

# 1. EINSTEIN LE DEFINIVA “SINISTRE”, E AVREI VOLUTO SCOPRIRLO PRIMA

*«Ho riflettuto cento volte di più sul problema quantistico  
che sulla teoria della relatività generale».*

— ALBERT EINSTEIN

*«Non posso credere seriamente nella [fisica quantistica] perché...  
la fisica dovrebbe rappresentare la realtà nel tempo e nello spazio,  
senza alcuna azione sinistra a distanza».*

— ALBERT EINSTEIN

Un sabato, negli anni Cinquanta, ero in visita a casa di alcuni amici. L'ospite chiese a me (Bruce) e a suo genero, Bill Bennett, se avessimo voglia di trascorrere la serata con un suo amico, Albert Einstein. Entro poche ore, due sbigottiti studenti laureati in fisica si trovarono nel soggiorno di Einstein ad aspettare che il celebre scienziato scendesse le scale con indosso pantofole e felpa. Rammento di aver accettato un tè e dei biscotti, ma non ricordo assolutamente come iniziò la conversazione.

Einstein ci fece subito qualche domanda sul corso di fisica quantistica che stavamo frequentando. Approvò il fatto che il nostro professore avesse scelto di adottare il libro di David Bohm come testo di riferimento, e ci chiese cosa ne pensassimo del modo in cui l'autore trattava le stranezze che la teoria quantistica implicava. Non riuscimmo a rispondere. Ci avevano detto di saltare quella sezione e concentrarci su quella intitolata “La formulazione matematica della teoria”. Einstein volle esplorare comunque il nostro punto di vista circa quello che l'accettazione della teoria significava. Ma i problemi che lo tormentavano erano per noi materia oscura. Le lezioni sulla fisica quantistica che frequentavamo si concentravano principalmente sull'*utilizzo* della teoria, non sul suo significato. Le nostre risposte all'interrogatorio probabilmente lo irritarono, e abbandonammo l'argomento per discutere d'altro.

Passarono molti anni, prima che comprendessi i dubbi di Einstein sulle misteriose implicazioni della teoria dei quanti. Non sapevo che nel 1935 aveva stupito gli sviluppatori della teoria facendo notare loro che, secondo la teoria

stessa, l'osservazione influenzava *istantaneamente* ciò che succedeva a distanza *senza coinvolgere alcuna forza fisica*. Aveva deriso tale influenza etichettandola come "azione sinistra" che non poteva davvero esistere.

Un altro aspetto che disturbava Einstein era l'idea che, sempre secondo la teoria, quando si osservava un piccolo oggetto, come per esempio un atomo, in un determinato punto nello spazio, era l'*atto di osservare* in sé la causa del suo trovarsi proprio lì. Lo stesso vale per gli oggetti più grandi? In linea di principio, sì. Per ridicolizzare la teoria quantistica, Einstein aveva una volta chiesto a un fisico suo collega, scherzando *solo in parte*, se riteneva che la luna fosse al suo posto soltanto quando la guardava. Secondo Einstein, prendere seriamente la teoria quantistica significava negare l'esistenza di un mondo fisico reale indipendente dall'osservazione. È un'accusa pesante. La teoria quantistica non è solo una delle tante teorie della fisica, è la struttura portante sulla quale si basa in definitiva *tutta* la fisica.

Il nostro libro si concentra sulle implicazioni misteriose della teoria quantistica che disturbavano Einstein, dalla definizione iniziale dei quanti che aveva dato nel 1905 fino alla sua morte, avvenuta cinquant'anni dopo. Tuttavia, per moltissimi anni dopo quella serata trascorsa a casa sua, non mi preoccupai quasi mai di quella bizzarria dei quanti che i fisici chiamano "problema della misurazione". Da studente, il problema principale che mi ponevo riguardava il "dualismo onda-particella". Si tratta del paradosso per il quale, adottando un determinato punto di vista, era possibile dimostrare che l'atomo fosse un oggetto compatto concentrato in un punto. Tuttavia, osservandolo da un'altra prospettiva, era possibile dimostrare esattamente l'*opposto*. Era possibile dimostrare che l'atomo *non* era un oggetto compatto, bensì un'onda diffusa in una regione più ampia. Quella contraddizione mi lasciava perplesso, ma ritenevo che, se avessi trascorso qualche ora a rifletterci sopra seriamente, sarei riuscito a comprenderla chiaramente (come sembravano aver fatto i miei professori). Ma, da studente, c'erano cose più urgenti cui mi dovevo dedicare. La mia tesi di dottorato includeva un sacco di fisica quantistica, ma, come molti fisici, le implicazioni più profonde della teoria, che allora non mi rendevo conto fossero ben più profonde del mero "dualismo onda-particella", non mi preoccupavano molto.

Dopo dieci anni trascorsi a lavorare nel campo della ricerca sulla fisica industriale e della gestione dello sviluppo, mi unii al corpo docente dell'Università della California, nella sede di Santa Cruz (UCSC). Dopo aver preparato un corso di fisica per studenti delle discipline umanistiche, i misteri della meccanica quantistica ricominciarono a intrigarmi. Poi, durante un congresso sui fondamenti della meccanica quantistica della durata di una settimana che si tenne in Italia, mi lasciai catturare definitivamente da ciò che quella sera di tanti anni prima a Princeton non ero stato ancora pronto ad affrontare.

Quando conobbi la fisica quantistica durante il primo anno al MIT, io (Fred) scrissi l'equazione di Schrödinger occupando un'intera pagina del mio blocchetto per gli appunti. L'idea che quella formula governasse ogni cosa nell'universo mi eccitava tantissimo. Successivamente mi arrovellai sull'asserzione quantistica secondo la quale il polo nord di un atomo può puntare in diverse direzioni allo stesso tempo. Riflettei sul problema per un bel po', poi mi arresi pensando che l'avrei compreso meglio dopo aver imparato di più.

Per la discussione della tesi di dottorato preparai un'analisi quantistica dei sistemi magnetici. *Usare* la fisica quantistica era diventato per me abbastanza facile, ma non avevo tempo per pensare a ciò che *significava*. Ero troppo occupato ad accumulare pubblicazioni e terminare il dottorato. Dopo aver lavorato per qualche azienda che si occupava d'alta tecnologia, entrai a far parte del corpo docente del dipartimento di fisica dell'UCSC.

Quando entrambi iniziammo a esplorare il confine in cui la fisica incontra la filosofia speculativa, i nostri colleghi rimasero sorpresi. Le aree in cui avevamo condotto le nostre ricerche precedenti erano abbastanza convenzionali, addirittura pratiche (potete trovare maggiori dettagli sulle nostre ricerche industriali e accademiche, oltre ai nostri contatti, sul sito web del libro: [www.quantumenigma.com](http://www.quantumenigma.com)).

## LO SCHELETRO NELL'ARMADIO DELLA FISICA

La meccanica quantistica è incredibilmente apprezzata. Nessuna previsione elaborata dalla teoria si è mai dimostrata errata. Un terzo della nostra economia dipende da prodotti che si basano su di essa. Tuttavia, la concezione del mondo che deriva dalla teoria quantistica non è solo molto più strana di quanto immaginiamo, è addirittura più strana di quanto *siamo in grado* di supporre. Scopriamo perché.

Molti di noi condividono le seguenti intuizioni basate sul buonsenso: un singolo oggetto non può trovarsi in due luoghi distanti contemporaneamente; e, chiaramente, quello che una persona decide di fare non può immediatamente influenzare ciò che succede in un luogo lontano. E non diamo forse per scontato che "là fuori" esista un mondo reale, sia che lo si osservi o meno? La meccanica quantistica mette in dubbio ognuna di queste intuizioni. J.M. Jauch afferma che «per molti fisici ponderati, [il significato profondo della meccanica quantistica; *N.d.A.*] è sempre rimasto una specie di scheletro nell'armadio».

Abbiamo iniziato il discorso parlando dei fastidiosi dubbi sulla teoria dei quanti che crucciavano Einstein. Ma cos'è la teoria quantistica? La teoria quantistica è stata sviluppata all'inizio del XX secolo per spiegare le *meccaniche*, ossia i meccanismi, che governano il comportamento degli atomi. In precedenza si era scoperto che l'energia di un oggetto poteva variare solo in modo discontinuo e per intervalli molto piccoli detti *quanti* (singolare *quanto*), ed è da ciò

che deriva il nome “meccanica *quantistica*”. La “meccanica quantistica” comprende sia le osservazioni sperimentali che la *teoria* quantistica che le spiega.

La teoria quantistica è alla base di ogni scienza naturale, dalla chimica alla cosmologia. Ci serve per capire perché il sole splende, in che modo la televisione produce immagini, perché l'erba è verde e come l'universo si è espanso a partire dal Big Bang. La tecnologia moderna si basa su strumenti progettati con la teoria quantistica.

La fisica pre-quantistica, chiamata anche “meccanica *classica*”, “fisica classica” o, meno di frequente, “fisica newtoniana”, costituisce solitamente un'eccezionale approssimazione per spiegare il comportamento dei corpi molto più grandi delle molecole, ed è in linea di massima molto più facile da applicare rispetto alla teoria dei quanti. Si tratta, tuttavia, di un'approssimazione. Non funziona assolutamente per descrivere gli atomi di cui ogni cosa si compone. Nonostante ciò, la fisica classica è fondamentale per il nostro buonsenso comune, per la nostra concezione newtoniana della realtà. Ma ora sappiamo che la concezione classica della realtà è fondamentalmente viziata.

Fin dall'antichità, i filosofi hanno elaborato speculazioni esoteriche sulla natura della realtà fisica. Prima della meccanica quantistica, chiunque aveva a disposizione l'opzione logica di rifiutare tali elucubrazioni e aderire a una visione del mondo basata su concretezza e buonsenso. Oggi, gli esperimenti quantistici negano l'esistenza di una realtà fisica basata sul senso comune. Il rifiuto non è più un'opzione logica.

Una concezione del mondo suggerita dalla meccanica quantistica può risultare rilevante anche al di fuori della scienza? Pensiamo a scoperte precedenti che hanno avuto un impatto analogo, come per esempio l'intuizione di Copernico che la Terra non fosse al centro del cosmo o la teoria di Darwin sull'evoluzione. L'importanza della meccanica quantistica è, in un certo senso, più immediata rispetto alle idee copernicane o darwiniste, che si occupano di cose molto lontane o molto antiche. La teoria dei quanti parla del qui e ora. Arriva addirittura a incontrare l'essenza dell'umanità, la nostra coscienza.

Ma allora perché la meccanica quantistica non ha avuto l'impatto intellettuale e sociale delle scoperte precedenti di eguale importanza? Forse perché queste ultime sono più facili da comprendere. Di sicuro sono *molto* più facili da accettare. È possibile riassumere grosso modo le implicazioni delle teorie di Copernico o Darwin in poche righe. A una mente moderna, appaiono quantomeno ragionevoli. Ma, se si provano a riassumere le implicazioni della teoria quantistica, quel che si ottiene suona abbastanza mistico.

Assumiamoci comunque il rischio di un breve riassunto. La teoria quantistica ci dice che l'osservazione di un oggetto può influenzare istantaneamente il comportamento di un altro oggetto molto distante, *anche se non c'è alcuna forza fisica che li collega*. Sono queste le influenze che Einstein rifiutava defi-

nendole “azioni sinistre”, ma ora è stato dimostrato che esistono. La teoria quantistica ci dice anche che un oggetto può trovarsi in due luoghi contemporaneamente. La sua esistenza nel punto particolare in cui si trova diventa reale *solo come conseguenza dell’osservazione*. La teoria quantistica nega quindi l’esistenza di una realtà fisica indipendente dalla sua osservazione (scopriremo che quello di “osservazione” è un concetto problematico e controverso).

I fenomeni quantistici possono essere dimostrati *direttamente* in tutta la loro stranezza solo nel caso degli oggetti piccoli. La fisica classica descrive il comportamento ragionevole degli oggetti grandi con un’approssimazione *estremamente* buona. Ma gli oggetti grandi sono fatti di oggetti più piccoli. Di conseguenza, la fisica classica non può funzionare come visione del mondo.

La fisica classica spiega il mondo abbastanza bene, sono soltanto i “dettagli” che sfuggono alle sue leggi. La fisica quantistica descrive i “dettagli” alla perfezione, è soltanto il mondo che non riesce a spiegare. Potete capire perché Einstein fosse così preoccupato.

Erwin Schrödinger, uno dei fondatori della moderna teoria quantistica, elaborò la celebre storia del gatto per sottolineare il fatto che la teoria dei quanti afferma qualcosa di “assurdo”. Il gatto di Schrödinger, quando non viene osservato, è simultaneamente **sia** morto **che** vivo finché l’osservazione non *fa sì* che sia morto *o* vivo. Ed ecco un particolare ancor più difficile da accettare: è lo scoprire il gatto morto a creare la storia del sopraggiungere del *rigor mortis*, mentre è lo scoprire il gatto vivo a creare la storia del sopraggiungere della fame. *È un’azione indietro nel tempo*.

L’enigma posto dalla teoria quantistica ha tormentato i fisici per ottant’anni. Forse, le competenze specifiche e il talento di noi fisici non bastano a qualificarci *esclusivamente* per comprenderlo, ed è per questo che dovremmo affrontare il problema con grande modestia, anche se ci risulta difficile.

Sorprendentemente, l’enigma quantistico può essere presentato in modo essenzialmente conclamato anche senza richiedere una conoscenza approfondita della fisica. È possibile che qualcuno che non è stato condizionato da anni di studio volto all’*utilizzo* della teoria quantistica abbia una nuova intuizione? In fondo è stato un bambino ad accorgersi che l’imperatore era nudo.

## CONTROVERSIE

Il nostro libro ha avuto origine da un corso di fisica ad ampio raggio dedicato a studenti di materie umanistiche che, nelle ultime settimane, si concentrava sui misteri della meccanica quantistica. Quando uno di noi autori (Bruce) propose il corso alla riunione del corpo docenti, la parte finale del programma spinse un collega a obiettare:

*Anche se ciò che affermate è corretto, presentare questo materiale ai non-scienziati sarebbe l'equivalente intellettuale del permettere a un bambino di giocare con una pistola carica.*

L'obiezione mossa da quel collega, un caro amico, si basava su una preoccupazione condivisibile: alcune persone, dopo aver scoperto l'esistenza di un legame tra le solide scienze fisiche e la coscienza, avrebbero potuto diventare suscettibili ad ogni sorta di insensatezza pseudoscientifica. La mia risposta fu che avremmo insegnato alla classe come “maneggiare una pistola con cura”, enfatizzando l'importanza del metodo scientifico. Il corso venne approvato. Ora Fred ne è il titolare, ed è diventato il corso più popolare di tutto il dipartimento.

Chiariamo subito senza mezzi termini che l'incontro con la coscienza cui si accenna nel titolo del libro non ha nulla a che fare con il “controllo mentale”, ossia il fatto che i pensieri, da soli, possano controllare *direttamente* il mondo fisico. Ma i risultati indiscutibili degli esperimenti quantistici che vi presentiamo sottendono un ruolo misterioso della coscienza nel mondo *fisico*? Si tratta di una questione molto dibattuta che si colloca al limite delle scienze fisiche.

Dato che si concentra proprio su tale limite in cui l'enigma quantistico si manifesta, il nostro è chiaramente un libro controverso. Tuttavia, assolutamente *nulla* di quanto affermiamo sulla meccanica quantistica in sé può essere oggetto di discussione. È il mistero che i risultati sperimentali implicano *oltre* la fisica a risultare controverso. Per molti scienziati, questa incomprensibile bizzarria è una cosa di cui è meglio non parlare. I fisici (inclusi noi) si sentono a disagio quando la loro disciplina incontra una cosa così “poco fisica” come la coscienza. Anche se i dati quantistici non sono in discussione, il significato *che si cela dietro* gli stessi, ossia ciò che la meccanica quantistica ci rivela sul mondo, è argomento ferocemente dibattuto. Affrontare l'argomento in una qualsiasi facoltà scientifica, soprattutto durante le lezioni di fisica o di fronte a un pubblico non composto da tecnici, significa sempre guadagnare la disapprovazione di alcuni docenti (ovviamente non sono soltanto i fisici a sentirsi a disagio quando il problema della coscienza emerge misteriosamente nel bel mezzo della discussione sui fenomeni fisici; è qualcosa che può mettere in discussione la concezione di realtà di ognuno di noi).

Uno dei biografi di Einstein racconta che, negli anni Cinquanta, un docente di un qualsiasi dipartimento di fisica che non fosse di ruolo avrebbe potuto mettere a repentaglio la propria carriera se avesse dimostrato interesse per le strane implicazioni della teoria quantistica. I tempi sono cambiati. L'esplorazione dei problemi fondamentali della meccanica quantistica, impossibile senza chiamare in causa la coscienza, sta proseguendo sempre più e ha iniziato a interessare altri campi quali la psicologia, la filosofia e persino l'informatica.

Dato che la teoria quantistica funziona perfettamente per tutti gli scopi *pratici*, alcuni fisici negano l'esistenza di un vero e proprio problema. Tale negazione lascia nelle mani dei diffusori di pseudoscienze quegli aspetti della meccanica quantistica che, comprensibilmente, affascinano maggiormente chi non è un fisico. Il film *Bleep - Ma che... Bip... Sappiamo Veramente!?* è l'esempio perfetto del tipo di pseudoscienza che deploriamo (se non sapete di che pellicola si tratta, potete andare a leggere il nostro commento a riguardo nel capitolo 15). Il *vero* enigma quantistico è più bizzarro e più profondo delle "filosofie" che trattazioni del genere propongono. La comprensione del mistero quantistico reale richiede uno sforzo mentale maggiore, ma ne vale la pena.

A una conferenza alla quale partecipavano diverse centinaia di fisici (inclusi noi due), durante il dibattito successivo a uno degli interventi è scoppiata un'accesa discussione (della controversia ha parlato persino il «New York Times» nel dicembre del 2005). Uno dei partecipanti aveva affermato che, a causa delle sue bizzarrie, la teoria quantistica aveva chiaramente un problema. Un secondo aveva vigorosamente negato l'esistenza di qualsivoglia problema, accusando il collega di non aver "centrato il punto". Un terzo era intervenuto affermando: «È semplicemente troppo presto per capire. Dovremo aspettare almeno il 2200, quando la meccanica quantistica verrà insegnata ai bambini già all'asilo». Un quarto aveva in qualche modo riassunto il dibattito affermando che «il mondo non è così reale quanto crediamo». Tre di questi personaggi hanno già vinto il Nobel per la fisica, mentre il quarto è tra gli scienziati in lizza per ottenerne uno.

Il dibattito ricorda un'analogia che riflette il nostro punto di vista. Una coppia di sposi si reca da un consulente matrimoniale: la moglie afferma: «Il nostro matrimonio ha un problema»; il marito non la pensa allo stesso modo e dichiara: «Il nostro matrimonio *non* ha *alcun* problema». Il consulente sa chi dei due ha ragione.

## INTERPRETARE LA TEORIA QUANTISTICA

Le continue obiezioni alla teoria quantistica, mosse da Einstein negli ultimi vent'anni della sua vita, vennero spesso ignorate perché in molti ritenevano che lo scienziato non volesse accettare la fisica moderna. Einstein sbagliava davvero quando rifiutava di accettare quelle "azioni sinistre" che la teoria dei quanti implicava. L'esistenza di tale fenomeno, chiamato ora *entanglement* o "correlazione", è stata dimostrata. Tuttavia, Einstein è attualmente riconosciuto come il critico più lungimirante che la teoria abbia mai conosciuto. I suoi appelli ricorrenti, affinché le stranezze della teoria non venissero nascoste sotto il tappeto, sono corroborati dall'attuale proliferazione di interpretazioni sempre più assurde della meccanica quantistica.

Nel capitolo 15 descriveremo diverse opinioni e interpretazioni contrastanti su ciò che la meccanica quantistica ci dice riguardo al mondo fisico (e, forse, a noi). Sono tutte proposte molto serie sviluppate sulla base di analisi matematiche estensive. I suggerimenti che ne derivano sono variegati e molto interessanti: sarebbe l'osservazione a creare la realtà fisica; esisterebbero infiniti mondi paralleli abitati da altrettante versioni di noi stessi; potrebbe esistere una connessione a livello universale; il futuro potrebbe influenzare il passato; potrebbe esistere un'altra realtà oltre la realtà fisica; il libero arbitrio potrebbe venir messo in discussione.

Lungo il confine in cui la fisica non obbliga più al consenso, il significato della teoria quantistica è controverso. Gran parte delle interpretazioni concorda sul fatto che il problema della coscienza può essere tranquillamente ignorato per tutti gli scopi *pratici*. Tuttavia, quando cerca di approfondire i fondamenti della teoria, la maggior parte degli esperti contemporanei ammette che esiste un mistero che nasce quando entra in gioco la coscienza. Anche se si tratta della nostra facoltà più intima, la coscienza è difficile da definire. È qualcosa che la fisica non può trattare, ma che non può nemmeno ignorare.

Il premio Nobel per la fisica Frank Wilczek ha recentemente commentato:

*La letteratura più importante [per quanto riguarda il significato della fisica quantistica; N.d.A.] è notoriamente controversa e oscura. Ritengo che la situazione resterà tale finché qualcuno non riuscirà a costruire, entro i formalismi della meccanica quantistica, un "osservatore", ossia un'entità modello le cui condizioni corrispondano a una caricatura riconoscibile della coscienza... È un progetto formidabile, che si estende ben oltre ciò che viene convenzionalmente considerato "fisica".*

Anche se presenteremo dati indiscutibili ed enfatizzeremo l'enigma che gli stessi pongono, ci asterremo dal proporre una soluzione. Preferiamo offrire ai nostri lettori una base per elaborare considerazioni proprie. Per fortuna, questo argomento controverso può essere compreso anche senza conoscere la fisica in maniera approfondita.