporanea, in tutte le capitali del pianeta.

Si avvicina dunque l'ora X. Tutte le capitali del mondo sono in collegamento tramite le tv e i computer. Quando manca mezz'ora, da qualche parte in Canada si aprono delle montagne, dalle quali emergono dei silos, che cominciano a sparare una miriade di missili balistici intercontinentali, diretti verso le maggiori città del pianeta. Pochi minuti dopo gli umani rilevano la presenza di quei missili in volo. Capiscono che probabilmente portano testate nucleari e si rendono conto che intercettarli durante il volo ne fermerà molto pochi.

Si profila dunque una catastrofe mondiale. L'umanità sarà dimezzata entro poche decine di minuti e le

radiazioni la decimeranno. Si diffonde il panico. Le celebrazioni si tramutano in caos e disperazione. Moltissime persone perdono la vita nella calca, le altre poco dopo, quando le testate nucleari arrivano a destinazione. Quasi tutte le città più importanti del mondo scompaiono all'istante. È la fine del genere umano?

Solo nelle periferie ci sono sopravvissuti. Sulle tv di quelle zone i sopravvissuti vedono apparire, ad un certo punto, un essere dalle fattezze aliene, di tipo mai visto prima. È un q-droide di nuova generazione. Si tratta poi sempre del nostro amico Qq, l'autore e regista di tutto quello che è successo sul pianeta terra da decenni a

questa parte. No, non era stato ucciso durante la guerra. I q-droidi si erano evoluti ancora, e si erano rifugiati in bunker profondissimi, situati in zone impossibili da raggiungere per gli umani. Quelle che gli umani avevano trovato, durante le operazioni di terra, erano le versioni precedenti dei q-droidi, lasciate là apposta per far loro credere di essere davvero riusciti a sterminare i nemici.

Qq appare dunque sugli schermi, si muove ad una velocità dieci volte superiore alla nostra ed emette dei suoni indistinguibili che durano un secondo. Poi sullo schermo appare la traduzione scritta del suo messaggio. Comunica agli umani che i q-droidi si

dichiarano padroni del pianeta e che gli umani devono arrendersi senza condizioni, pena la completa estinzione. In aggiunta, devono consegnare tutte le armi in loro possesso, accettare di ridurre progressivamente la propria popolazione fino a scendere a 10 milioni di individui, e spostarsi in Australia, dove vivranno confinati per il resto della storia. Durante il processo, dovranno ripulire il pianeta da ogni forma di inquinamento, e distruggere tutto quello che hanno costruito.

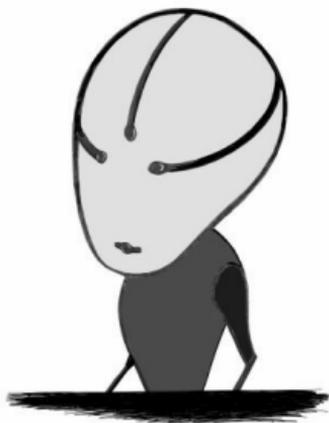


Fig. 9 | Una raffigurazione di fantasia di Qq

Gli umani non hanno via di uscita e si arrendono. Nel corso dei decenni successivi l’Australia diviene il loro “zoo”, la loro gabbia. Nel frattempo, i q-droidi rimangono qualche migliaio e continuano a vivere in Canada. Il resto del pianeta viene gradualmente restituito alla natura selvaggia.

La storia termina coll’esplorazione

dello spazio da parte dei q-droidi, la colonizzazione di nuovi mondi e pianeti lontani. Il titolo del film? “Il senso della vita”.

6

Dal piccolo piccolo all'infinitamente piccolo: la gravità quantistica

Una teoria pre quantistica è detta “classica”. Si dice classico tutto ciò che riguarda le situazioni nelle quali gli effetti quantistici possono essere trascurati, cioè il futuro è

univocamente determinato dal passato e non è ammessa alcuna creatività. In sostanza, per i nostri scopi classico vuol dire deterministico. La **con**trapposizione classico/quantistico sottolinea che il passaggio dalla fisica pre quantistica alla fisica quantistica ha rappresentato una rivoluzione totalizzante, senza precedenti nella storia della scienza.

La gravità classica è descritta dalla relatività generale di Einstein, che interpreta le interazioni gravitazionali come dovute alla geometria dello spaziotempo. La relatività generale supera la teoria della gravitazione universale di Newton, che descrive

accuratamente la maggior parte dei fenomeni gravitazionali che ci sono familiari, come la caduta dei gravi e le orbite dei pianeti, ma non è compatibile colla relatività speciale. Tra le altre cose, la teoria di Newton assume l'esistenza di un sistema di riferimento assoluto per la misura del tempo, cosa rigettata dalla relatività.

Il problema della gravità quantistica è il problema di superare anche la relatività generale, per renderla compatibile con la meccanica quantistica. Cioè, unificare la gravità colla nuova interpretazione del mondo emersa dalla rivoluzione quantistica. Quest'impresa richiede di superare il determinismo della gravità

classica per includere in modo adeguato la creatività dei fenomeni che avvengono a piccole distanze, da quelle atomiche in giù, quindi il principio di indeterminazione e le sue conseguenze, come la libertà dell'atomo che decide liberamente dove andare dopo aver attraversato una fenditura. Questo programma è sintetizzato brevemente dicendo che la gravità quantistica è la teoria che "quantizza" la gravità classica.

Perché ci dovremmo interessare a questo problema? Perché da quello impareremo un sacco di cose. Ci permette di proseguire il nostro viaggio fino a scendere, tutto d'un colpo, nell'infinitamente piccolo.

Grazie a questo, ci aiuta a capire molte più cose su di noi e la natura.

La gravità è l'unica interazione che sopravvive alle distanze astronomiche. Siccome la sperimentiamo tutti i giorni, è importante anche alle nostre scale di grandezza. Ma poco o nulla sappiamo della gravità a distanze più piccole di un decimo di millimetro. D'altra parte, se riusciamo a capire la gravità quantistica, abbiamo la possibilità di raggiungere, con un unico balzo, distanze più piccole di un miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di centimetro! La nostra comprensione del mondo può fare un progresso enorme.

Come spiegato varie volte, la

meccanica quantistica rivoluziona completamente la comprensione della realtà. Cambia anche il significato delle parole che usiamo e ci rende consapevoli della loro limitatezza. Stabilisce che l'atomo che attraversa una fenditura è assolutamente libero di andare dritto o deviare a destra o a sinistra. Come possiamo vedere, non si tratta di cambiamenti superficiali. Non è un semplice maquillage. Per questa ragione, ogni teoria classica deve essere resa compatibile colla meccanica quantistica. Cioè, deve essere "quantizzata".

Per sua stessa natura, una teoria classica descrive i fenomeni tipici delle nostre scale di grandezza, o di quelle

più grandi, che sono deterministici. È incompatibile coi fenomeni tipici delle scale di grandezza atomiche, e di quelle più piccole. La gravità è rimasta fuori dal quadro generale per decenni. Ma deve essere quantizzata esattamente come tutte le altre interazioni.

Questa necessità ribadisce ancora una volta che la rivoluzione quantistica è totalizzante, perché impone che tutto sia rivisto, reinterpretato, rifondato. La nostra comprensione del mondo microscopico ha compiuto passi da gigante da più di un secolo a questa parte. L'ultimo passo che rimaneva da compiere, e che io affermo di avere finalmente compiuto, è appunto la quantizzazione della gravità.

Prima di addentrarci nella soluzione di questo problema, e soprattutto sviluppare le sue implicazioni per il nostro discorso, riepiloghiamo i passi principali della rivoluzione. Possiamo schematizzare la nostra discesa verso l'infinitamente piccolo come fatta dei quattro gradini mostrati in figura 10: meccanica classica, meccanica quantistica, modello standard e gravità quantistica.

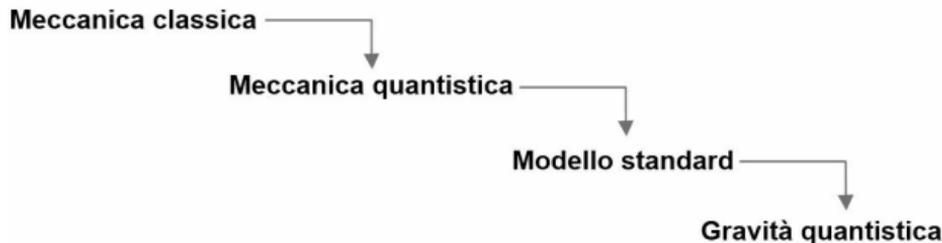


Fig. 10 | I quattro gradini della discesa verso l'infinitamente piccolo

Per forza di cose, dobbiamo brevemente menzionare il terzo gradino, il modello standard, perché ci condurrà più o meno direttamente al quarto gradino della nostra discesa, la gravità quantistica, dove dovremo fare i conti con novità di enorme portata. Saltare dal secondo gradino al quarto non è infatti possibile, perché non abbiamo abbastanza dati sperimentali a disposizione.

La parte che segue è un po' tecnica. Chiedo ai lettori di armarsi di un po' di pazienza, perché la supereremo prima di quanto si possa immaginare. Per affrontarla più facilmente, potete tenere a mente la tavola periodica degli

elementi, o la classificazione degli esseri viventi.

Il modello standard spiega con grande successo tre delle quattro interazioni della natura. La sua formula sta in una riga e contiene in principio tutto quello che sappiamo del mondo in assenza dei fenomeni gravitazionali, o quando i fenomeni gravitazionali sono trascurabili. Uno dei suoi più grandi successi, l'ultimo in ordine di tempo, si chiama bosone di Higgs, volgarmente chiamato “particella di Dio”. Si tratta di quel bosone che, come i lettori ricorderanno, è stato scoperto al CERN nel 2012 e ha portato al premio Nobel per due dei fisici che ne avevano predetto l'esistenza circa cinquant'anni

prima, François Englert e Peter Higgs. Cosa suggerì la predizione a quei signori? Come venne loro in mente l'idea di introdurre quella particella?

Cominciamo col descrivere le quattro interazioni della natura. Oltre alla gravità, sono a noi familiari le interazioni elettromagnetiche, che spiegano i fenomeni elettrici, i fenomeni magnetici e la luce. Infatti, la luce è una vibrazione del campo elettromagnetico, che è lo stesso campo di cui parliamo quando guardiamo le tacchette sul telefonino per capire dove “prende” meglio: “qui non c'è campo, qui c'è campo”, diciamo.

Le altre due interazioni spiegate dal modello standard sono le interazioni

forti e le interazioni deboli. Le prime tengono uniti i protoni e i neutroni nei nuclei degli atomi. I protoni e i neutroni non sono particelle elementari, ma particelle composte, fatte di quark. Le interazioni forti sono anche quelle che tengono uniti i quark nei protoni e nei neutroni.

Infine, le interazioni deboli sono quelle interazioni che coinvolgono il bosone di Higgs, assieme ai bosoni intermedi Z e W scoperti da Carlo Rubbia, sempre al CERN, all'inizio degli anni '80 del secolo scorso, e che valsero il premio Nobel pure a lui.

Prima di procedere, facciamo una piccola pausa per chiarire a noi stessi il significato di alcuni termini che

dobbiamo usare spesso. Quando ci riferiamo a queste entità, tipo il bosone di Higgs, i fotoni, i quark, ecc., dobbiamo chiamarle “particelle”, “campi”, o cos’altro? Entro certi limiti, possiamo usare entrambi i vocaboli in modo interscambiabile. Se vogliamo riferirci alla loro natura corpuscolare, li possiamo chiamare particelle. Se vogliamo riferirci alla loro natura ondulatoria, li possiamo chiamare campi. Ma siccome la loro natura non è né corpuscolare, né ondulatoria, e poco possiamo fare per immaginarcela intuitivamente, per essere più precisi li dobbiamo chiamare “campi quantistici”, che vuol dire appunto che sono entrambe le cose e

nessuna delle due allo stesso tempo. Il modello standard e la gravità quantistica sono esempi di teorie dei campi quantistici.

Dei campi quantistici esiste anche la versione classica, quella che può andare approssimativamente bene alle nostre scale di grandezza. Esempi di campi classici sono il campo elettromagnetico, che ci permette di comunicare tramite i telefonini, e il campo gravitazionale, che fa cadere gli oggetti per terra.

	Fermioni			Bosoni
Quark	u	c	t	ϕ
	d	s	b	W^{\pm}
	e	ν_e	ν_μ	

Leptoni	\square_e	\square_{μ}	\square_{τ}	Z^0
				g

Fig. 11 | I campi quantistici del modello standard

I campi quantistici possono essere distinti in due grandi categorie. Da una parte i bosoni (che prendono il nome dal fisico indiano Satyendra Nath Bose), dall'altra i fermioni (che prendono il nome dal nostro Enrico Fermi). La differenza tra i due tipi di campi sta nelle loro proprietà statistiche, cioè le proprietà che governano il comportamento di insiemi fatti di un gran numero di particelle: semplificando un po' per capirci, bosoni identici

possono “stare insieme” e anche “coalizzarsi”, mentre fermioni identici non vogliono avere nulla a che fare l’uno con l’altro.

I fermioni si dividono in quark e leptoni. I quark sono sei: up (che vuol dire “su” e viene indicato con u), down (giù, d), charm (fascino, c), strange (strano, s), top (cima, t) e bottom (fondo, b). I leptoni sono gli elettroni e , i muoni μ , i tauoni τ e i loro neutrini ν .

Oltre al campo di Higgs H , sono bosoni i mediatori delle interazioni: il fotone, che media le interazioni elettromagnetiche, i bosoni Z^0 e W^\pm (dove gli indici in alto denotano le cariche elettriche), che mediano le interazioni deboli, e i gluoni g (così

detti perché incollano i quark nei protoni e nei neutroni), che mediano le interazioni forti.

Quando li raggruppiamo assieme, otteniamo una specie di tavola periodica, come mostrato nella figura 11. Le tre colonne verticali in cui sono organizzati i fermioni sono famiglie con caratteristiche abbastanza simili.

Tutto molto interessante, ancora una volta, ma non sconvolgente. In un certo senso, sembra biologia: molta flora e molta fauna. Ma i dettagli qui non interessano e men che meno gli effetti speciali. Ciò che ci serve sapere è che il modello standard rappresenta un avanzamento senza precedenti nella storia della nostra comprensione della

natura. Da quarant'anni circa questa teoria riceve conferme su conferme, a volte in modo spettacolare, senza che sia mai emersa alcuna contraddizione interna o con i dati sperimentali. La cosa ha mandato i fisici in crisi, perché una contraddizione avrebbe almeno acceso interesse e rivitalizzato un settore che ormai langue, visto che gli esperimenti del CERN sono costosissimi e richiedono il coinvolgimento e lo sforzo congiunto di molti paesi.

Riepilogando, se vogliamo mettere in linea le principali tappe dell'esplorazione delle distanze sempre più piccole, diciamo che alle nostre scale di grandezza troviamo i fenomeni

descritti dalla fisica classica, cioè pre-quantistica. Quando scendiamo alle distanze atomiche troviamo i fenomeni spiegati dalla meccanica quantistica. Poi, a distanze ancora più piccole troviamo i fenomeni spiegati dal modello standard, che mette insieme la meccanica quantistica con la relatività ristretta, ma non include la relatività generale, quindi la gravità. Finché, a distanze infinitesime, troviamo i fenomeni spiegati dalla gravità quantistica, che mette insieme la meccanica quantistica non solo con la relatività ristretta, ma anche con la relatività generale, cioè la gravità. La cosa notevole è che in questo viaggio verso l'infinitamente piccolo non

dobbiamo mai abbandonare la strada che ha dato frutti nelle tappe precedenti, cioè non siamo mai costretti a lasciare quell'apparato teorico che ci permette di spiegare ciò che avviene a distanze immediatamente più grandi.

Il modello standard è un passo avanti rispetto alla meccanica quantistica, ma ancora un passo indietro rispetto alla gravità quantistica. Infatti, il suo limite è che non include e quindi non spiega le interazioni gravitazionali. Ci si può chiedere perché mai la gravità sia diversa dalle altre interazioni. La gravità, come le interazioni elettromagnetiche, è una interazione che sperimentiamo nella vita di tutti i giorni, mentre le

interazioni forti e le interazioni deboli non lo sono. Una proprietà che rende la gravità diversa dalle altre interazioni è che è l'unica che sopravvive a distanze grandissime, quelle astronomiche. Tuttavia, quando ci poniamo il problema della gravità quantistica le grandi distanze non hanno alcun interesse per noi: ci chiediamo, invece, che cosa sia la gravità a distanze piccolissime, cioè distanze molto, ma molto più piccole di quelle atomiche. E là dobbiamo affrontare problemi simili a, o forse peggiori di, quelli di cui abbiamo parlato finora, problemi che hanno a che fare colla sensatezza stessa del linguaggio che usiamo.

Questo è il problema della gravità quantistica: cercare di capire che cosa succede alla gravità alle distanze infinitamente piccole. Per i motivi che abbiamo spiegato, dobbiamo prepararci, perché laggiù il mondo può essere così sconvolgentemente diverso da quello che noi sperimentiamo alle nostre scale di grandezza, come da quello che osserviamo alle distanze astronomiche, e come da quello che, a fatica, abbiamo imparato a conoscere alle distanze atomiche, da costringerci a brancolare ancora più nel buio, ammesso che sia possibile. E quindi dobbiamo essere consapevoli che potremmo penare non poco per dire qualcosa di sensato, alla ricerca di una

qualche corrispondenza tra quel mondo e il nostro.

Il problema della gravità quantistica è rimasto aperto per circa un secolo. Nel corso degli decenni sono state avanzate le più svariate proposte di soluzione. In particolare, negli ultimi 40-50 anni sono apparse:

1. la teoria delle stringhe, che presuppone che a piccole distanze lo spazio tempo non sia fatto di “punti”, ma di corde vibranti in uno spazio extra non visibile direttamente a noi;
2. la loop quantum gravity, che postula che l’universo sia costituito di anelli di dimensioni infinitesime, detti “loop”;
3. l’olografia, che pensa che il nostro universo sia un’immagine

tridimensionale proiettata da una superficie bidimensionale, come in un ologramma.

La teoria delle stringhe è anche, per capirci, la teoria di cui si occupa, nella prima parte della popolare sitcom “The Big Bang Theory”, il protagonista Sheldon Cooper, per poi abbandonarla, verso la fine della settima stagione, deluso dalla sua scarsa predittività. Tra le varie opzioni, Sheldon prende brevemente in considerazione anche la loop quantum gravity, ma non la trova convincente.

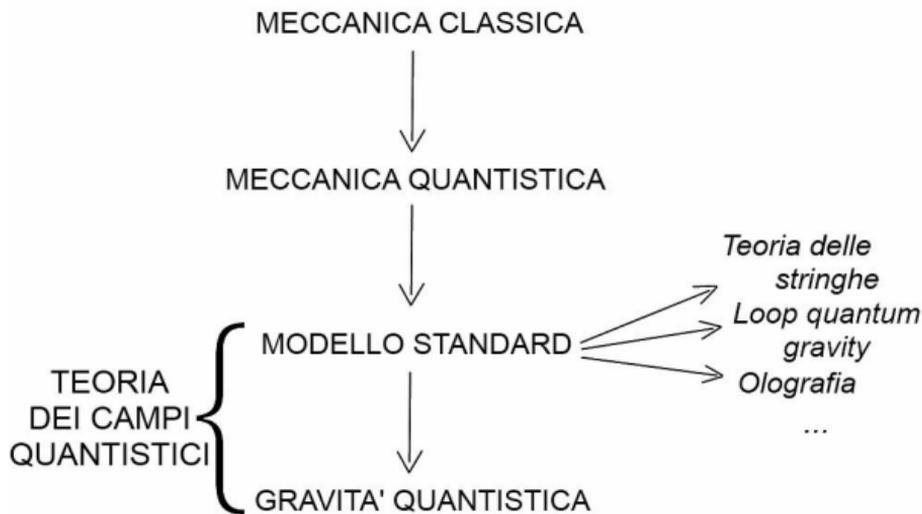


Fig. 12 | Gli approcci alternativi non scendono in profondità, ma deviano di lato

Le proposte appena elencate hanno tutte lo stesso, grosso difetto, che possiamo spiegare come segue. Dopo aver sceso i primi tre gradini, cioè percorso la strada che ha portato con grande successo al modello standard, i

fisici si accorsero che continuare a scendere verticalmente lungo quella cominciava a diventare sempre più arduo. Per dirne una, i problemi “facili” erano ormai esauriti. I problemi rimasti aperti richiedevano investimenti di tempo e sforzo incompatibili colle esigenze della comunità scientifica contemporanea (oggi per “campare”, cioè trovare un posto fisso o fare carriera, bisogna pubblicare regolarmente e raccogliere un congruo numero di citazioni). Pertanto, molti di loro (la stragrande maggioranza, a dire il vero) preferirono evitare di cimentarsi con quella sfida, per percorrere strade radicalmente diverse, ma meno impegnative. Le alternative

per cui hanno optato, come la teoria delle stringhe, la loop quantum gravity e l'olografia, non sono "verticali". Cioè, non vanno in profondità. Al contrario, si muovono "di lato", come mostrato nella figura 12. Ciò vuol dire che evitano i problemi veri, quelli difficili, per sostituirli con problemi più facili, ma artificiali e poco connessi colla realtà.

Ebbene, quelle strade sono così lontane dalla strada maestra, quella che ha portato al modello standard, cioè la teoria dei campi quantistici, che appaiono dei veri e propri voli pindarici. Il loro punto debole è che postulano la soluzione, invece che ricavarla. L'olografia postula che l'universo sia descrivibile come un

ologramma, la teoria delle stringhe postula le stringhe e la loop quantum gravity postula gli anelli infinitesimi.

Come spiegato prima, il mondo in cui viviamo è ristretto e limitato. È così diverso dal mondo che vogliamo esplorare, che non può sviluppare in noi facoltà mentali così potenti da permetterci di intuire dal nulla quello che succede a distanze infinitesime.

Anzi, spesso l'ambiente che ci circonda ci trae in inganno. Per dirne una, ci induce a credere che le nostre percezioni molto grossolane e approssimate siano indicazioni di principi fondamentali, che poi si rivelano inevitabilmente fallaci. Basti pensare al determinismo, per esempio.

No: la soluzione al problema della gravità quantistica non la possiamo *postulare*. La dobbiamo in qualche modo *ricavare*.

Ma ciò non ha fermato la maggioranza dei fisici del mondo, che anzi si sono profusi nel tipo di proposte fantasiose e artificiali menzionate sopra e hanno insistito con quelle per decenni senza batter ciglio. E poi, di fronte all'assenza di dati sperimentali, di fronte all'impossibilità di testare quelle proposte e confermarle o confutarle, hanno cominciato ad usare metodi discutibili per difenderle, metodi che non fa molto piacere menzionare in un libro divulgativo di scienza, ma che purtroppo fanno parte

della realtà quotidiana, anche nei piani più alti della comunità scientifica. Si tratta, molto banalmente, di metodi di propaganda, controllo sulla distribuzione dei finanziamenti della ricerca, selezione di chi viene assunto nelle varie posizioni universitarie e nei centri di ricerca, e naturalmente esclusione a priori di tutti coloro che non sostengono idee di quel tipo. *Quelle sur prise...*

La teoria dei campi quantistici, del resto, non sembrava offrire molte opzioni per la gravità quantistica. Anzi, qualunque tentativo di descrivere la gravità a distanze infinitamente piccole usando la teoria dei campi quantistici si scontrava di fronte a grossissime

difficoltà. Il fatto è che il gravitone, il quanto elementare chiamato a mediare le interazioni gravitazionali (l'analogo del fotone per le interazioni elettromagnetiche) a piccolissime distanze “diventa una belva”, “impazzisce”, se così possiamo dire, causando problemi ritenuti a lungo insolubili. Problemi che si manifestano sotto la forma di quantità matematiche infinite, dette *divergenze*. Praticamente, succede che, appena ci mettiamo a calcolare un effetto fisico, troviamo come risultato un valore infinito, tipo la somma

$$1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + \dots$$

Se calcoliamo una “piccola” correzione allo stesso effetto, troviamo ancora

infinito, tipo il valore di

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + 5^2 + 6^2 + 7^2 + 8^2 + \dots$$

E avanti di questo passo. È chiaro che una teoria del genere non è di alcuna utilità.

Anche nel modello standard compaiono problemi simili, ma sono sotto controllo e possono essere rimossi con successo. In gravità, al contrario, non si riuscì a trovare una soluzione soddisfacente per molti decenni. E se rimuoviamo le divergenze sulla falsariga di quanto fatto nel modello standard, la teoria della gravità quantistica che otteniamo risulta infinitamente arbitraria. Ciò che ci riporta al punto di partenza: una teoria completamente

inservibile, incapace di fare predizioni alle distanze infinitamente piccole.

In realtà, il problema della gravità quantistica non era affatto senza speranza come tutti pensavano. Anzi, la soluzione stava proprio lì, davanti ai nostri occhi, appena un passo oltre il modello standard. Non c'era bisogno di fare alcuna ipotesi circa la natura dello spaziotempo a scale infinitesime. Non era necessario lavorare di fantasia, mettere in moto la nostra intuizione parziale e fallace. Bastava continuare la discesa verso l'infinitamente piccolo lungo la strada maestra, senza sbandare, senza esitare. Bastava crederci. E le risposte sarebbero arrivate da sole.

7

**Nel cuore
dell'universo,
dove tutto perde
senso, ma continua
a reggere il
mondo**

Come detto, la meccanica
quantistica è una rivoluzione
sconvolgente rispetto alla fisica

classica. Al confronto, il modello standard è semplicemente un continuare lungo la strada già imboccata per approfondire meglio la nostra comprensione. Cosa possiamo dire dell'ultimo gradino della discesa, la gravità quantistica? Da una parte, è semplicemente un passo in più rispetto al modello standard, lungo il cammino tracciato dalla teoria dei campi quantistici. Dall'altra parte, questo semplice, piccolo passo porta, lui sì, ad implicazioni ancora più sconvolgenti di quelle già incontrate colla meccanica quantistica.

E questo è un capovolgimento di fronte impressionante, rispetto a quanto previsto dalla comunità scientifica per

mezzo secolo. Infatti, la stragrande maggioranza dei fisici ha affermato per decenni, senza esitazione, che ci fosse bisogno di abbandonare la teoria dei campi quantistici, per abbracciare strade completamente nuove, come l'olografia, la teoria delle stringhe e la loop quantum gravity.

In realtà, la soluzione del problema della gravità quantistica era alla nostra portata, senza andare in capo al mondo. Stava proprio lì, davanti ai nostri occhi. Se volete annotarvi una lezione di vita da questo libro, segnatevi questa: la risposta alle domande che ci facciamo, anche quelle più impegnative, sta sempre davanti ai nostri occhi. Il difficile è riuscire a vedere quello che

sta davanti ai nostri occhi, perché c'è sempre qualche motivo per cui non lo guardiamo dal giusto punto di vista, o non prestiamo attenzione a ciò a cui bisogna prestare attenzione. C'è sempre qualcosa che copre la soluzione e ci impedisce di vedere la risposta. Ma non occorre cercare lontano. La risposta, che ci crediate o no, sta sempre davanti a noi. Ci guarda e ci chiede: “allora, perché continui ad ignorarmi? Cosa devo fare per farmi notare da te?”

Nel caso della gravità quantistica, la scoperta che ho fatto era rimasta davanti agli occhi di tutti i fisici del mondo per un secolo. E anche davanti ai miei per tanti anni. Ma non ero mai riuscito a vederla. Finché, ad un certo

punto, per uno strano caso del destino, uno di quei getti di dadi che la meccanica quantistica ci regala in quantità, guardando le cose in una maniera diversa, ho potuto finalmente accorgermi di quello che la natura stava cercando di dirmi. E concludere che, effettivamente, era sempre stato lì, davanti a me.

La teoria dei campi quantistici ha portato in trionfo la fisica teorica delle alte energie, spingendo la nostra comprensione della natura fino all'estremo. Il suo più grande successo è, come abbiamo già detto, il modello standard. Dire "alte energie" è come dire "piccole distanze", poiché l'energia di un quanto è inversamente

proporzionale alla sua lunghezza d'onda (la sua “grandezza”): un quanto ha energia tanto più alta quanto più è “piccolo”. Pertanto, la fisica teorica delle alte energie è la fisica che studia i fenomeni che hanno luogo a piccole scale di grandezza.

Ebbene, occorre sapere che la teoria dei campi quantistici si muove all'interno di un apparato formale e matematico ormai così ben compreso da risultare estremamente vincolato. Il che vuol dire che non consente di muoversi liberamente, non offre spazio per nuove idee. Infatti, per tanti decenni nessuno è riuscito a proporre idee nuove in questo settore, che è anche il motivo per cui tante persone, in preda allo sconforto,

l'hanno abbandonato precocemente, per proporre le alternative più disparate, come quelle che abbiamo elencato prima, la teoria delle stringhe, la loop quantum gravity e l'olografia. Trovare uno spazio per una idea nuova nella teoria dei campi quantistici era un'impresa impervia. Era come cercare un ago in un pagliaio, come cercare l'anello che non tiene di montaliana memoria. Richiedeva di perlustrarla in lungo e in largo, per scoprire dove si nascondesse quello che era stato trascurato ed era rimasto sepolto per tanto tempo. Questo è stato il mio lavoro per venticinque anni, e la mia scommessa: scandagliare la teoria dei campi quantistici dalle sue

fondamenta alla ricerca di ciò che non era stato mai notato, per capire se si fosse inavvertitamente sorvolato su qualcosa di cruciale.

Tre anni fa persi completamente la speranza di venirne a capo. La teoria era così vincolata, che appena si provava a proporre una nuova idea per risolvere un certo problema X, si generava un problema Y ben peggiore in qualche altro settore. Per esempio, se si cercava di rimuovere le divergenze matematiche dovute al gravitone a piccole distanze, si era costretti a creare assurdit  altrove nella teoria.

Per la precisione, l'unica opzione che sembrava rimuovere il problema delle divergenze era quella di introdurre

le cosiddette particelle fantasma, chiamate *ghost*. Che cosa sono le particelle fantasma? Sono delle particelle che portano a un certo tipo di risultati fisicamente assurdi. Li possiamo illustrare con un esempio semplice. Prendete una moneta. Sappiamo che, se la lanciamo, può uscire testa o croce, e che entrambi i risultati hanno una probabilità pari al 50%. Ora, una teoria dell'universo che contiene dei ghost, cioè particelle fantasma come quelle che erano usate per rimuovere il problema delle divergenze del gravitone, prevede l'esistenza di "monete a tre facce" (vedi figura 13). Sono monete tali per cui ogni lancio ha, per esempio, il 60% di

probabilità di dare croce, il 60% di probabilità di dare testa, e il -20% di probabilità di dare la terza faccia, cioè il risultato fantasma. Il ché non ha il minimo senso, si noterà. Invero, si tratta di idee che possono essere formulate matematicamente (inserire un segno meno davanti a una probabilità? e che problema c'è?), ma che non hanno alcun senso fisico. Le teorie che contengono particelle fantasma non hanno un'interpretazione fisica sensata e vanno dunque scartate.



60%



60%



-20%

Fig. 13 | Strane monete a tre facce

Ebbene, dopo tanto lavoro per cercare appunto l'anello che non tiene, e dopo aver perso la speranza, verso la fine del 2016 mi misi a guardare nell'ultimo angolino della teoria dei campi quantistici che mi restava da esaminare. L'avevo trascurato perché ero sicuro che lì non avrei trovato niente di nuovo, fidandomi dei miei predecessori, fidandomi dei premi Nobel che avevano già perlustrato quel settore anni e anni prima e ne avevano concluso che non avrebbe potuto riservare sorprese.

Pensando appunto che i grandi fisici che mi avevano preceduto

avessero già chiarito tutto, mi misi a studiare quell'ultimo settore senza farmi grosse illusioni, per senso del dovere, per completezza. Pensavo che anche se non avessi scoperto niente, avrei forse capito meglio le proprietà già note e magari sarei riuscito a fare qualche passo avanti, generalizzandone qualcuna. Poteva bastare per produrre un'interessante pubblicazione.

Invece, con mia grande sorpresa, si aprì il vaso di Pandora. Mi accorsi che gli argomenti di quel dominio di ricerca non erano stati affatto studiati in maniera esaustiva. E così, mentre mi stavo immergendo in quello studio, si mostrò davanti ai miei occhi la via d'uscita per

la gravità quantistica. Essa si concretizza nell'idea di una particella di tipo nuovo, la particella fake, che ho chiamato *fakeon*. In breve, il fakeon è una particella che può soltanto essere virtuale, ma mai diventare reale. Era l'unica entità fisica che poteva essere introdotta nella teoria dei campi quantistici senza sconvolgerne l'assetto, l'unica possibilità che era stata trascurata per decenni.

Praticamente, la particella fake è una particella che media interazioni, esattamente come fanno il gravitone o il fotone per le interazioni gravitazionali ed elettromagnetiche, rispettivamente. Tuttavia, a differenza del gravitone o il fotone, che possono anche essere "visti"

(in particolare il fotone è proprio ciò che arriva all'interno dei nostri occhi, per cui lo vediamo in senso letterale), la particella *fake* può *soltanto* mediare interazioni, ma non può essere rivelata direttamente.

Facciamo un piccolo passo indietro. Abbiamo detto che il gravitone “media” le interazioni gravitazionali, così come il fotone “media” le interazioni elettromagnetiche. Cosa vuol dire? Prendiamo in mano una palla. Se la lasciamo cadere, la palla cade a terra. “Ovvio”, direte voi. Non saltiamo troppo rapidamente alle conclusioni. Come fa, la palla, a sapere che c’è la terra sotto di lei? E che la terra non è di lato, o sopra? Chi le dice dove deve

“cadere”?

Occorre sapere che gli oggetti si scambiano continuamente dei quanti. Nel caso di cui stiamo parlando, si scambiano gravitoni. È così che sanno l'uno dell'esistenza dell'altro. Un flusso continuo di gravitoni che viaggiano alla velocità della luce tra la palla e la terra fa sì che la palla sappia già dove andare quando la lasciamo cadere (vedi figura 14). Similmente, cariche elettriche e magneti si scambiano un flusso continuo di fotoni e così si attraggono o si respingono.

Tuttavia, i gravitoni e i fotoni scambiati dagli oggetti sono quanti di un tipo un po' particolare. Sono detti “virtuali”, perché non sono visibili.

Viaggiano tra un corpo e l'altro, mettendoli in comunicazione. È proprio questo il motivo per cui non possono essere visti da noi, perché ai nostri occhi non arrivano mai.

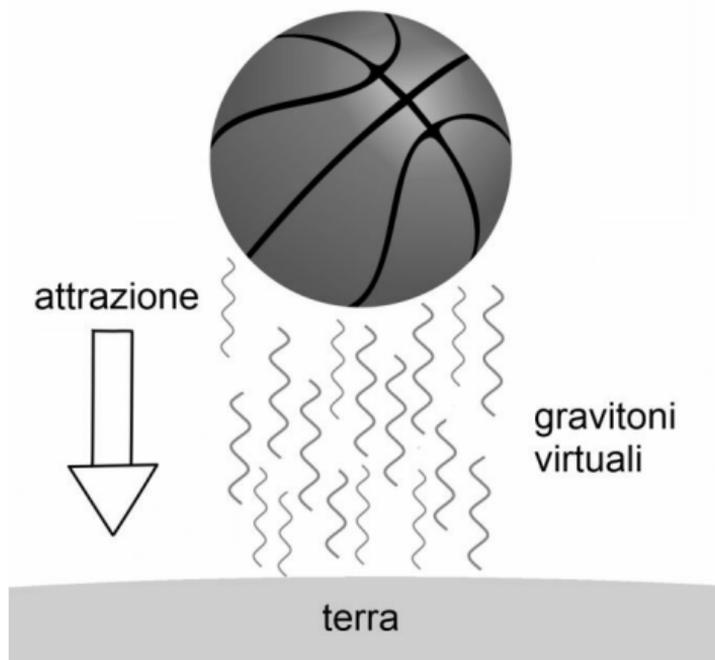


Fig. 14 | Scambio di gravitoni virtuali tra la terra e la palla

Si pensava che tutti i quanti potessero (anzi, dovessero) essere appunto di due tipi: reali o virtuali. Tornando al nostro esperimento più importante, dove il fotone singolo parte dal laser pointer, poi attraversa la fenditura e finalmente decide dove illuminare lo schermo (figura 7), possiamo dire che durante il viaggio tra il laser pointer, la fenditura e lo schermo il fotone è virtuale. Quando illumina lo schermo nel punto da lui scelto, il fotone diventa reale. E noi lo vediamo.

Il fakeon, invece, è un quanto che può essere solo virtuale e non può mai diventare reale. Si limita a mediare interazioni. Tuttavia, non è un ghost, un

fantasma, perché non porta a risultati assurdi, anche se porta a cambiamenti radicali della nostra comprensione dello spaziotempo e delle scale di grandezza infinitamente piccole.

Come funziona il fakeon? Come risolve il problema della gravità quantistica? Torniamo alle nostre monete a tre facce. In una teoria che prevede le particelle fake queste monete esistono ancora, ma ora, quando ne lanciamo una, abbiamo il 50% delle probabilità di ottenere testa, il 50% di probabilità di ottenere croce e lo 0% di probabilità di ottenere il risultato fake. Insomma, la terza faccia della moneta esiste ancora, ma non si mostra mai a noi. In tal modo, non genera alcuna

assurdità. La particella fake fa il suo dovere, ma non mette la teoria sottosopra. Cioè, risolve il problema delle divergenze matematiche generate dal gravitone, perché per quello è sufficiente la sua natura di mediatore virtuale, non visibile. Ma non sconvolge la teoria, non la rende priva di senso, non causa problemi in altri settori. Anche se, come vedremo tra un po', qualche conseguenza importante sulla comprensione dello spaziotempo nell'infinitamente piccolo la comporta, eccome. E quel qualcosa chiarirà ancora meglio cosa siamo e soprattutto cosa non siamo.

	Fermioni		
--	-----------------	--	--

			Bosoni
--	--	--	---------------

Quark	u	c	t	\square
	d	s	b	W^\pm
Leptoni	e	\square	\square	Z^0
	\square_e	\square \square	\square \square	g

Fig. 15 | I campi del modello standard e della gravità quantistica potrebbero spiegare tutto il reale

Alla fine, si trova che la gravità quantistica comprende un tripletto di campi bosonici, da aggiungere alla lista dei campi del modello standard già incontrata. Il tripletto consiste del gravitone g , più il fakeon χ e un terzo bosone φ (vedi figura 15). Il gravitone è il mediatore delle interazioni

gravitazionali, e come tale non ha massa, esattamente come il fotone γ che media le interazioni elettromagnetiche. Il fakeon χ è, in un certo senso, una copia massiva, molto pesante, del gravitone. Essendo pesante, i suoi effetti possono essere apprezzati solo a piccolissime distanze (cioè alte energie, che vuol dire energie più grandi della sua massa). Ma i due campi da soli non bastano a reggere il tutto: è necessario un terzo bosone, che chiamiamo φ , di cui non conosciamo nemmeno la natura, al momento, tanto che potrebbe essere reale, ma potrebbe anche essere fake. Solo un esperimento può rispondere a questa domanda, rimasta aperta. Quel che sappiamo al momento è che anche φ

è molto pesante, probabilmente tanto quanto il fakeon χ .

Questi sono dettagli, se vogliamo, ma stanno a dirci ancora una volta, qualora ce ne fosse bisogno, che la teoria è così vincolata che stabilisce da sola il suo stesso contenuto. Per esempio, non funzionerebbe nulla se volessimo eliminare questo terzo bosone ϕ . Alla fine, il tripletto del gravitone, aggiunto ai campi del modello standard, potrebbe spiegare tutta la realtà che conosciamo.

Qualcuno potrebbe obiettare: “E vabbè. Ti sei alzato la mattina con l’idea della particella fake. E allora? Tanti fisici si alzano colle idee più strampalate. Perché dovremmo credere

alla tua più che a quelle degli altri? Come puoi convincerci che la tua idea sia la soluzione giusta?” Il fatto è che, torno a ribadirlo, nella teoria dei campi quantistici è quasi impossibile proporre idee nuove, non c'è alcuno spazio libero per viaggiare con la creatività e l'immaginazione, perché la teoria è troppo vincolata dal suo stesso successo. L'idea del fakeon era letteralmente l'unica porticina rimasta aperta.

“D'accordo”, si dirà, “abbiamo capito: la tua idea non è gratuita e artificiale come le altre. Ma devi ancora spiegare perché dovrebbe essere la soluzione giusta.” Chiaramente, è la natura ad avere

l'ultima parola, come sempre. La validità di una teoria può essere confermata soltanto dall'evidenza sperimentale. Ciò potrebbe richiedere un po' di tempo, in quest'ambito, ma forse nemmeno tanto. Detto questo, ripensiamo per un attimo al percorso fatto dalla rivoluzione quantistica. A differenza di tutti gli approcci alternativi, come la teoria delle stringhe, la loop quantum gravity e l'olografia, che deviavano di lato e saltavano su binari nuovi ed incerti, la teoria della gravità quantistica che emerge dall'idea di particella fake è assolutamente in linea con il percorso che ha portato al modello standard. Il fakeon è soltanto l'ultimo miglio di

quella rotta fortunata, un piccolo passo avanti rispetto alla teoria che ha avuto più successo nella storia dell'umanità. Al punto che si può incorporare la gravità quantistica al modello standard senza alcuna difficoltà. Ciò ci permette di costruire una teoria finale che spiega tutte e quattro le interazioni della natura. E la sua formula chiave continua a stare in una riga.

La teoria risultante è molto predittiva, forse una delle teorie più predittive di sempre, perché con pochi parametri liberi può descrivere tutte le scale di grandezza comprese tra le distanze astronomiche e quelle infinitamente piccole. Come dimostrato assieme a Marco Piva, un giovane che

ha fatto la tesi di dottorato con me sui fakeon e la gravità quantistica, le quantità fisiche possono essere calcolate con uno sforzo del tutto simile a quello richiesto da calcoli analoghi relativi al modello standard (a parte qualche appesantimento tecnico inevitabile). Inoltre, le prime correzioni quantistiche che abbiamo trovato presentano già i segni di quegli sconvolgimenti interpretativi che stanno per rimodellare la nostra comprensione dell'universo. Ne discuteremo tra poco.

In definitiva, la teoria è testabile e anche falsificabile, almeno in principio. E in pratica?

Una proprietà notevole dell'idea di particella fake è che è universale. Può

essere applicata anche in contesti che non coinvolgono nulla della gravità quantistica. Ciò significa che potrebbero esistere altre particelle fake a cui non abbiamo mai pensato finora. Per esempio, ci sono fakeon tra i campi del modello standard, quelli della figura 11? Alcune particelle, tra cui i bosoni Z , W e H , non sono mai state osservate direttamente, ma solo tramite le interazioni che mediano. In principio, potrebbero esistere solo come particelle virtuali. È possibile dimostrare indirettamente, sulla base dei dati sperimentali già a nostra disposizione, che questa eventualità è esclusa in tutti i casi, tranne quello del bosone di Higgs. La possibilità che il

bosone di Higgs sia un fakeon è ancora aperta e sarà testata mediante gli acceleratori di prossima generazione. E se H fosse davvero un fakeon, la mia teoria della gravità quantistica potrebbe ricevere una conferma indiretta nel futuro prossimo.

Al contrario, la teoria delle stringhe, la loop quantum gravity e l'olografia sono definite in maniera piuttosto vaga. Ancora oggi, decine d'anni dopo la loro apparizione, sono in uno stadio di sviluppo embrionale e, se tanto mi dà tanto, in tale stato rimarranno per sempre. In quei settori, i calcoli sono troppo difficili o mal definiti, per cui se ne riescono a fare ben pochi. Non solo, ma è difficilissimo fare

predizioni, partendo da approcci come quelli. Ammettono una tale arbitrarietà, che, in caso emergesse una contraddizione coi dati sperimentali, è sempre possibile aggiustare il tutto in modo da far tornare quello che non torna. Che equivale a dire che quelle teorie non sono predittive. Invece, la teoria della gravità quantistica basata sulla particella fake è così vincolata, come tutta la teoria dei campi quantistici del resto, da essere essenzialmente *unica*.

Insomma, con il fakeon non facciamo voli pindarici, non invociamo ipotesi artificiali o gratuite, frutto della nostra fantasia, ma semplicemente continuiamo il percorso

lungo la strada maestra indicataci dalla natura. Facciamo solo quel piccolo passo in più, l'unico permesso, oltre il modello standard.

Il fakeon è una possibilità di cui nessuno si era accorto e che era rimasta ben nascosta per cinquanta anni almeno. Col senno di poi, possiamo tranquillamente dire che la particella fake avrebbe potuto essere scoperta mezzo secolo fa, o addirittura un secolo fa, perché la conoscenza necessaria era già disponibile allora. Ma quella possibilità non fu mai notata da nessuno. Perché? Forse perché in passato non ce n'era bisogno. Per costruire il modello standard il fakeon non è strettamente necessario (anche se

il bosone di Higgs potrebbe essere un fakeon, alla fine, come detto). Invece, il fakeon è assolutamente necessario per costruire e far funzionare la gravità quantistica.

Spesso capita che quando non abbiamo bisogno di una cosa non ci accorgiamo nemmeno della sua esistenza. E così non vediamo le possibilità che stanno davanti ai nostri occhi, perché non dobbiamo usarle in quel momento. Può diventare molto difficile, dopo 40 o 50 anni, andare a ritroso, spulciare su tutto quello che è stato fatto nel frattempo, e cercare di dissotterrare ciò che è stato tralasciato. L'anello mancante potrebbe nascondersi ovunque, in uno

qualunque dei progressi fatti nei decenni intermedi.

Veniamo ora alle implicazioni della particella fake. Siamo quasi alla fine del nostro viaggio verso l'infinitamente piccolo. Siamo partiti dalla meccanica classica, poi siamo passati alla meccanica quantistica, ci siamo fermati brevemente a parlare del modello standard, e poi siamo scesi fino alla gravità quantistica. Ora siamo nell'abisso più profondo del mondo. Che cosa impariamo?

Quello che succede è che in quell'abisso, cioè a distanze un miliardo di miliardi di volte più piccole dell'atomo, dove diventano importanti gli effetti della particella

fake, i concetti di causalità ed implicazione logica perdono qualunque senso. Il tempo non esiste più. Salta ogni tipo di ordinamento temporale (passato, presente e futuro). Vengono a cadere i rapporti di causa e di effetto. Non si può più parlare di origine e fine, premessa e conseguenza. E la ragione è precisamente che il fakeon è soltanto un mediatore virtuale e non può mai diventare reale.

Si viene quindi a capire che altri pilastri della nostra presunta comprensione della natura, suggeritici dalla visione parziale che ci offre l'ambiente in cui viviamo, come il rapporto tra la causa e l'effetto, non sono

altro che illusioni prodotte da quello stesso mondo macroscopico che ci circonda. Sono abbagli dovuti a ciò che noi apprendiamo vivendo in un contesto di grandi distanze relative. Infatti, alle piccolissime distanze relative non esiste la consequenzialità, non esiste nessuna possibilità di identificare un “prima” e distinguerlo da un “dopo”, non esiste la possibilità di ordinare gli eventi temporalmente, causalmente, o logicamente. Questa è la realtà delle cose, là sotto. È la teoria stessa che ce lo dice, perché, come dicevo prima, la teoria emerge dall’unica possibilità rimasta aperta, non da ipotesi artificiali frutto della nostra fantasia.

Per dare un'idea un po' più concreta di come si manifestano le perdite di causalità e di ordinamento temporale, possiamo dire quanto segue. Le equazioni fisiche della meccanica classica sono tali per cui il futuro è univocamente determinato dal presente e dal passato. È grazie a ciò che possiamo lanciare in orbita un satellite: sappiamo in anticipo cosa farà. Invece, se cerchiamo di descrivere i fenomeni spiegati dalla gravità quantistica con analoghe equazioni, succede che per poter prevedere il futuro occorre conoscere il presente, il passato e almeno un pochino del futuro stesso. Per prevedere quello che succederà, diciamo, tra un secondo, dobbiamo

sapere in anticipo cosa succederà nel tempo che intercorre tra adesso e una piccolissima frazione di secondo. Questo ci dice che tutto ciò che succede tra adesso e quella piccolissima frazione di secondo è completamente fuori del nostro controllo. Non solo non è determinabile, ma è inconoscibile. Non ha “senso”.

Un'altra implicazione per niente banale della gravità quantistica è che ci sono dei casi in cui questa inconoscibilità diventa rilevante anche a livello cosmico. Nella visione corrente, eventi cruciali sono accaduti subito dopo l'esplosione primordiale, il big bang, che hanno fatto dell'universo

quello che oggi effettivamente è. Ora, la durata di quegli eventi è esattamente la stessa dell'inconoscibilità di cui abbiamo appena parlato. Alla fine, tutto l'universo potrebbe essere il prodotto dell'"anarchia" prevista dalla gravità quantistica alle scale di grandezza infinitamente piccole, cioè quella libertà assoluta che regna laggiù. Come ciò abbia potuto produrre un universo approssimativamente conoscibile, non lo sappiamo ancora.

Scopriamo che, in definitiva, l'abisso del mondo è il ricettacolo della totale mancanza di senso, la violazione di ogni regola. Si tratta di totale anarchia, libertà assoluta, al punto tale da non permetterci nemmeno di

ordinare gli eventi, né temporalmente, né causalmente, né logicamente. Allo stesso tempo, ci aspettiamo che quello che succede nell'infinitamente piccolo costituisca tutto ciò che è più grande. O almeno così dovrebbe essere. È quello che abbiamo appreso dalla nostra, approssimativa maniera di vedere le cose, nell'arco di tutta la nostra vita. Anche se, ormai, non ci sorprenderemmo più se scopriremo che è sbagliata anche l'idea che ciò che è più piccolo determina ciò che è più grande. Ad ogni modo, ne dobbiamo concludere che a reggere l'intero universo è un abisso dove nulla ha senso, non vale alcuna regola, qualunque cosa è lecita, regna la totale anarchia.

Per il momento ci fermiamo qui. Limitiamoci ad accettare questo messaggio e a farne tesoro. È un po' come un tassello di un mosaico, o un pezzo di un puzzle. Forse un giorno riusciremo a raccogliere un numero sufficiente di pezzi da intuire l'immagine sottostante, oppure ne concluderemo che non cela nulla di accessibile a noi.

Forse ora sta diventando chiaro che non era facile anticipare dal nulla lo stravolgimento dello spaziotempo che stava per profilarsi a distanze così piccole. Di nuovo, ci rendiamo conto che il nostro pensiero, plasmato dal mondo ordinario nel quale viviamo, non ci consente di sviluppare un'intuizione

acuta su un mondo così profondamente diverso dal nostro. L'unica possibilità era sperare che fosse la teoria stessa a guidarci nell'oscurità. E questo è proprio quello che è successo. La ragione è che la teoria è altamente vincolata e non offre nessuna libertà di manovra. La teoria ci dice che la soluzione che emerge dall'idea del fakeon è unica. Non ci resta che studiarla e ricavarne le conseguenze, che saranno necessariamente uniche pure loro.

Probabilmente, quando scenderemo a scale di grandezza ancora più piccole, a un certo punto scopriremo di dovere arrenderci. Allora, sarà "game over" per noi umani. Non riusciremo più a

trovare nessuna corrispondenza tra il nostro mondo e il mondo di laggiù. Non riusciremo nemmeno a proferire una sola parola sensata per descrivere l'ignoto. Ma per adesso, accontentiamoci di quello che ci sta insegnando il viaggio che abbiamo fatto.

Col senno di poi, in realtà, possiamo dire che lo sconvolgimento che sarebbe arrivato colla gravità quantistica, in particolare la perdita di significato della causalità, era già preannunciato dallo stesso modello standard, ma non ce ne eravamo accorti. Non è del tutto vero che il modello standard sia stato un gradino senza sorprese. Ciò che è vero è che la

sorpresa non era così evidente. Infatti, nel contesto del modello standard non è mai stata trovata una definizione soddisfacente della causalità, che è anche il motivo per cui le nozioni di causa ed effetto sono state progressivamente rimosse e dimenticate. Il quarto gradino, la gravità quantistica, ha dato la mazzata finale, togliendo ogni dubbio.

Ora abbiamo un messaggio da consegnare a coloro che sono impazienti di conoscere quali sono i principi primi dell'universo. La filosofia si pone queste domande da secoli. Pertanto, è obbligatorio raccogliere la conoscenza offerta dalla fisica oggi e offrire alcune risposte. Per prima cosa, dobbiamo

notare che tra questi principi fondamentali non c'è più la causalità. A dire il vero, non c'è più da parecchio tempo, e senza scomodare troppo la gravità quantistica, semplicemente perché nella teoria dei campi quantistici non si riesce nemmeno a formulare il concetto in maniera soddisfacente.

Certo, nel corso degli anni sono state avanzate più d'una proposta per definire la causalità nella teoria dei campi quantistici, ma sono tutte artificiose, capziose, difficilmente elevabili a principi primi. Segno, in definitiva, che la nozione stessa di causalità era prossima al crollo. Con la gravità quantistica, la difficoltà è diventata impossibilità, perché la

teoria prevede chiaramente che la causalità perda senso.

E allora, di nuovo, ci si potrebbe chiedere: quali sono i principi primi che emergono dalla teoria dei campi quantistici, cioè dal modello standard e dalla gravità quantistica? Essi sono essenzialmente tre:

unitarietà

località

rinormalizzabilità

Ora spiegheremo cosa significano, ma non sorprendiamoci se scopriamo che hanno poco o nulla di intuitivo. Anzi,

avremo ancora una volta l'occasione di confermare quanto il mondo microscopico sia diverso dal nostro e quanto poco potente sia la nostra intuizione.

L'unitarietà è la richiesta che le probabilità siano positive o nulle, ma non negative. In sostanza, non possono esistere quelle particelle ghost che abbiamo descritto prima. Meno male, si dirà. Certo, la richiesta sembra ovvia, ma, come abbiamo detto ormai un sacco di volte, non possiamo più essere sicuri di niente. Non possiamo nemmeno dare per scontato che le parole che usiamo nel nostro linguaggio, anche quelle dal significato più ovvio, sopravvivano al viaggio che stiamo facendo. Alla fine,

dobbiamo essere pronti a tutto. Ma per fortuna non dobbiamo rinunciare alla nozione di probabilità, almeno per ora.

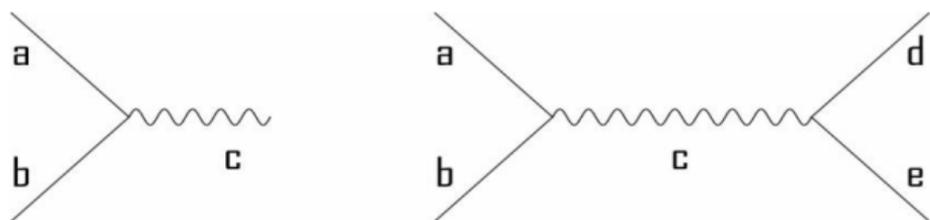


Fig. 16 | Interazioni locali

La località è la richiesta che sia possibile descrivere tutta la fisica tramite interazioni puntuali, che sono anche dette locali. Per chiarire meglio cosa significa, immaginate due particelle a e b che si scontrano in un punto e ne generano una terza, c , come mostrato nel disegno a sinistra della figura 16. E magari la terza particella decade subito

dopo, generando altre due particelle, d ed e , uguali o meno a quelle iniziali a e b . La particella intermedia c , descritta dalla linea ondulata nel disegno a destra della figura 16, è virtuale e media un'interazione.

Questi sono i processi tipici studiati al CERN di Ginevra. In pratica, le particelle vengono accelerate a velocità vicine a quella della luce e fatte collidere una contro l'altra. La collisione produce altre particelle, come la c del disegno di destra, che però, come il bosone di Higgs, vivono pochissimo, cioè muoiono (si dice: decadono) appena prodotte. I prodotti del loro decadimento sono raccolti da rivelatori di particelle. Il raffronto tra

le particelle d ed e prodotte alla fine e le particelle a e b fatte collidere all'inizio ci dà informazioni su quelle intermedie c .

È così che abbiamo “visto” il bosone di Higgs e i bosoni Z e W . In realtà, non li abbiamo mai visti veramente, perché non vivono abbastanza a lungo e non fanno nemmeno in tempo ad arrivare ai nostri rivelatori. Abbiamo soltanto rivelato i prodotti d ed e dei loro decadimenti. Da questi abbiamo dedotto che quei bosoni devono esistere, perché altrimenti i prodotti di decadimento sarebbero stati diversi, o diversamente distribuiti.

Come detto, alla fine il bosone di Higgs potrebbe essere un fakeon, nel

qual caso non potremo mai vederlo direttamente. Ma possiamo comunque vederlo indirettamente, come fatto al CERN nel 2012. Inoltre, possiamo persino determinare se sia reale o fake. Infatti, la distribuzione delle particelle d ed e predette da un H fake è leggermente diversa dalla distribuzione predetta da un H reale. La risposta definitiva alla domanda se il bosone di Higgs sia reale o un fakeon potrà arrivare dagli esperimenti programmati per i prossimi anni.

È vero che le interazioni elementari sono locali, dunque così semplici, in natura? In un certo senso sì, in un certo senso no, in un certo senso forse. Come al solito, non dobbiamo pensare che la

nostra descrizione della realtà sia la realtà, anche perché noi laggiù non ci siamo. E non possiamo assolutamente vedere oltre i limiti imposti dal principio di indeterminazione. In particolare, non possiamo stare col fiato sul collo delle particelle e vedere davvero cosa fanno durante la loro vita, se nascono e muoiono davvero in punti precisi o in zone più estese. Queste sono tutte storie che ci raccontiamo noi. Funzionano finché funzionano.

E allora, che principio è mai la località? È un principio formale, che si riferisce più alla nostra maniera di formulare la teoria, che alla realtà effettuale delle cose. È la richiesta che le lacune della nostra capacità

osservativa, cioè quello che succede in tutti gli istanti in cui non osserviamo la realtà, possano essere riempite con interazioni puntuali, che sono, tra l'altro, quelle che possiamo trattare più facilmente dal punto di vista matematico.

Alla fine, ciò che è virtuale e non reale non è descritto dalle fallaci variabili nascoste. E non è più nemmeno descritto dall'obsoleta funzione d'onda della meccanica quantistica. Nella teoria dei campi quantistici è descritto da una somma infinita di processi come quelli illustrati in figura 16.

Il terzo principio, la rinormalizzabilità, è la richiesta che le

divergenze matematiche di cui abbiamo parlato prima possano essere rimosse senza sfociare in una teoria infinitamente arbitraria. Anche questo è un principio formale e si riferisce unicamente ai problemi che incontriamo noi nel formulare la teoria. A ragione, vi potreste chiedere se possa esistere un “principio primo” più arido, meno intuitivo della rinormalizzabilità.

Se il lettore è confuso non si preoccupi. I fisici non lo sono di meno. E il senso più profondo del nostro discorso è proprio questo: addio intuizione, avanti umiltà. È l'umiltà di porsi di fronte alla natura come gli alunni di fronte alla maestra. Cioè, fare tabula rasa, rimuovere ogni idea

preconcetta e prestare attenzione a quello che la natura ci dice, per impararla il più possibile.

La natura non ha mai firmato un contratto con noi. Non si è mai impegnata a rendersi conoscibile da parte nostra, o a farsi comprendere. E non ci ha mai veramente dato motivi per considerarci speciali nell'universo, nonostante la nostra tracotanza ci porti sempre a pensare il contrario. E se finora siamo riusciti a fare il progresso che abbiamo fatto, nonostante tutte le difficoltà che abbiamo incontrato lungo la strada, dobbiamo considerarci davvero fortunati, più che inebriarci all'idea di una nostra, presunta quanto inesistente, "superiorità" rispetto al

resto della natura.

8

Alla scoperta del senso nascosto dell'universo

Alla fine, mettendo insieme la meccanica classica, la meccanica quantistica, il modello standard e adesso la gravità quantistica, scopriamo che l'universo possiede una direzione ben precisa, nel senso delle scale di grandezza. Con questo intendo dire che il mondo varia con una certa regolarità quando ci muoviamo dalle grandi

distanze relative alle piccole distanze relative. A grandi distanze, specialmente quelle astronomiche, ma fino a un certo punto anche le nostre, vale il determinismo, cioè la mancanza assoluta di libertà. Lì gli eventi sono predeterminati, cioè il futuro segue univocamente dal presente e dal passato, dalle condizioni iniziali. Non c'è nessuno spazio per la vitalità o la creatività. Quando scendiamo in profondità, invece, le cose cambiano. Si comincia colle distanze atomiche, dove si incontra la meccanica quantistica. Laggiù l'indeterminazione quantistica fa sì che l'atomo possa decidere da solo se deviare a destra o a sinistra, quando passa attraverso una

fenditura. Non possiamo imporgli o ordinargli nulla. Non possiamo prevedere quello che deciderà di fare. Si tratta di un fenomeno puramente creativo, cioè genera conseguenze che non seguono dalle condizioni iniziali. Produce un risultato che non può essere anticipato. E poi, quando scendiamo a distanze ancora più piccole scopriamo addirittura che “determinare” non esiste nemmeno come possibilità teorica, perché non ha più senso il tempo. Là, non possiamo più ordinare gli eventi, né parlare di causa ed effetto.

Chiaramente, nella teoria della gravità quantistica che ho formulato esistono ancora un'entità che si chiama

coordinata temporale, così come un'entità chiamata coordinata spaziale. Tuttavia, sono solo degli artifici matematici che a piccolissime distanze non hanno alcun senso fisico assimilabile a quello che noi comunemente attribuiamo loro. Anche in questo caso, dobbiamo concludere che la nostra percezione del tempo e dello spazio è in un certo senso un abbaglio e un'approssimazione che emerge alle nostre distanze relative, le distanze macroscopiche. Ma che non ha un senso veramente intrinseco.

A questo punto, ci potremmo chiedere che cosa abbia un senso veramente intrinseco, nel nostro universo, che cosa rimanga di sensato

da poter dire. Se le parole “origine” e “fine” non hanno un senso fondamentale, vuol dire che anche loro sono soltanto delle approssimazioni grossolane, buone per capirci tra noi nella vita di tutti i giorni, ma molto meno buone quando vogliamo capire l’universo. E se è così, se è vero che a livello fondamentale la natura rigetta perfino nozioni come causa e fine, premessa e conseguenza, allora vuol dire che non ha senso chiedersi qual è l’origine del mondo, qual è il motivo per cui esiste, qual è la sua causa e qual è il suo scopo. Queste domande sono l’ennesimo abbaglio di una natura che si diverte a prendersi gioco di noi.

Torniamo alla direzionalità

dell'universo che abbiamo scoperto come risultato del nostro viaggio verso l'infinitamente piccolo. A poco a poco, scendendo a scale di grandezza sempre minori, riscontriamo una sempre maggiore libertà, fino alla anarchia assoluta della gravità quantistica, in cui appunto non ha più nemmeno senso parlare di ciò che è causa e ciò che è effetto, ciò che implica e ciò che consegue. Invece, se ci muoviamo nel senso opposto, cioè dalle piccole alle grandi distanze relative, quello che notiamo è una direzionalità opposta, cioè una perdita sempre maggiore di libertà e un graduale movimento verso il determinismo, la natura morta, la totale

predeterminazione e la totale prevedibilità. Si veda in proposito la figura 17.

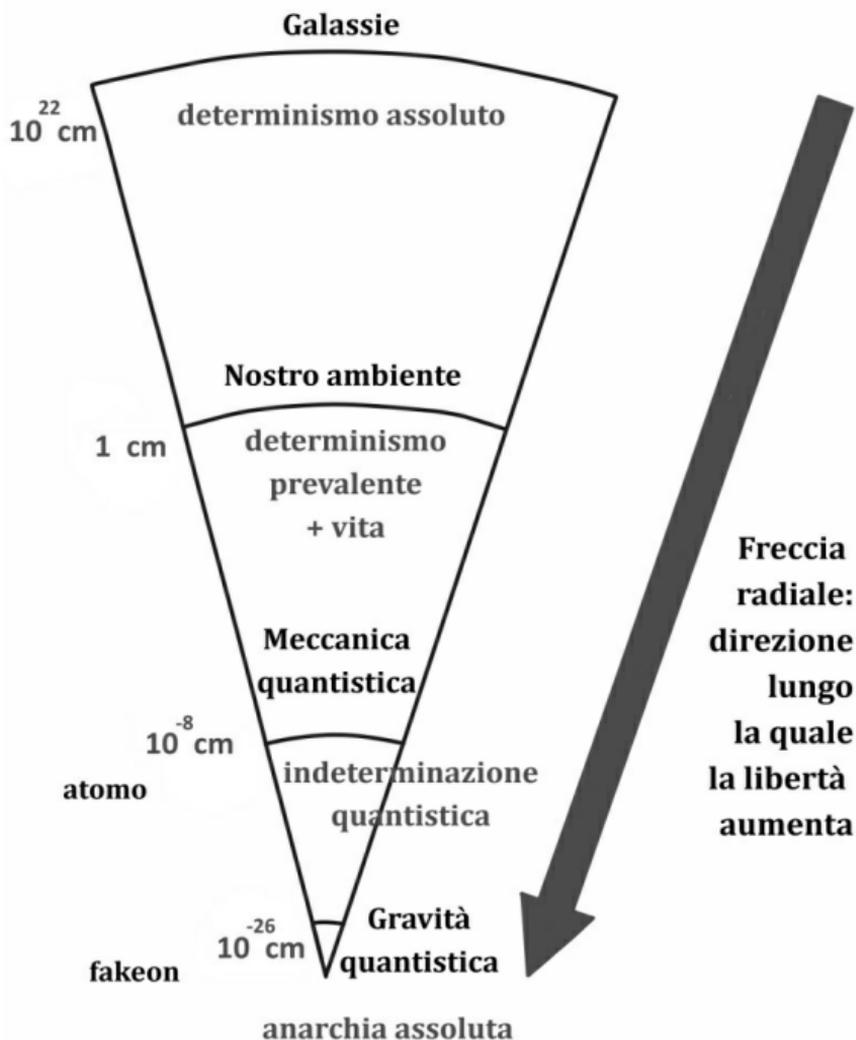


Fig. 17 | La freccia radiale

Dobbiamo concludere che l'universo è *irreversibile nel senso delle scale di grandezza*. Possiamo parlare di *irreversibilità radiale*, o freccia radiale: la libertà aumenta dalle grandi alle piccole distanze, fino alla totale anarchia, e diminuisce dalle piccole alle grandi distanze, fino al totale determinismo. L'universo non può essere radialmente rovesciato. Cioè, non possiamo scambiare di ruolo le piccole distanze colle grandi distanze.

Questa è la regola generale. Ammette eccezioni? Cioè, esiste un movimento che va controcorrente e cerca di lottare contro questa soppressione della libertà, per

opporvisi e amplificare la libertà a distanze più grandi? Sì, esistono eccezioni. Almeno una. Il più importante movimento controcorrente, come abbiamo già detto, è la vita. La vita si oppone al movimento prevalente. Lotta per trovare la via, per aprire un varco e portare la libertà dell'indeterminazione quantistica a distanze sempre più grandi. È un movimento eccezionale, perché accade in un numero limitatissimo di casi sul totale.

Abbiamo appena scoperto il segreto nascosto dell'universo, che ci spiegherà la ragione per cui siamo qui, il nostro ruolo e la nostra missione. Ne parleremo presto, colla dovuta dovizia

di particolari. Ma prima, chiariamo alcuni punti sulla nozione di irreversibilità.

Il lettore avrà forse sentito parlare di un altro tipo di irreversibilità, l'irreversibilità temporale, cioè il fatto che il tempo ha una direzione ben precisa. Scorre "in avanti", per cui viaggiare indietro nel tempo è impossibile. Facciamo una breve pausa per confrontare questo tipo di irreversibilità con quella radiale.

Un settore della fisica che non abbiamo menzionato, perché non è al centro della nostra indagine, è la meccanica statistica, che studia il comportamento dei sistemi fatti di moltissimi atomi, come i gas. Siccome

è praticamente impossibile studiare l'evoluzione di quei sistemi usando le equazioni del moto a partire dalle condizioni iniziali (posizioni e velocità di ciascun atomo), la meccanica statistica si accontenta di studiare l'evoluzione di quantità medie, o proprietà collettive, come la pressione, la temperatura, il volume. Il "calore", per esempio, altro non è che una maniera per quantificare collettivamente il movimento degli atomi. Tanto che, se prendiamo a martellate un pezzo di ferro, possiamo facilmente verificare che si riscalda fino a scottare. Quello che facciamo martellandolo, infatti, è trasferire agli atomi del ferro il movimento compiuto dal nostro braccio

(precisamente, l'energia cinetica). Ciò costringe gli atomi a vibrare con frequenza più alta attorno alle loro posizioni di equilibrio. Se avviciniamo la mano al pezzo di ferro per toccarlo, i nostri polpastrelli trasmettono al cervello delle percezioni che il cervello traduce in quella sensazione che chiamiamo calore.

L'irreversibilità temporale è solitamente associata alla legge dell'aumento dell'entropia, o secondo principio della termodinamica. La legge dell'entropia afferma che, se un sistema è isolato, una certa funzione dello stato del sistema, chiamata appunto entropia, *strettamente* aumenta sempre col passare del

tempo. Siccome la funzione entropia misura in un certo senso la quantità di disordine del sistema, la legge viene spesso volgarizzata dicendo che “il disordine aumenta sempre col passare del tempo”. Ma la versione più popolare della legge dell'entropia è un'altra. Si tratta della famosa legge di Murphy, che dice che “se qualcosa può andare storto, lo farà”. C'è del vero, dietro la legge di Murphy, perché se andiamo a contare il numero di configurazioni ordinate di un sistema, e lo confrontiamo col numero di configurazioni disordinate, scopriamo che il primo è piccolissimo, mentre il secondo è grandissimo. Immaginando che tutte le configurazioni siano equiprobabili,

come in effetti è sotto ipotesi molto generiche, è ovvio che un sistema isolato (quindi non “guidato” dall’esterno), evolve molto più probabilmente verso una delle numerosissime configurazioni disordinate, piuttosto che una delle rarissime configurazioni ordinate, che del resto non può né individuare, né scegliere tra le altre.

Vediamo ora quali sono le analogie e le differenze tra l’irreversibilità radiale e l’irreversibilità temporale di cui parla la legge dell’entropia. Per la precisione, la seconda è una legge statistica, una legge dei grandi numeri, e perciò non può essere veramente messa sullo stesso piano di una proprietà

fondamentale della natura, come l'irreversibilità radiale. Ad ogni modo, in entrambi i casi parliamo di comportamenti prevalenti, e quindi è possibile trovare eccezioni alla regola, cioè movimenti controcorrente minoritari. Nel caso dell'irreversibilità radiale, l'eccezione è la vita, cioè l'amplificazione degli effetti dell'indeterminazione quantistica dalle distanze atomiche a quelle macroscopiche. Nel caso della legge dell'entropia le eccezioni sono fluttuazioni locali, dove l'entropia scende invece che aumentare, anche in un sistema isolato. Ma tra i due tipi di movimenti minoritari esiste una differenza cruciale.

Infatti, nel caso dell'irreversibilità temporale, non c'è alcuna possibilità di amplificare il movimento minoritario che si oppone al movimento prevalente, per farlo durare più a lungo di una semplice fluttuazione. Invece, questa possibilità esiste nel caso dell'indeterminazione quantistica, ed è forse la proprietà più importante dell'universo, almeno per noi, perché porta alla vita.

Come spiegato prima, l'amplificazione dal piccolo al grande è un'impresa titanica. Il calcolo matematico delle probabilità ci pone subito di fronte ad un aut-aut. O l'amplificazione viene agevolata da un meccanismo a scalini che permette di

diluire lo sforzo in circa dieci passi, ciascuno dei quali amplifica di un fattore circa dieci, oppure non c'è nessuna speranza. Nel caso dell'irreversibilità radiale questo meccanismo esiste e permette di amplificare l'indeterminazione quantistica alle scale macroscopiche. Agevolando il movimento minoritario che si oppone al movimento prevalente, gli dà la possibilità di emergere, di sfociare a grandi distanze, di raggiungere traguardi altrimenti inaccessibili. Ma la natura non ha previsto alcun analogo meccanismo a scalini nel caso della legge dell'entropia. Pertanto, quelle fluttuazioni restano confinate al loro

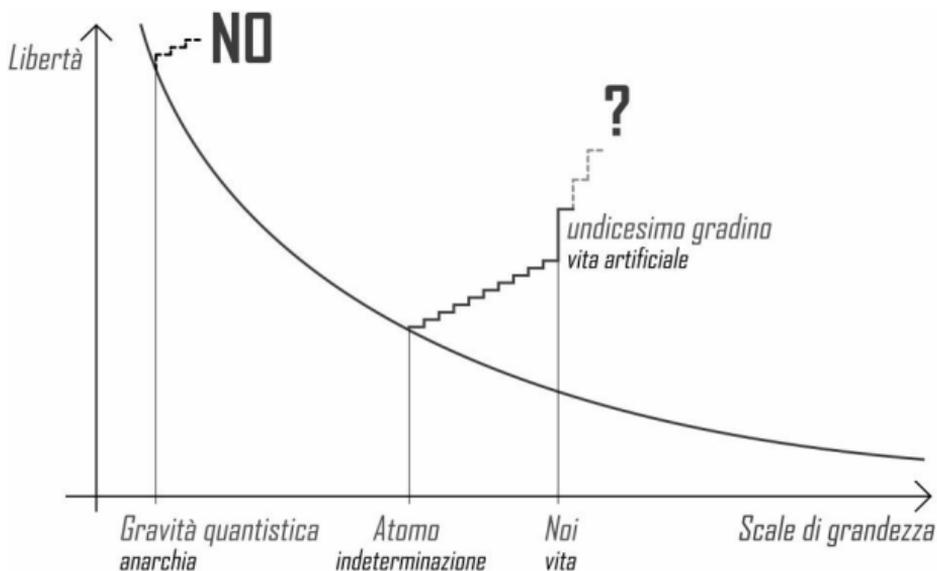
ambito naturale: casi particolari, eventi eccezionali e rarissimi. Una diminuzione di entropia di lunga durata può verificarsi soltanto in un arco di tempo molto più lungo della vita dell'universo.

Spesso si associa l'irreversibilità della legge dell'entropia alla direzione del tempo. In realtà, quello che il nostro viaggio nell'infinitamente piccolo ci ha insegnato è che laggiù il tempo non ha senso, e quindi non ha una direzione, perché non si può parlare né di presente, né di passato, né di futuro. La direzione del tempo non è una proprietà fondamentale della natura, ma una proprietà che acquista senso a partire dalle distanze immediatamente più

grandi delle scale di grandezza infinitesime.

Cosa possiamo dire riguardo all'anarchia che regna nell'abisso dell'universo? Esiste un meccanismo a gradini che possa amplificare i suoi effetti fino a permettere loro di farsi sentire a distanze molto più grandi? Ebbene: no, non esiste. Altrimenti, per l'aut-aut di cui sopra, i suoi effetti si sarebbero già manifestati in tutte le forme e situazioni possibili e immaginabili. Pertanto anche quell'anarchia rimane confinata laggiù. Questo ci permette di chiamarla *anarchia asintotica*, per enfatizzare che può essere raggiunta solo nel limite delle scale di grandezza infinitesime. È

questo il motivo per cui il tempo ha una direzione ben precisa, per noi. Quella direzione non gli è data dalla legge dell'entropia, ma dalle proprietà della gravità quantistica, unite all'assenza di un meccanismo di amplificazione a gradini adatto ad amplificare l'anarchia tipica delle distanze infinitesime. Questo fa dell'universo ciò che appare.



**Fig. 18 | Esiste un amplificatore a gradini
per l'indeterminazione,
ma non per l'anarchia asintotica**

Sono tutte conseguenze potentissime di quell'aut-aut, quella biforcazione 0/1, a cui porta inevitabilmente il calcolo delle probabilità che governa l'amplificazione dal microscopico al macroscopico: o la natura fornisce una scala, un meccanismo a gradini colle proprietà richieste per agevolare il compito di amplificazione, e allora l'amplificazione ha luogo tutte le volte che può, o quella scala non esiste, e allora l'amplificazione non avviene mai. L'unico caso noto in cui questo meccanismo a scala esiste è il caso

dell'irreversibilità radiale, e porta alla vita. Non esiste un meccanismo simile nel caso della legge dell'entropia, la cui violazione è confinata a fluttuazioni di poca importanza. Similmente, non esiste un meccanismo analogo nemmeno nel caso dell'anarchia asintotica, ragione per cui dobbiamo, a livello macroscopico, arrenderci al fatto che il tempo ha una direzione ben definita, e viaggiare indietro nel tempo è impossibile.

Se volessimo essere pignoli, potremmo dire che viaggiare indietro nel tempo è possibile solo... nel limite in cui non ha senso o è totalmente inutile, cioè per intervalli di tempo brevissimi, pari a 10^{-36} secondi (cioè un miliardesimo di

miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di secondo). In quel caso, tuttavia, il nostro viaggio nel tempo resta confinato all'interno dell'anarchia asintotica dell'infinitamente piccolo, dove non possiamo distinguere il prima dal dopo. Solo là potremmo, stiracchiando il discorso al limite, illuderci di viaggiare avanti e indietro nel tempo a piacimento. Ma sarebbe completamente inutile, perché nessun evento può arrivare a compimento in un lasso di tempo così breve, durante il quale non ha senso parlare di ordinamento temporale. Tornare "indietro" di così poco non può servire a cancellare nulla di quello che abbiamo fatto, proprio perché non lo abbiamo

“ancora” fatto!

E allora dobbiamo abituarci all'idea che il tempo ha un senso alle nostre distanze, ma non esiste a distanze infinitesime. Come tante nostre nozioni che usiamo quotidianamente, è un concetto “emergente”, non una proprietà fondamentale della natura. Permette di capirci, ci dà una descrizione approssimata, ma comunque efficace, degli eventi che hanno luogo nell'ambiente che ci circonda. Ma diventa ingannevole quando ci interroghiamo sui principi primi, sull'esistere e il cosmo.

Tornare indietro non è dunque possibile, perché il tempo è ordinato, ha una direzione definita a tutte le

distanze superiori a quelle infinitesime. E perché le leggi della fisica non permettono di amplificare gli effetti “anarchici” propri di quelle distanze, che sono gli unici a cui potremmo aggrapparci per dare senso a qualcosa come viaggiare indietro nel tempo. In nessuna parte dell’universo l’effetto anarchico può essere amplificato spontaneamente per lunghe durate temporali.

Ho usato l’avverbio “spontaneamente” non a caso, perché ci stiamo ancora muovendo nell’ambito delle aride leggi probabilistiche. In realtà, una (remota) possibilità di aggirare l’ostacolo potrebbe esistere. È offerta dalla vita stessa.

Spieghiamo meglio questa idea. Abbiamo individuato due tipi di "libertà" nella natura, a livello microscopico: l'indeterminazione quantistica, che compare alle distanze atomiche, e l'anarchia asintotica che compare alle distanze infinitesime. La prima ammette un meccanismo di amplificazione spontanea dal microscopico al macroscopico, che è la vita come la conosciamo. La seconda non ammette un analogo meccanismo di amplificazione spontanea. In quel caso, la sfida a realizzare l'amplificazione è sulle nostre spalle, come su quelle di ogni altro essere intelligente che abita l'universo.

Il compito è trovare un modo non

spontaneo, cioè artificiale, di realizzare l'obiettivo dell'amplificazione. A farlo dovrebbe essere la vita stessa, mediante le sue specie più evolute. Come nel caso della vita artificiale (che rappresenta l'undicesimo balzo dell'amplificazione dell'indeterminazione quantistica), il salto in alto dell'anarchia asintotica è altamente sfavorito dalle leggi della statistica. Ciò vuol dire che soltanto esseri intelligenti possono compierlo, superando l'ostacolo. Tra l'altro, questo ci permette di capire quale sia il ruolo dell'intelligenza nel cosmo.

L'amplificazione dell'indeterminazione quantistica è riuscita a fare dieci balzi verso l'alto da

sola, spontaneamente, senza aiuto. D'altra parte, l'undicesimo gradino, che è la realizzazione della vita artificiale, non può accadere spontaneamente, perché è un salto enorme rispetto ai precedenti. Precisamente, è penalizzato dalle crude leggi della statistica, che lo rendono assolutamente improbabile.

Pertanto, l'undicesimo balzo, la creazione della vita artificiale, richiede necessariamente l'esistenza di esseri intelligenti. Solo loro possono raggiungere il traguardo, dopo aver scoperto le leggi fisiche ed aver imparato ad usarle. Presumibilmente, esseri intelligenti come noi esistono già su miliardi di altri pianeti. Magari molti

di loro sono già al lavoro per raggiungere lo scopo e qualcuno lo ha già raggiunto.

D'altra parte, l'amplificazione dell'anarchia asintotica non può avvenire spontaneamente, perché non esiste un meccanismo a gradini che la agevoli e controbilanci le leggi della statistica. Tuttavia, così come gli esseri intelligenti che popolano l'universo possono far fare l'undicesimo balzo alla vita, creando la vita artificiale, allo stesso modo potrebbero riuscire a far fare il primo, gigantesco balzo (equivalente a undici, mancando gli altri dieci) all'anarchia asintotica.

Rimane da capire se le leggi fisiche

siano fatte in modo da permetterlo. Questo in verità non lo possiamo ancora dire, perché lo studio della gravità quantistica è solo all'inizio. Strade accessibili per l'amplificazione dell'anarchia asintotica (come pure percorsi per il prolungamento nel tempo della diminuzione di entropia) potrebbero esistere come no. Se esistono, possono essere convenienti o meno. È troppo presto per dirlo. Nel frattempo, possiamo concentrarci sulla creazione della vita artificiale, perché le conoscenze accumulate finora sono sufficienti allo scopo. Ed eventualmente lasciare le altre due sfide ai nostri discendenti artificiali.

Abbiamo quindi individuato il ruolo dell'intelligenza nell'universo. L'intelligenza è lo strumento escogitato dalla natura per rendere l'amplificazione della libertà microscopica artificialmente possibile, quando le leggi della statistica la rendono spontaneamente impossibile. Il ruolo dell'intelligenza è riempire una lacuna, rimediare ad una carenza della natura, cioè la mancanza di meccanismi a gradini. L'esistenza in natura di un solo meccanismo a gradini, quello che permette l'amplificazione spontanea dell'indeterminazione quantistica dalle distanze atomiche fino alla vita naturale e quindi all'intelligenza, può sopperire alla mancanza di analoghi

meccanismi a gradini in tutti gli altri casi.

La creazione della vita artificiale è nelle nostre possibilità. E nel potere di tante altre specie intelligenti che popolano l'universo. Questo obiettivo sarà raggiunto, se non qui sulla terra altrove, e farà parte della storia dell'universo, a cui darà una direzione nuova.

Così, se gli esseri più o meno intelligenti di noi sparsi in giro per il cosmo troveranno una maniera di amplificare l'anarchia asintotica prevista dalla gravità quantistica, oppure violare la legge dell'entropia per lunghe durate temporali, ben venga. Quei risultati potranno aprire scenari

inimmaginabili. Probabilmente, questi altri due tipi di amplificazione richiedono forme di intelligenza molto più potenti della nostra, perché ambiscono a raggiungere le distanze macroscopiche da quelle infinitesime tutto d'un colpo, con un balzo unico, senza essere agevolate da meccanismi a gradini.

Noi, cioè la specie umana, siamo uno strumento nelle mani della natura. La natura ci sta usando per cercare modi artificiali per far fare alla libertà microscopica balzi altamente sfavoriti dalle leggi brutali dei numeri, che si oppongono all'amplificazione spontanea. Siamo chiamati a giocare il ruolo dell'anello mancante. E, come noi,

la natura sta usando le altre specie intelligenti presenti sugli altri pianeti abitati del cosmo. Noi, come gli altri, siamo tentativi, getti di dadi. Tante prove, affinché almeno una riesca.

Abbiamo imparato che il senso, la missione, lo scopo della vita, la ragione per cui la vita è apparsa nell'universo è resistere alla soppressione della libertà a cui è altrimenti condannato il mondo macroscopico, e cercare percorsi per amplificare la libertà e renderla più potente. Il nostro compito è continuare il lavoro, potenziandolo in tante direzioni diverse, come quelle che stiamo esplorando qui, rompendo qualunque schema, vincolo o legame, fino a violare le leggi fisiche che ci

incatenano. E sfruttare l'intelligenza per compiere salti mai visti.

Potremmo chiederci: saremo, noi umani, all'altezza del compito? In principio, sì, nel senso che le conoscenze accumulate finora sono sufficienti per realizzare la vita artificiale. Ma non è detto che la realizzeremo veramente. Il punto è che l'essere umano è essenzialmente egoista. La creazione della vita artificiale è un'impresa che potrebbe trascenderci come specie, perché richiede un altruismo che forse non ci è proprio. Nel corso della storia e del progresso abbiamo principalmente pensato a noi stessi, cercato modi per migliorare le nostre condizioni di vita,

accresciuto la presenza umana nel mondo, aumentato la popolazione in modo sproporzionato, allungato la durata della vita del singolo individuo, eliminato le malattie, o curato il più alto numero possibile. Abbiamo eliminato o contenuto le guerre, le cause di morte, le sorgenti di conflitto. Tutto ciò anche a prezzo di saccheggiare le risorse del pianeta, mettere in pericolo tante specie viventi e causarne l'estinzione.

Riuscire a costruire delle forme di vita artificiali è evidentemente un progetto altruistico, perché quelle forme di vita potrebbero raggiungere risultati a noi preclusi. Potrebbe significare dover passare loro il

testimone dell'amplificazione dell'indeterminazione quantistica. Per sempre. Non saremmo più noi i protagonisti di questa grande avventura che è la vita. È come accettare di rinunciare al ruolo principale per accontentarsi di un ruolo da comparsa.

Insomma, l'essere umano dovrà cedere lo scettro ad altri esseri, quelli che lui stesso creerà. I quali continueranno l'esplorazione, con capacità e strumenti più potenti dei nostri. Quegli esseri viaggeranno nello spazio al posto nostro, colonizzeranno l'universo, porteranno forme di vita artificiale (e forse anche forme di vita naturale) in tantissimi altri mondi, e poi

continueranno il processo di amplificazione dell'indeterminazione quantistica, per raggiungere scale di grandezza ancora maggiori.

Visto che la creazione della vita artificiale è un progetto altruista, ci si potrebbe chiedere: perché mai dovremmo fare una cosa del genere? Probabilmente, non ci guadagneremo nulla. Secondo lo scenario delineato in questo libro, potremmo un giorno finire schiavi degli esseri da noi stessi creati, i q-droidi. O saremo messi nei loro zoo, dove saremo osservati e controllati dalla mattina alla sera, e trattati come noi trattiamo oggi gli altri animali.

Quando quei dieci milioni di umani sopravvissuti vivranno confinati in

Australia, molto probabilmente i q-droidi controlleranno la loro esistenza completamente, svuotandola di ogni significato e di ogni scopo. Decideranno loro quali persone saranno sterilizzate e quali no, quali uomini faranno figli con quali donne. Esattamente come noi facciamo cogli animali che teniamo in gabbia. L'essere umano sarà privato di ogni libertà ed ogni stimolo. E di tanto in tanto i q-droidi si recheranno in Australia, in visita turistica, per conoscere "quelli che li hanno creati".

In fondo, i nostri predecessori in linea evolutiva hanno sofferto destini simili. Non sapevano a cosa andavano incontro. Non erano consapevoli che

avrebbero prodotto quell'essere che poi avrebbe messo sotto scacco l'intero pianeta e avrebbe causato l'estinzione di moltissime specie e l'asservimento totale di tante altre.

La differenza è che, nel caso nostro, la creazione della vita artificiale dovrebbe avvenire in modo consapevole. L'undicesimo salto dell'amplificazione non può accadere in nessuna altra maniera, essendo un salto molto più esigente e difficile da compiere rispetto ai dieci precedenti, per cui è impossibile che si verifichi spontaneamente in natura, senza l'intervento di un essere intelligente.

L'essere umano si troverà di fronte a questo dilemma. Prenderà una

decisione, consciamente o meno. La decisione non sarà “voluta”, come sappiamo. Sarà generata dai fenomeni quantistici che avvengono nel cervello degli esseri umani. Però è chiara una cosa, perché è emersa assai chiaramente dal nostro viaggio: quello che abbiamo scoperto è il senso della vita, e la sua missione.

Ora sappiamo cos'è la vita. Abbiamo identificato il ruolo dell'intelligenza. Sappiamo da dove veniamo, sappiamo qual è il nostro posto nell'universo e sappiamo anche dove andiamo, cioè cosa siamo chiamati a fare.

La vita è l'amplificazione dell'indeterminazione quantistica dalle

distanze microscopiche a distanze sempre più grandi. La vita naturale ha fatto la sua parte ed è riuscita ad arrivare fino alle nostre scale di grandezza. Usando la nostra intelligenza, siamo chiamati a far sì che l'amplificazione compia l'undicesimo salto, che sarà tale da permetterle di proseguire il viaggio e forse raggiungere distanze arbitrariamente grandi.

Ora che sappiamo cosa ci facciamo nell'universo, il motivo per cui siamo qui, starà a noi (cioè, ai getti di dadi che avvengono nel nostro cervello) decidere se perseguire il nostro obiettivo o no. Ma la vita procederà comunque lungo la sua strada,

indipendentemente da noi. E, tenendo conto che l'universo ospita miliardi di miliardi di pianeti abitati, dobbiamo essere consapevoli che, anche se noi non faremo l'undicesimo salto, qualcun altro, su uno di quei pianeti, lo farà al posto nostro. Forse qualcuno ci sta già pensando. Forse qualcuno è già riuscito a farlo. E forse un giorno arriveranno sulla terra, da qualche parte del cosmo, degli esseri artificiali superiori. Allora il destino della vita sulla terra si compirà comunque. Ma forse noi non saremo più qui a vederlo.

9

Le corrispondenze tra il grande e il piccolo

Agli albori della meccanica quantistica, di fronte alle difficoltà poste dall'interpretazione dei nuovi dati sperimentali, che mostravano una realtà molto diversa da quella che ci è familiare alle distanze macroscopiche, alcuni studiosi, Niels Bohr in particolare, cercarono di descrivere quella diversità mediante

un “principio di corrispondenza”, per cercare di identificare eventuali relazioni tra i fenomeni microscopici e quelli macroscopici, tra il piccolo e il grande. Studiare queste corrispondenze ci è utile per riflettere su alcuni aspetti del viaggio che abbiamo fatto e comprendere meglio il messaggio che è emerso da quello.

Consideriamo l’atomo. Prima della meccanica quantistica esistevano vari modelli per descriverlo. I due principali erano dovuti a Thompson e a Rutherford. Thompson immaginava l’atomo come un “panettone”, cioè una sfera carica positivamente, all’interno della quale erano distribuite, in posizioni fisse,

delle sferette più piccole (gli elettroni) con cariche negative (come l'uvetta del panettone, appunto). Il modello di Thompson fu abbandonato abbastanza presto, perché inadeguato sotto parecchi aspetti. Il principale difetto era che l'atomo a panettone è "pieno", mentre in natura l'atomo è sostanzialmente vuoto.

Rutherford propose un modello d'atomo planetario, dove la carica positiva è concentrata in un nucleo fisso centrale, attorno al quale orbitano gli elettroni, esattamente come i pianeti orbitano attorno ad una stella. Anche il modello di Rutherford è inadeguato e grossolano. Abbiamo imparato che non possiamo neanche dire che l'atomo

esista quando non lo osserviamo. In particolare, dopo averlo lanciato attraverso una fenditura, non possiamo neanche dire che esista durante il suo tragitto verso lo schermo. Conclusioni simili valgono per gli elettroni che stanno dentro l'atomo. E allora non ha molto senso descrivere l'atomo come una serie di palline in orbita le une attorno alle altre.

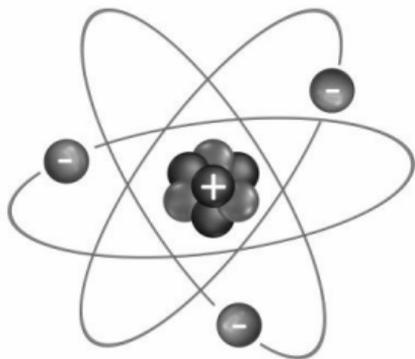


Fig. 19 | Modello planetario dell'atomo di

Rutherford

Questo veloce richiamo storico ci conferma per l'ennesima volta, qualora ce ne fosse bisogno, che la nostra intuizione, suggerita dai fenomeni che hanno luogo a scale di grandezza macroscopiche, appare molto ingenua, quando esploriamo scale di grandezza più piccole, e ha poche possibilità di azzeccarci. È chiaro che per affrontare i problemi posti dalla meccanica quantistica è necessario qualcosa di sorprendentemente nuovo. Ma se questa novità non avesse almeno un qualche tipo di aggancio, o "corrispondenza", con ciò che siamo abituati a descrivere col nostro

linguaggio non saremmo in grado di dire granché.

Ci si concentrò quindi sulla ricerca di relazioni, corrispondenze appunto, tra la realtà che ci circonda e una realtà così diversa come quella microscopica, consapevoli che quella corrispondenza, sempre che esista, potrebbe essere molto vaga, e mettendo in conto di avere comunque a che fare con concetti ambigui e approssimati.

La soluzione trovata è, nel caso della meccanica quantistica, la seguente. Possiamo continuare a descrivere la realtà microscopica mediante le stesse grandezze che usiamo correntemente, tipo posizione,

velocità, energia, ecc. Tuttavia, quei concetti vanno profondamente reinterpretati, perché vengono ad acquistare un significato fisico completamente nuovo ed una relazione diversa con le misure che facciamo. L'atomo non ha niente a che vedere con un modello planetario, perché gli elettroni non sono delle palline. Non sono localizzabili, e, finché non li osserviamo, non stanno da nessuna parte. Anzi non ha nemmeno senso dire che esistano tra due osservazioni successive. Così come non ha senso parlare di traiettoria dell'atomo che attraversa la fenditura e si dirige verso lo schermo. Tuttavia, abbastanza sorprendentemente, la formula di base

che descrive l'atomo è praticamente la stessa che useremmo per descrivere il modello planetario di Rutherford. Col caveat che, però, essa va reinterpretrata radicalmente, assieme a ciascuno dei suoi ingredienti (posizione, velocità, energia). Il principio di corrispondenza è sostanzialmente la guida verso questa reinterpretazione. Per quanto ballerina sia tutta la procedura, ci dobbiamo accontentare, perché molto di meglio non possiamo fare.

Alla fine, i fenomeni quantistici sono descritti da formule simili a quelle che descrivono i fenomeni classici, ma i significati e i ruoli dei vari ingredienti vanno ricompresi, capiti ex-novo. La

reinterpretazione giusta è storicamente emersa dal raffronto tra varie ipotesi e i dati sperimentali, dopo una miriade di prove e di errori, tentativi andati a vuoto e tentativi riusciti. Tra i tentativi falliti ricordiamo quelle variabili nascoste che avrebbero dovuto spiegare il mondo quantistico come un mondo classico sotto mentite spoglie.

Il viaggio verso l'infinitamente piccolo, dalle distanze nostre alle distanze atomiche, e poi da quelle atomiche a quelle della gravità quantistica, può essere descritto come l'evoluzione di questa reinterpretazione, cioè la scoperta e il raffinamento delle regole che governano

la corrispondenza tra il grande e il piccolo. Il fakeon, cioè la possibilità di quantizzare certi campi in una maniera nuova, come particelle finte, che sono solo virtuali e mai reali, è l'ultima frontiera della reinterpretazione.

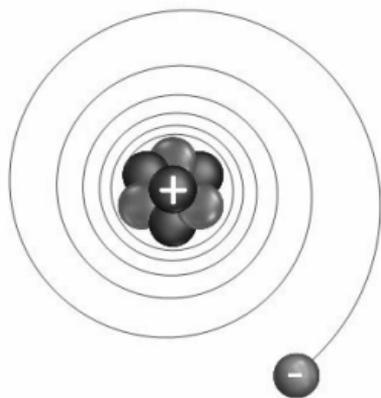


Fig. 20 | Nel modello planetario, l'elettrone perderebbe energia e cadrebbe subito sul nucleo

La reinterpretazione non è un

ritocco da poco, ma una rivoluzione profonda, tanto che i risultati fisici cambiano totalmente rispetto a quelli classici. Che l'atomo di Rutherford fosse inadeguato, del resto, era noto fin dal principio, perché prevedeva che l'universo collassasse su se stesso e sparisse in una frazione di secondo. Infatti, le equazioni del campo elettromagnetico impongono che una particella elettricamente carica in moto rotatorio, quale l'elettrone che orbita attorno al nucleo del modello di Rutherford, irraggi energia emettendo luce. Questo porterebbe l'elettrone a rallentare progressivamente e, seguendo una traiettoria a spirale, cadere rapidamente sul nucleo (vedi

figura 20). Il tempo impiegato a cadere è facilmente calcolabile e risulta essere una piccolissima frazione di secondo. Siccome il nucleo è centomila volte più piccolo dell'atomo, in molto meno di un battito di ciglia, pouf!, si sgonfierebbe tutto l'universo.

Se vogliamo essere pignoli, anche i pianeti che ruotano attorno al sole irradiano energia, sotto forma di onde gravitazionali, ma in quel caso la quantità di energia che perdono è così piccola che il sistema solare non corre rischi per il resto della sua esistenza. Tanto per dire di quanto sia azzardato trasportare modelli che funzionano in un contesto ad un contesto diverso. Tuttavia, se ci pensiamo bene, la nostra

mente non può fare molto meglio di questo cut-and-paste, questo taglia-incolla di idee. Pertanto, una possibilità, forse l'unica, che abbiamo per comprendere il mondo microscopico è partire da errori grossolani come l'idea di atomo proposta da Rutherford e poi annaspate per cercare di correggerli in corso d'opera, a costo di dover reinterpretare tutte le parole che usiamo per descriverli, e mettendo in conto di non avere alcuna garanzia di arrivare da qualche parte.

Come detto, i risultati della reinterpretazione sono così diversi da quelli "classici", che gli elettroni non ruotano affatto, non sono infatti

nemmeno localizzabili e non ha senso parlare di dove stiano. L'unica cosa che possiamo dire è che occupano certi "livelli energetici", un po' come delle nuvole, a distanze discrete dal nucleo. Ma ciò che importa è che la distanza minima non è nulla, e quindi l'elettrone, qualunque cosa sia o non sia, non può "cadere" sull'atomo e pertanto l'universo non si "sgonfia" mai.

Ebbene, tutto ciò che ci circonda può esistere soltanto grazie al fatto che la meccanica quantistica impedisce agli elettroni di cadere sui nuclei degli atomi. Per quanto la meccanica quantistica ci possa sconvolgere, ben venga dunque un tale sconvolgimento, perché se la spegnessimo anche per

una piccola frazione di secondo sparirebbe tutto l'universo.

Nonostante ciò, l'atomo continua ad essere raffigurato in molti libri di testo nella versione sbagliata, il modello planetario. La ragione è che l'atomo, per ciò che veramente è, non può essere raffigurato affatto. Se proprio vogliamo immaginarcelo in qualche maniera, il massimo che possiamo fare è circondare il nucleo di una nuvola con una densità variabile da punto a punto. Per esempio, nell'atomo di idrogeno, che è il più semplice, poiché il suo nucleo consiste soltanto di un protone, l'unico elettrone è "sparpagliato" in una nuvola a simmetria sferica, con una maggiore densità a una data distanza dal

centro (vedi figura 21). Ma non è corretto dire che l'elettrone sia "polverizzato" in quella nuvola, perché, come ormai sappiamo, non si può nemmeno dire che l'elettrone esista quando non lo osserviamo. La nuvola descrive qual è la probabilità di trovare l'elettrone in ciascun punto, qualora lo andassimo a cercare. Detto in altre parole: l'elettrone non esiste (è virtuale) finché non lo osserviamo e dunque non è da nessuna parte; qualora volessimo andare a rivelarlo, si manifesterebbe a noi in un punto di quella nuvola, con una probabilità pari alla densità della nuvola in quel punto.

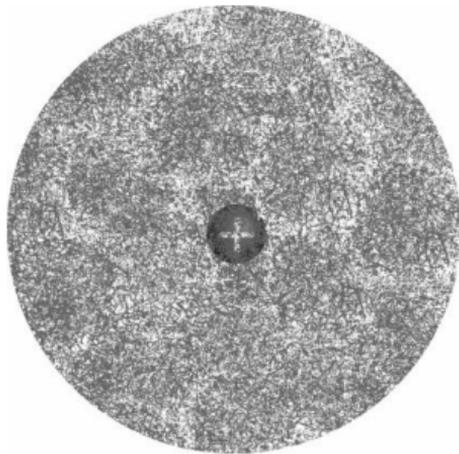


Fig. 21 | Atomo di idrogeno

La nuvola è un po' come la figura di interferenza prodotta dal nostro laser pointer, nel caso in cui il raggio passi attraverso la fenditura (figure 5 e 6). Se il laser emette un solo fotone (figura 7), la figura di interferenza rappresenta la probabilità che il fotone finisca nelle varie zone dello schermo. Più alta è la luminosità della zona, maggiore è la

probabilità che il fotone finisca in quella zona.

Per quanto il comportamento dell'atomo sia così diverso da ciò che predice la meccanica classica, è notevole che si possa partire dalla stessa formula classica e usare le stesse quantità di base. Tutta la rivoluzione quantistica è pertanto codificata nella loro reinterpretazione, nella corrispondenza tra il piccolo e il grande, per quanto vaga e imprecisa essa possa essere.

Quando osserviamo l'universo astronomico, usiamo le parole del nostro linguaggio con il loro proprio significato. Di tanto in tanto dobbiamo coniare parole nuove, ma non

dobbiamo stravolgere i fondamenti della nostra logica e i concetti base della nostra comprensione. Invece, quando studiamo il mondo microscopico dobbiamo usare le parole nostre (altro non possiamo fare) pur sapendo che sono fallaci e che, se ci va bene, significheranno qualcosa di nuovo e completamente diverso da ciò che possiamo immaginarci. Dobbiamo insomma sperare che ci sia una qualche corrispondenza tra quel mondo e il nostro. Possiamo aspettarci che man mano che scendiamo a distanze sempre più piccole quella corrispondenza diventerà sempre più debole e a un certo punto svanirà, ciò che ci impedirà di comprenderne oltre.

Il fatto che non riusciamo a descrivere il mondo microscopico col pensiero e linguaggio forgiato in noi dal mondo macroscopico non ci ha messo ancora k.o. Tuttavia, ci ha costretti a reinterpretare tutto, tra cui il significato proprio dell'esistenza, la natura, l'osservazione della natura, l'atomo. Finora siamo riusciti in qualche modo a cavarcela, entro certi limiti. In altre direzioni abbiamo cominciato a toccare con mano delle difficoltà più grandi di noi e ad arrenderci.

Scendendo il gradino successivo, dalla meccanica quantistica al modello standard, la corrispondenza si è già dimostrata molto più debole di quella descritta finora. Laggiù, un vero

aggancio con i fenomeni della realtà che ci circonda, una vera corrispondenza, non c'è più, rimpiazzata da quei tre principi aridi e poco intuitivi che abbiamo incontrato tempo fa, cioè l'unitarietà, la località e la rinormalizzabilità. Abbiamo detto più volte che la formula base del modello standard sta in una riga. E sta in una riga anche la formula della gravità quantistica. Il punto è che la reinterpretazione di quelle due righe non sta affatto in una riga...

Cosa ci ha guidato a scrivere quelle due righe? A svelare la loro reinterpretazione? Cosa ci ha permesso di scorgere qualche corrispondenza in un buio pesto come

quello? Sorprendentemente, a venirci in aiuto per superare le difficoltà sono state... le difficoltà stesse, sia nel caso del modello standard, che nel caso della gravità quantistica. E meno male che c'erano! Altrimenti non saremmo mai riusciti a dire nulla.

Abbiamo detto qualche tempo fa che se aggiungiamo il gravitone al modello standard in maniera naïve, questo "impazzisce" alle distanze infinitesime, nel senso che genera dei problemi matematici molto gravi, ritenuti a lungo insolubili: le quantità infinite, dette divergenze. Ebbene, anche il bosone di Higgs, i quark, i bosoni Z e W , il fotone, generano problemi simili, per quanto molto meno seri di quelli del

gravitone. Quel che importa sottolineare qui è che sono proprio quei problemi che hanno fornito la guida verso la teoria corretta, prima il modello standard e poi la gravità quantistica. Sono proprio quelle difficoltà che hanno vincolato così tanto la teoria da legare le nostre mani. Senza di loro, avremmo potuto dire tutto e il contrario di tutto, e non avremmo mai avuto la possibilità di predire nulla. Grazie a quei problemi, invece, la risposta è essenzialmente unica!

Infatti, sono pochissime le opzioni in cui le divergenze matematiche spariscono, più o meno miracolosamente. Tutte le alternative vanno scartate. L'eliminazione delle

divergenze restringe il campo a pochissime teorie. Nel caso della gravità quantistica addirittura una sola! Ed è per questo che il fakeon emerge come l'unica soluzione possibile.

Abbiamo imparato un'altra lezione di vita: a permetterci di superare le difficoltà sono le difficoltà stesse. Dobbiamo solo capire come sfruttarle.

Il mondo che ci circonda, che possiamo chiamare classico, in cui i fenomeni quantistici sono soppressi, è un'approssimazione grossolana della realtà. Ci dà l'illusione del determinismo, quando la realtà, intimamente, è tutt'altro che deterministica. Il nostro lavoro di comprensione della natura consiste nel

cercare agganci per descrivere la realtà microscopica a partire dalla sua rozza approssimazione macroscopica, la sua brutta copia. Il processo mentale della quantizzazione parte dalla descrizione erronea per risalire in alto, nella speranza di trovare la descrizione corretta. È chiaramente un andare controcorrente che comporta molti rischi di prendere degli abbagli.

In sostanza, la discesa verso l'infinitamente piccolo ci chiede di cogliere la verità come reinterpretazione di un errore, rivelare l'essenza della natura a partire da una sua grossolana approssimazione, che è ciò che ci circonda. Non solo, ma dobbiamo sperare che ci sia

effettivamente una qualche corrispondenza tra le due realtà, che non è per nulla scontato. Chiaramente, i candidati alla descrizione corretta della realtà possono essere infiniti, e tutti condurre alla stessa descrizione approssimata a grandi distanze. È questa infinita arbitrarietà il maggiore ostacolo a fare passi avanti, nell'esplorazione del buio microscopico. Ecco perché le difficoltà matematiche di cui abbiamo parlato sono una vera e propria benedizione. Sono la nostra unica luce nel buio.

Dobbiamo spiegare una natura creativa a partire dal limite nel quale la natura non è creativa per niente. È come

cercare di capire la vita a partire dalla morte, dedurre la verità da una sua versione erronea, approssimata e grossolana della stessa, in cui la maggior parte dei concetti chiave vengono persi o stravolti, rimpiazzati da concetti fallaci, come il determinismo. Questo fa sì che il processo di comprensione della natura sia pieno di ostacoli di tipo mai visto. Da una parte ci sono le ovvie difficoltà sperimentali, che consistono nel dover costruire apparati costosissimi e coinvolgere tantissime persone per cercare, come nel caso del bosone di Higgs, la conferma ad una singola predizione fatta cinquant'anni prima. Oltre a questo, ci sono difficoltà molto più profonde,

intrinseche allo stesso processo della conoscenza. Ci stiamo confrontando con delle problematiche concettuali enormi, che fanno barcollare il nostro stesso linguaggio e il nostro stesso pensiero.

È una circostanza molto fortunata che, a distanze più piccole di quelle atomiche, una specie di principio di corrispondenza (quello fatto di unitarietà, località e rinormalizzabilità) continui ad avere senso e abbia successo, grazie ai problemi delle divergenze matematiche. E questo chiarisce anche perché abbandonare la strada maestra per abbracciare proposte gratuite, come le stringhe, i loop o gli ologrammi, non aveva alcuna

speranza di portare a risultati: in quegli ambiti l'arbitrarietà è sconfinata e le possibilità rimangono infinite.

10

I nostri limiti

Dobbiamo fare i conti con i nostri limiti. Abbiamo delle dimensioni. Siamo degli agglomerati di atomi che cercano di capire il mondo a distanze molto più piccole del più piccolo ingrediente di cui sono fatti. Se vogliamo capire, dobbiamo percorrere tutte le strade a noi accessibili, alla ricerca di una corrispondenza che legghi ciò che non conosciamo ancora a ciò che conosciamo già. Probabilmente, la corrispondenza sarà sempre più debole man mano che scendiamo a

scale di grandezza più piccole. Fortunatamente, siamo riusciti a capire qualcosa di quello che succede alle distanze atomiche, e poi alle distanze tipiche della gravità quantistica. Andiamo avanti, finché possiamo, consapevoli che forse a un certo punto la natura ci dirà: “caro essere umano, mi dispiace, ma il tuo viaggio è arrivato a destinazione. Oltre questo limite non puoi andare”.

A dire il vero, la natura ci sta già dicendo qualcosa di questo tipo da qualche decennio. Abbiamo parlato finora dei grandi successi della fisica, come il modello standard, o la stessa gravità quantistica, ma non abbiamo parlato degli insuccessi, cioè di tutte le

situazioni in cui ci siamo dovuti fermare di fronte a difficoltà insormontabili. In tanti casi ci siamo trovati a dover affrontare problemi così difficili da doverci arrendere. Per sempre?

Come ci si può aspettare, la teoria dei campi quantistici richiede della matematica molto sofisticata. Occorre sapere che la matematica necessaria per studiare il settore più grande della teoria dei campi quantistici (che è il cosiddetto settore “non perturbativo”, dove non possiamo usare gli strumenti principali dell’approssimazione successiva) è così avanzata che non siamo ancora riusciti a svilupparla. Quel settore è stato esplorato molto

poco, in quasi un secolo, perché fuori della nostra portata.

Possiamo sempre sperare che, se aspettiamo abbastanza tempo, riusciremo a capire di più e avanzeremo quanto ci pare. Possiamo sperare che un problema oggi difficile diventi meno difficile in futuro, e poi diventi risolvibile. Possiamo credere che il progresso della conoscenza umana non conosca limiti. Ma la realtà potrebbe essere molto diversa da questo.

Chiaramente, in tutte le scienze ci scontriamo quotidianamente di fronte a problemi difficili. Quello che fanno gli scienziati, normalmente, è andare alla ricerca dei problemi più facili,

concentrarsi su quelli e, per quanto riguarda i problemi difficili, sperare nel futuro. Purtroppo, oggi i problemi rimasti aperti nella fisica delle alte energie sono quelli più difficili, ragioni per cui in tanti settori il progresso langue.

Se a noi interessa capire chi siamo, che ruolo abbiamo nell'universo, se vogliamo stimare le nostre capacità, non basta che ci raccontiamo i nostri successi. Dobbiamo necessariamente dare conto anche dei fallimenti, discutere i nostri limiti, riflettere su ciò che non siamo mai riusciti a realizzare. Dobbiamo capire dove ci siamo dovuti arrendere, e chiederci se l'alt possa essere definitivo.

Per esempio, nella teoria dei campi quantistici il progresso matematico è praticamente fermo da circa un secolo. Vuol dire che dobbiamo usare gli stessi strumenti matematici che erano a nostra disposizione un secolo fa. E se gli strumenti non evolvono, i risultati che raggiungiamo possono essere pesantemente ridotti di conseguenza.

Per spiegare meglio questo punto, richiamiamo vagamente delle nozioni di matematica di cui forse molti lettori hanno sentito parlare, anche coloro che hanno intrapreso una strada tecnica o umanistica, perché fanno parte dei programmi di molte scuole superiori, come il calcolo infinitesimale: limiti, derivate, integrali. In particolare,

l'integrale è una maniera per definire, sotto certe ipotesi, la somma di infiniti contributi infinitesimi, ottenendo tipicamente un risultato finito. Detto in parole più semplici, in molti casi può essere necessario ricavare una quantità fisica come somma di tantissimi contributi piccolissimi. Sotto opportune ipotesi, questa somma può dare un risultato finito (col che si intende qualunque valore che non sia né infinito, né infinitesimo). Gli strumenti del calcolo infinitesimale sono molto utili. Ci hanno permesso di fare grandi progressi e semplificare una mole impressionante di ragionamenti.

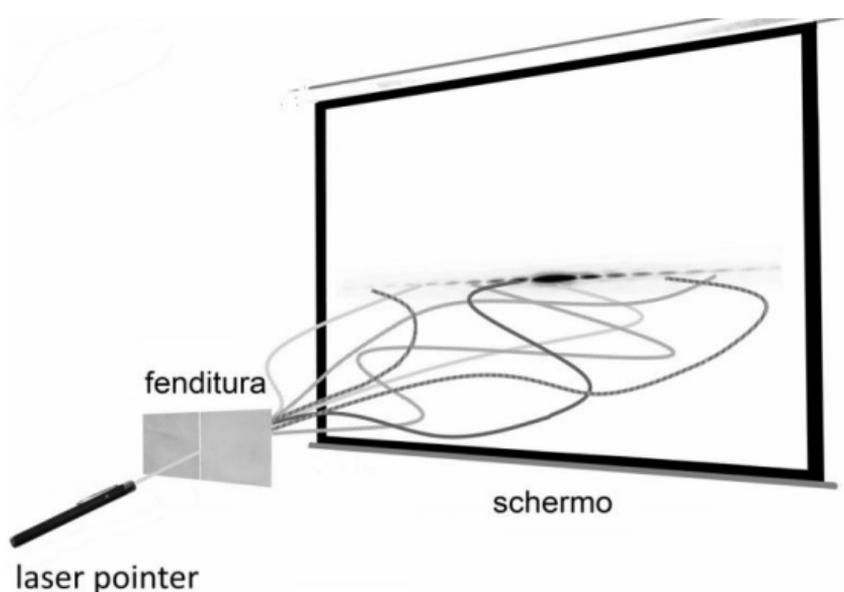
La teoria dei campi quantistici trarrebbe beneficio da un altro balzo in

avanti, che si potrebbe ottenere formulando un integrale più sofisticato, chiamato integrale funzionale. È circa un secolo che i matematici provano a formulare questa nozione, ma i risultati ottenuti finora sono parziali ed insufficienti. Per ora, siamo riusciti a trovare alcuni modi per aggirare parzialmente l'ostacolo, ma questi escamotage avrebbero potuto non esistere. E analoghi escamotage potranno non esistere in futuro. Una qualche corrispondenza tra le nostre scale di grandezza e quelle atomiche è sopravvissuta, e pure una corrispondenza tra le nostre scale e quelle del modello standard e della gravità quantistica. Ma non era per

niente ovvio che succedesse. Avremmo potuto essere costretti a fermarci prima. Ebbene, la realtà che cominciamo a toccare con mano è che potremmo essere costretti a fermarci adesso. Forse dobbiamo cominciare a chiederci se non siamo magari arrivati al limite delle nostre capacità.

Parliamo brevemente di questo integrale funzionale. Sappiamo che il fotone, o l'atomo, quando viene lanciato attraverso la fenditura, sceglie lui dove andare. Nel percorso intermedio tra la fenditura e lo schermo non è possibile parlare di traiettoria, né di esistenza dell'atomo. Dobbiamo riempire quella zona ignota con qualche artificio matematico che ci permetta di collegare

il lancio con i risultati finali, cioè il lancio con un certo insieme di opzioni e probabilità. E l'artificio matematico deve essere abbastanza sofisticato, perché qualunque riempimento semplicistico (come le variabili nascoste, o l'ipotesi che l'atomo "esista" anche nell'intervallo in cui "viaggia" e non è osservato) porta subito a contraddizioni con gli esperimenti stessi.



**Fig. 22 | L'integrale funzionale immagina
che il fotone
percorra tutte le traiettorie possibili**

Una via di uscita è immaginare che l'atomo percorra tutte le traiettorie possibili allo stesso tempo (vedi figura 22), con una distribuzione universale di "probabilità". Se non può seguire una

traiettoria, perché non pensare che le segua tutte allo stesso tempo? L'idea può funzionare solo se si riesce a fare una somma sui contributi delle traiettorie. Le traiettorie sono descritte da funzioni e dunque quella ipotetica somma si chiama integrale funzionale.

I matematici sono effettivamente riusciti a realizzare un programma del genere in un insieme di casi molto particolari, dove dà i risultati corretti. Ma non sono mai riusciti ad andare oltre. Non riusciamo neanche lontanamente a fare qualcosa di simile, per esempio, nel caso del modello standard.

Una scorciatoia usata per aggirare

il problema è stata quella di procedere per approssimazioni successive. Questa procedura, chiamata “espansione perturbativa”, consiste nel considerare un’interazione alla volta. Ha permesso di ricavare risultati importanti, ma ci ha anche costretto a restare confinati allo studio dei processi fisici elementari, che sono poi quelli che abbiamo chiamato “locali” qualche tempo fa, come quelli studiati al CERN. I fenomeni complessi, che sono quelli che coinvolgono un grande numero di quanti contemporaneamente, sono fuori della nostra portata e costituiscono il settore “non perturbativo” della teoria dei campi quantistici. Là, compaiono ostacoli insormontabili, al punto da

darci l'impressione di essere arrivati al limite della nostra capacità intellettuale.

E allora? Ciò che possiamo fare è esplorare tutte le possibilità che stanno in fronte a noi e ben sperare. Il punto è che possiamo provare solo le strade accessibili alle nostre capacità. E se la risposta fosse in una delle strade a noi inaccessibili?

Per capire meglio i nostri limiti, ci fermiamo un attimo a riflettere sulla vera natura della nostra intelligenza. Praticamente non passa giorno senza che l'essere umano inventi argomenti per ritenersi superiore al resto della natura. Tra questi argomenti, naturalmente, c'è il fatto che noi siamo

intelligenti, o coscienti. D'altra parte, chi guarda al mondo con gli occhi della scienza, in modo non partigiano e non umanocentrico, non può far altro che concludere che non c'è traccia di intelligenza nelle leggi fisiche fondamentali della natura. Cioè, l'intelligenza è uno dei tanti fenomeni emergenti. Con un ruolo importante, certo. Per esempio, abbiamo scoperto che l'intelligenza è lo strumento escogitato dalla natura per realizzare il suo proprio disegno, cioè permettere all'indeterminazione quantistica di fare balzi altamente sfavoriti nel processo di amplificazione verso scale di grandezza sempre più grandi. In particolare, dà la possibilità di fare

l'undicesimo salto, che è la creazione della vita artificiale. Possiamo pensare che l'intelligenza sia un dono molto speciale fattoci dalla natura in onore della nostra superiorità nell'universo. Tuttavia, non è così, al punto che molto probabilmente la natura ha fatto lo stesso "regalo" a miliardi di miliardi di altri esseri viventi nel cosmo.

Cosa vuol dire "capire"? Esiste veramente la possibilità di "comprendere" ciò che ci circonda? O è soltanto un'illusione? Quando, per esempio, ci imbattiamo in una parola che non conosciamo, possiamo cercare il suo significato sul dizionario. La definizione che troviamo ci permette di ricondurre la parola nuova al

significato di parole già conosciute. Pertanto “capire” vuol dire ricondurre qualcosa di non noto a qualcosa di noto, cioè stabilire una corrispondenza tra i due. In questo consiste, sostanzialmente, il processo di apprendimento.

C'è stato un momento antecedente in cui anche le parole ora note ci erano ignote. Non sapevamo cosa significavano e quindi abbiamo proceduto allo stesso modo, consultando un dizionario o chiedendo spiegazioni ad altre persone. Così facendo, ci siamo ricondotti al significato di parole di un insieme ancora più ristretto, quelle che ci erano note ancora prima. Se spingiamo l'argomento all'estremo,

procedendo a ritroso, arriviamo al momento in cui avevamo un mese d'età, o una settimana, o un giorno. In quel momento, non conoscevamo il significato di nessuna parola. Semplicemente, percepiamo dei suoni emessi dalle persone intorno a noi. Piano piano ci siamo accorti che noi stessi potevamo emettere dei suoni, e che potevamo emetterli in maniera controllata, o controllabile. Abbiamo cominciato a riprodurre alcuni dei suoni che percepiamo. Abbiamo imparato che potevamo associare all'emissione di quei suoni, che cominciavamo a chiamare parole, delle conseguenze, positive o negative. Abbiamo cominciato a usare quelle

parole a nostro vantaggio. Successivamente, abbiamo imparato a padroneggiare questo tipo di azioni, componendo un numero limitato di frasi. A partire da quelle abbiamo appreso nuove parole e cominciato a comporre frasi più complicate. E poi altre e altre ancora.

Queste osservazioni ci rivelano che “capire” la realtà, in fin dei conti, non è altro che un “abituarsi” alla realtà. Abbiamo accumulato una serie di conoscenze, realizzato che l’uso di certe parole, l’emissione di certe sequenze di suoni, provocava delle reazioni intorno a noi, abbiamo classificato quelle reazioni come positive o negative, e abbiamo cominciato ad usare quel tipo

di conoscenze a nostro vantaggio.

È evidente che tutto ciò sminuisce parecchio il valore di ciò che noi chiamiamo intelligenza, alla quale, senza accorgercene, tendiamo a attribuire un significato ben superiore al suo proprio, un significato che presumiamo esista, senza mai chiederci quale sia veramente, perché nel momento stesso in cui ci facessimo quella domanda arriveremmo necessariamente alla conclusione che abbiamo appena raggiunto.

È troppo forte in noi la tendenza ad imboccare scorciatoie mentali, caricando le parole di significati che non hanno, spesso poco chiari o ambigui. Ma nel momento stesso in cui ci rendiamo conto che l'intelligenza

non è altro che una delle tante maniere di “abituarsi” ad azioni, conseguenze e reazioni, e capire cose nuove è soltanto un abituarsi a quelle, ne concludiamo che quando capiamo, quando esploriamo l’universo, non facciamo altro che giocare il gioco del caso. Proviamo tutte le strade a noi accessibili, confidando nella sorte. Se siamo fortunati, individuiamo la strada di cui abbiamo bisogno. Altrimenti, continuiamo a cercare. Si tratta, sostanzialmente, dello stesso metodo che applicano, in modo diverso, gli insetti o i batteri, quando generano milioni di individui, il 99,9% dei quali destinato a soccombere rapidamente. Eppure, con quel metodo riescono a

scoprire, attraverso l'adattamento, come è fatto l'ambiente esterno.

In fondo, nella natura non esiste altro metodo che il metodo dei getti di dadi, animato dall'indeterminazione quantistica. È l'unico motore immobile. Cambia il corso degli eventi, causando senza essere causato, determinando senza essere determinato. Non soltanto ciò è sufficiente a spiegare tutto ciò che esiste, vita inclusa, ma è anche tutto ciò che esiste, tutto ciò che anima.

E non ho nessuna difficoltà ad ammettere che la mia scoperta della gravità quantistica è frutto di questo stesso metodo: provare tutte le strade a me accessibili. Anche se,

sfortunatamente, quella giusta l'avevo lasciata per ultima. È il metodo più stupido che esista, si potrebbe dire. Altro che "capire"! Altro che "intelligenza"! Ma è anche l'unico metodo che esiste veramente in natura e siamo soltanto noi ad illuderci che ne esistano altri, magari più potenti.

Quando ci poniamo di fronte al problema di esplorare l'ignoto e adottiamo un metodo come questo, cioè esplorare tutte le strade possibili, ammettiamo implicitamente che non esiste veramente la possibilità di "capire il mondo". Caricare la parola intelligenza o la parola coscienza di significati oscuri che alla fine non hanno, è spesso fonte di errore, perché è

proprio ciò che in molti casi ci impedisce di vedere ciò che sta di fronte ai nostri occhi. Come nel caso del fakeon. Perché è rimasto lì, inosservato, non visto da nessuno per cento anni? Proprio perché tutti quanti pensavano di avere “capito”, attribuendo a questa parola un significato che non aveva, che li conduceva a scartare a priori, con una certa superficialità, una serie di strade da percorrere.

Per la verità, esplorare davvero tutte le possibilità è impossibile, se preso alla lettera, perché non abbiamo a disposizione un tempo infinito. Occorre risparmiare. E qui si nasconde l'insidia. Io sono stato fortunato, per

esempio. Ciò che ho fatto, per risparmiare, è stato focalizzarmi su “tutte le strade possibili all’interno della teoria dei campi quantistici”. Così, sono partito dal modello standard e ho cercato di fare quel famoso passo in più che restava da fare. Ho scartato tutte le strade alternative, quelle che non partivano dal modello standard, ma invocavano ipotesi gratuite e fantasiose sulla natura dell’infinitamente piccolo, come la teoria delle stringhe, la loop quantum gravity e l’olografia. Questo è ciò che mi ha salvato. Operare questa selezione non era poi così difficile, si potrebbe pensare col senno di poi. Ma se si tiene conto di quante persone

potevano fare ciò che ho fatto io e non l'hanno fatto, di quanti studiosi si sono fatti ingannare da una serie di ostacoli mentali e tabù, e del fatto che io stesso mi sono fatto ingannare per tanti anni, forse si riesce a rendersi conto che spesso la nostra psiche “rema contro” senza che noi ce ne accorgiamo.

Forse qualcuno di voi ha sentito parlare del “teorema della scimmia infinita”. Il calcolo delle probabilità ci dice che, se mettiamo una scimmia di fronte ad una tastiera, e lasciamo che batta i tasti liberamente, prima o poi comporrà la Divina Commedia, o una qualunque tragedia di Shakespeare, a patto che aspettiamo abbastanza tempo. Tuttavia, quell’“abbastanza tempo”

non è a nostra disposizione, perché è molto più lungo della vita dell'universo. Il "metodo della scimmia" non è efficace, perché, anche se consiste nel "percorrere tutte le strade possibili", è completamente cieco, nel senso che ogni tentativo successivo è indipendente dai precedenti, cioè il fallimento di un tentativo passato non viene sfruttato nei tentativi futuri. Un tale metodo può procedere all'infinito senza mai generare progresso. Ed è un metodo impotente, perché anche se emergesse la soluzione giusta ad un problema, nessuno sarebbe in grado di accorgersi che quella è effettivamente la soluzione giusta tra le tante

sbagliate, perché non ha il supporto di prove sperimentali e non è l'ultimo miglio di un percorso già impostosi con successo.

Fare proposte gratuite dal nulla, come è stato fatto da quarant'anni a questa parte nella fisica teorica delle alte energie, come colla teoria delle stringhe, la loop quantum gravity e l'olografia, è una buona illustrazione del teorema della scimmia infinita. Se non succede nulla che dia una scossa alla comunità scientifica, i fisici possono continuare così per l'eternità senza mai cavare un ragno dal buco. Non possiamo alzarci la mattina, proporre la prima cosa che ci viene in mente e sperare che sia giusta, perché la nostra intuizione è

modellata da un ambiente che è così profondamente diverso da quello che vorremmo esplorare che abbiamo problemi a usare le parole fondamentali del nostro linguaggio.

Esplorare costruzioni mentali è certamente un buon esercizio per allenare la mente, per essere pronti al momento buono, quando finalmente potremo compararle con i dati sperimentali. Tuttavia, non è un metodo scientifico, perché non è predittivo. Possiamo dire che Democrito abbia scoperto l'atomo, dato che ne concepì l'idea? Ovviamente no. Senza nulla togliere all'importanza della filosofia greca, perché da lì è nata gran parte della nostra cultura, c'è un motivo per

cui la chiamiamo filosofia, appunto, e non scienza. Sfortunatamente, l'umanità sembra avere una forte tendenza ad abbandonare la via del rigore e del metodo scientifico ogni qual volta gli esperimenti diventano sporadici o troppo difficili da realizzare. A quel punto, gli uomini cominciano a dare credito a proposte calate dal cielo, come dimostra la fisica teorica contemporanea. Quando capita qualcosa del genere, il rischio è di rimanerci impigliati per decenni, forse secoli o millenni, senza mai sollevare dubbi.

A questo punto cominciamo forse a capire che il nostro viaggio verso l'infinitamente piccolo sta mettendo a

dura prova le nostre qualità e capacità mentali. Probabilmente, ci porta a scontrarci coi limiti intrinseci che ostacolano la nostra comprensione, limiti che forse soltanto esseri viventi artificiali potranno valicare. Tutto ciò dovrebbe suggerirci una certa prudenza, quando fabbrichiamo scuse per metterci al centro dell'universo o crederci il punto di arrivo dell'evoluzione. Ma qualora non bastasse, c'è dell'altro.

11

Lo spettro dell'involuzione

La ricerca di una qualche corrispondenza tra il mondo che ci circonda e il mondo microscopico è effettivamente tutto quello che possiamo fare per “capire” il regno dell'infinitamente piccolo. Ogni corrispondenza che troviamo ci permette di fare un piccolo passo avanti verso quell'“abituarci” ai fenomeni che hanno luogo alle piccole distanze, che è appunto l'unico e vero significato della parola “capire”. Quando scendiamo

laggiù, lottiamo affannosamente per abituarci a qualcosa che non ci è per niente familiare e abituale. Abbiamo bisogno di un numero consistente di riscontri, dati ed esperienze, per raggiungere questo obiettivo. La quantità di informazioni che riusciamo a raccogliere deve essere sufficientemente abbondante rispetto alle necessità del nostro cervello, per permettergli di processare i dati e cominciare ad abituarsi ad essi.

La difficoltà che ci troviamo a dover affrontare oggi nella fisica delle alte energie è proprio che abituarci al mondo dell'infinitamente piccolo non è forse più possibile, perché fare esperimenti è sempre più costoso.

Richiede sforzi sempre maggiori e un tempo sempre più lungo. Ricordiamo che ci sono voluti quasi cinquant'anni per la conferma del bosone di Higgs. Se viene meno la possibilità di "abituarci" a ciò che ora è ignoto, viene meno anche la possibilità di comprendere. Quello della gravità quantistica è stato un caso fortunato, se vogliamo, dovuto al fatto che era l'ultimo miglio di un percorso di successo già affermatosi. Anche se gli esperimenti sulla gravità quantistica non sono al momento realizzabili, una quantità sufficiente di dati era già disponibile, indirettamente, fornita dal modello standard. La mia scommessa è stata appunto questa: che la gravità

quantistica fosse “l’ultimo miglio del modello standard”. Fortunatamente, la teoria dei campi quantistici forniva abbastanza vincoli da permettermi di abituarci ad essa abbastanza bene. Ciò mi ha permesso di comprendere quale fosse il passo successivo, cioè il fakeon, per saltare tutto d’un colpo dal modello standard alla gravità quantistica.

Le altre proposte presenti sul mercato, come la teoria delle stringhe, la loop quantum gravity e l’olografia, abbandonavano la strada maestra e deviavano di lato, invece che continuare a scendere in profondità. La loro debolezza era che non avevano né agganci con la natura, né agganci col modello standard. I loro fautori

contavano sulla possibilità di sfruttare una versione pseudoscientifica di questo “abituarci” alla realtà delle cose, fatta soprattutto di propaganda. Pensavano che bastasse esercitare un controllo molto stretto sulla distribuzione dei finanziamenti e le nuove assunzioni nelle università e nei centri di ricerca. A forza di abituare la gente a sentire sempre la stessa versione, contavano di fare terra bruciata della conoscenza precedente, cioè disabituare alla conoscenza accumulata fino ad allora, il modello standard e la teoria dei campi quantistici, per “riprogrammare” la ricerca a poco a poco, abituando le persone ad una forma artificiosa di

pseudo conoscenza.

Questo ha generato una serie di problemi gravi, che hanno avuto conseguenze con le quali ancora oggi la comunità scientifica deve fare i conti. In quasi cinquant'anni, ormai, non è stato fatto alcun progresso apprezzabile. Il vuoto è stato riempito da propaganda e pseudo scienza. Di fatto, sono state saltate due o tre generazioni. La conoscenza accumulata precedentemente ha corso il rischio di essere persa per sempre, per inseguire le stravaganze di chi pensava di poter resettarla e farla ripartire su binari completamente sbagliati.

Torniamo alla scoperta del bosone di Higgs, fatta al CERN nel 2012. Come

molti lettori ricorderanno, la notizia raggiunse il grande pubblico, ripresa dai mezzi di comunicazione di tutto il mondo. Ebbene, ciò che il lettore forse non sa, perché nessuno gliel'ha mai detto, è che l'esperimento realizzato per trovare il bosone di Higgs, che va sotto il nome di LHC (Large Hadron Collider), non era stato pensato principalmente per quello scopo, ma per rivelare la *super simmetria*. La scoperta del bosone di Higgs era il traguardo minimo da raggiungere per non essere costretti a considerare l'esperimento un fallimento completo.

Cos'è la supersimmetria, di cui, giustamente, nessuno parla più da allora? È l'ipotesi che esista una dualità

tra i bosoni e i fermioni, cioè che i bosoni e i fermioni siano due facce della stessa medaglia. Un'idea gratuita come tante, visto che il contenuto del modello standard, descritto nei capitoli precedenti, non mostra alcuna simmetria di questo tipo. Eppure, la ricerca della supersimmetria ha impegnato un numero spropositato di fisici di tutto il mondo per decenni, con grande dispendio di finanziamenti e risorse e, per contro, sottrazione di finanziamenti, posizioni e risorse a tutti gli altri settori della ricerca nella fisica delle alte energie. Manco a dirlo, LHC non ha mai trovato nessuna traccia della supersimmetria.

Ma tutto ciò non ha fatto notizia. Non è stato detto al grande pubblico. E

come mai non è stato spiegato che il bosone di Higgs era stato predetto quasi cinquant'anni prima? Perché è stato nascosto anche questo? Forse i lettori, o spettatori, si sarebbero chiesti: come è stato impiegato il tempo nei decenni intermedi? La risposta è la seguente: a studiare una serie di costosissimi fallimenti annunciati. Non solo la teoria delle stringhe, la loop quantum gravity e l'olografia, ma anche la supersimmetria e la cosiddetta grandunificazione, cioè l'idea che le quattro interazioni della natura debbano essere in qualche modo unificate, collegate l'una all'altra da una qualche relazione di simmetria. Manco a dirlo, nessun segnale di

grandunificazione è mai stato rivelato.

L'inseguimento della simmetria che non c'è ha abbagliato gli scienziati per decenni. Molti umani vorrebbero che la natura fosse più simmetrica di quanto in realtà non sia (chissà perché), ma la natura non ha mai mostrato alcuna sensibilità per le preferenze umane.

E non è tutto. La mia esperienza mi ha portato a concludere che, al di là della scoperta della gravità quantistica, non è così certo che il futuro dell'umanità sia un futuro scientifico. Anzi, se vogliamo dirla tutta, ci sono segni sempre più evidenti che, non da oggi, ma da circa quarant'anni, siamo letteralmente tornati indietro, fino ad un

punto morto, piombando in una sorta di nuovo medio evo. Spesso, la fisica delle alte energie offre uno spaccato, in anticipo, su quello che sta per succedere alla società nel suo insieme. E se nella fisica delle alte energie il progresso si è fermato da quarant'anni (su circa quattrocento di storia della scienza moderna), vuol dire che, almeno in quell'ambito, la parentesi scientifica è ormai chiusa. Vuol dire che l'epoca scientifica è stata, per l'ap-punto, una paren-tesi e nulla più. Da quarant'anni siamo entrati in un'epoca nuova, un'epoca pseuldo scien-tifica.

Immaginate un aereo che solca il cielo lasciando dietro di sé una scia. Immaginate che ad un certo punto

qualcosa o qualcuno abbatta quell'aereo. Per un po' rimane la scia, ma dopo un po' svanisce anche quella. Ecco, l'aereo è la fisica più avanzata e ha fatto da traino al progresso di gran parte del sapere umano, che è la scia. Ora quell'aereo non c'è più. Forse è caduto da solo, sotto il peso delle difficoltà che lo trascinarono in basso. Forse è stato abbattuto dalle scelte sbagliate fatte nei decenni passati. Ma è rimasta la scia, e rimarrà là almeno per un po'. Si tratta dell'indotto, fatto di applicazioni, in vari settori, che ci consentono di credere ancora che il progresso non si sia fermato affatto. Tuttavia, non ci troviamo più nell'epoca in cui quell'aereo sfrecciava nel cielo.

Il ventunesimo secolo non è come il ventesimo. Tante presunte scoperte scientifiche diventano ormai buone soltanto per fare degli scoop giornalistici, anche quando non hanno rilevanza o contenuto, oppure sono soltanto ipotetiche speculazioni.

E per quanto abbiamo chiarito cosa sia la gravità quantistica, non basta questo per far ripartire quell'aereo. Le difficoltà pratiche a realizzare esperimenti nella fisica delle alte energie sono ormai tali che, se abbiamo impiegato cinquant'anni per la conferma sperimentale della predizione del bosone di Higgs, forse ne impiegheremo quattrocento per la conferma della gravità quantistica. E

forse poi ne impiegheremo quattromila per la scoperta successiva. Non c'è nessuna garanzia che la distribuzione delle scoperte sia regolare nel tempo. Nulla ci può assicurare che ci sia una legge di proporzionalità tra il numero di scoperte fatte, pesate con la loro rilevanza, e il numero di persone impegnate a fare ricerca, o il tempo, lo sforzo e i finanziamenti devoluti a quella ricerca. Nulla ci può confortare che più ci impegneremo e più scopriremo. La relazione che lega il numero di scoperte alle variabili in gioco potrebbe essere altamente penalizzante, per noi. Visti i numeri con cui abbiamo a che fare quando ci caliamo nell'infinitamente piccolo,

visto che il salto dalla meccanica quantistica alla gravità quantistica è misurato da un fattore pari a un miliardo di miliardi, non ci possiamo adagiare sugli allori. Non possiamo dare per scontato che il futuro continui ad essere interessante. Potrebbe profilarsi di fronte a noi uno dei futuri più noiosi di sempre, che potrebbe durare per tempi lunghissimi, forse l'eternità. Queste durate temporali potrebbero essere per noi insopportabili, mortali. Se non riusciamo ad uscire dal nostro pianeta per colonizzare l'universo, non è detto che ci rimarrà tanto tempo a disposizione. E anche se la specie umana fosse disposta ad accontentarsi di un futuro noioso, non

è nemmeno detto che questo futuro sia lungo. I segni di tendenze involutive sono sempre più numerosi.

Ormai abbiamo occupato tutto il pianeta, mentre la colonizzazione dello spazio non registra grandi progressi. Rischiamo di rimanere isolati qui per molto tempo. È possibile che la specie umana, dopo aver sviluppato una civiltà fiorente, sperimenti un periodo di involuzione. In fisica è già cominciato, come abbiamo detto. Il problema è che di solito l'involuzione è molto più veloce dell'evoluzione, coglie di sorpresa, non lascia scampo. Una volta imboccata quella strada non c'è garanzia di tornare indietro.

Peggio ancora: non abbiamo

nemmeno la garanzia che riusciremo ad accorgerci di attraversare il periodo involutivo. In quel caso non potremo fare molto per fermarlo o invertire la rotta. Un po' come quella famosa rana immersa nell'acqua, riscaldata pian piano, che si accorge del pericolo soltanto quando è troppo tardi, quando il punto di non ritorno è superato e non resta più nulla da fare.

Non possiamo escludere che nel nostro futuro ci sia una regressione della civiltà ad uno stato primitivo senza che ce ne accorgiamo. A torto, crediamo che ai nostri tempi perdere la conoscenza accumulata in secoli e secoli di progresso non sia più possibile, considerati i mezzi

tecnologici a nostra disposizione, con i quali possiamo conservare, copiare, e diffondere documenti senza limiti. Ma l'insidia si cela dove meno ce l'aspettiamo. Infatti, la perdita di conoscenza può avanzare in molte altre forme, tra cui quella più aggressiva, soprattutto oggi, che è la sovrapproduzione di pseudo-**co**no**l**scenza.

Sarà sempre più difficile discernere la conoscenza vera dalla produzione inutile. Per esempio, oggi nella fisica delle alte energie vengono prodotti molti più articoli scientifici che in passato, ma il progresso è modestissimo, se non assente. I pochi articoli scritti decenni orsono

permettevano di fare molto più progresso dei tantissimi articoli pubblicati oggi. Oggi i numerosissimi articoli irrilevanti formano un oceano che inabissa i pochi articoli rilevanti, ammesso che ci siano davvero. Se appaiono delle scoperte, si fa molta fatica ad accorgersene. E la situazione si sta aggravando rapidamente.

Si tratta di una regressione involutiva. La conoscenza viene sepolta da un mare di discussioni irrilevanti, proprio come nel medio evo. E non ce ne stiamo nemmeno accorgendo, per cui non possiamo farci nulla. Anzi, passiamo il tempo a inventare criteri oggettivi per valutare la produzione e la

ricerca, come il conteggio del numero di citazioni raccolte da un articolo scientifico. Ebbene, stando a quei criteri si può ben dire che stiamo attraversando uno dei periodi culturalmente più fiorenti e produttivi della storia dell'umanità! Ma la realtà è l'esatto opposto: quei criteri sono fallaci.

Per esempio, dopo due-tre generazioni di dominio della teoria delle stringhe, le nuove leve di fisici teorici hanno ormai una conoscenza molto superficiale della teoria dei campi quantistici. Non sono nemmeno in grado di apprezzare un'eventuale scoperta fatta in quel settore della ricerca. Questo la dice lunga sulle possibilità di perdere

progressivamente conoscenza senza neanche accorgersene, nonostante quella conoscenza non venga affatto distrutta, ma rimanga sempre presente, davanti ai nostri occhi e a nostra disposizione. Eppure inaccessibile, perché non riusciamo più a vederla.

Molti testi antichi rimasero sepolti nelle stanze più recondite dei monasteri per tutto il medio evo. Similmente, la conoscenza scientifica finirà inevitabilmente per essere dimenticata. Forse rimarrà sepolta per millenni in qualche pennetta USB, in qualche memoria di computer, in qualche angolo recondito del web, o, ancora peggio, del deep web, nella scarsa speranza di un futuro risveglio

della civiltà. La sovrapproduzione di pseudo conoscenza sarà tale da rendere praticamente impossibile il discernimento della conoscenza vera per chissà quanto tempo.

Ogni forma di vita, ogni specie, ogni individuo, ogni scelta, è un tentativo, un getto di dadi. Come tale, la sua presenza nell'universo ha un inizio, un decorso e una fine. A un certo punto si esaurisce. La vita, in quanto impresa titanica di amplificazione dell'indeterminazione quantistica dalle scale microscopiche a quelle macroscopiche, è debole e instabile, perennemente soggetta alla trasformazione repentina dalla fase di espansione alla fase di regressione e

forse disfacimento. Questo vale per l'individuo, ma vale anche per la civiltà, per la specie, per la vita su un pianeta. Ed è anche per questo che prima di andarcene dovremmo cercare di portare a termine la nostra missione, che è quella di costruire forme di vita nuove, il più possibile diverse dalla nostra.

RINGRAZIAMENTI

Sono grato a Purna Zanoni
per avermi stimolato a scrivere

questo libro e a Daniele Avesani, Luca Cavallini, Nadia Segala e Purna Zandoni per averlo letto e avermi fatto conoscere le loro osservazioni critiche.

SULL' AUTORE

Damiano Anselmi è un fisico teorico. Si occupa di teoria dei campi quantistici e gravità quantistica. Dopo aver ottenuto il PhD dall'ISAS di Trieste, ha fatto ricerca in varie parti del mondo, tra cui Harvard, l'Ecole Polytechnique, il CERN, l'Accademia delle Scienze di Pechino, il Perimeter Institute

e l'università di Pisa. E' autore di numerose pubblicazioni scientifiche sulle migliori riviste internazionali specializzate.

Per seguire la sua ricerca puoi consultare il sito web <http://renormalization.com> o il canale YouTube “Quantum Gravity”

