

DOVE SCIENZA E FILOSOFIA SI TOCCANO

Einstein è stato uno dei protagonisti del dibattito sulla realtà del mondo che ci circonda. Sua la domanda ironica: «Ma davvero credete che la Luna esista solo quando la guardiamo?».



La trama profonda del reale

di Giulio Meazzini

Studiando l'infinitamente piccolo, lo stupore per la ricchezza della natura è pari solo alle capriole mentali richieste per capire e interpretare la realtà, nei suoi aspetti più profondi. L'ultimo Nobel per la fisica ha premiato proprio questi studi.

Questo articolo è dedicato a coloro che almeno una volta nella vita, magari da ragazzi, hanno provato a voltarsi indietro di scatto per vedere se la realtà, le nuvole, le montagne e le persone, continuano ad esistere anche quando non sono osservati. Può sembrare buffo, ma da circa ottanta anni, gli scienziati che studiano le proprietà della materia a livello microscopico, stanno discutendo proprio di questo. E l'ultimo Nobel per la fisica è andato a tre scienziati coinvolti proprio in questo tipo di esperimenti.

Le cose stupefacenti che sono state scoperte e le attuali frontiere del-

la ricerca spero incuriosiscano abbastanza il lettore da spingerlo ad approfondire gli aspetti concettuali e filosofici di questa grande conquista del pensiero contemporaneo. Le scoperte susseguitesi, infatti, hanno portato alla definizione rigorosa di una teoria matematica, la meccanica quantistica, che sta alla base della odierna concezione scientifica del mondo, e che è stata confermata da tutti gli esperimenti compiuti durante il secolo scorso con una precisione impressionante, ben oltre le aspettative degli scienziati.

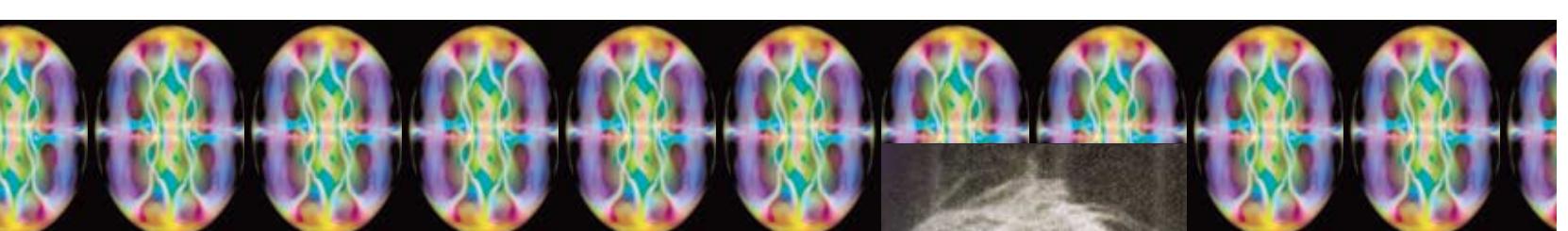
Questa teoria matematica, di applicazione ormai corrente, ha permesso tra l'altro di realizzare stru-

menti che usiamo ogni giorno, come computer e orologi digitali.

Ho fatto volutamente queste precisazioni preliminari, perché il lettore, se avrà la pazienza di giungere alla fine della lettura, si domanderà probabilmente se questa teoria, più che la scienza, non interroghi la filosofia e la metafisica.

Corpuscoli e onde

Nei primi decenni del 1900, studiando i componenti più piccoli della materia, atomi, protoni, elettroni e fotoni, gli scienziati hanno dovuto accettare alcuni strani fatti riguardanti il comportamento della



materia:

1) Tutti gli oggetti materiali hanno una duplice natura, ondulatoria e corpuscolare. Due biglie che si scontrano in un biliardo sono ben diverse da due onde che si incontrano e si sovrappongono in uno stagno di acqua. Il mondo microscopico, invece, ci mostra questa prima unificazione nella concezione della natura: ogni processo fisico coinvolge entrambe queste due inseparabili facce della realtà, per cui a seconda della situazione, la nostra particella elementare, ad esempio il protone, si comporterà come se fosse una ben solida palla da biliardo o, viceversa, una evanescente onda di energia, con gli inevitabili effetti di diffrazione ed interferenza.

2) I processi naturali sono discontinui. Un fascio di luce sembra fluire nello spazio con continuità, ma in realtà è composto da un susseguirsi di granuli di energia luminosa, i fotoni. Per strano che sembri, questi fotoni non possono avere un'energia qualunque, ma solo certi valori ben precisi. Tutte le interazioni della natura coinvolgono sempre quantità discrete (quanti) di energia; le regole di questo mondo microscopico sono descritte con precisione dalla teoria matematica che, non a caso, è stata chiamata "meccanica quantistica".

Indeterminismo e probabilità

Dal fatto che, come abbiamo detto prima, gli oggetti materiali manifestano una duplice natura, ondulatoria e corpuscolare, discende che io non posso conoscere contemporaneamente, con precisione, la posizione e la velocità di un oggetto (o similmente la coppia di variabili tempo ed ener-

gia). Devo scegliere quale variabile voglio misurare con precisione (ad esempio la posizione della particella), sapendo che questa decisione mi farà perdere inesorabilmente informazione sull'altra variabile (la velocità), che quindi resterà indeterminata: questo è il famoso "principio di indeterminazione" che tanto ha fatto discutere i filosofi della scienza.

Ma non basta: quando eseguo una misura nel mondo microscopico mi devo accontentare di previsioni probabilistiche. In un esperimento che misura come vibra un fascio di fotoni, posso per esempio dire con sicurezza che il 50 per cento delle misure darà come risultato "verticale" e il 50 per cento "orizzontale", ma non potrò mai sapere in anticipo se il singolo prossimo fotone che misuro ha orientazione in un senso o nell'altro. Lo stesso concetto di traiettoria di una particella perde senso; l'unica cosa che posso dire è che ho una certa probabilità di trovare una particella in quella zona dello spazio. È questo che Einstein non poteva accettare quando affermava: «Dio non gioca a dadi». D'altra parte il cambiamento di prospettiva che richiedeva questa nuova teoria era enorme: si era sempre sostenuto che solo la scienza era capace di fornire una conoscenza certa ed oggettiva, mentre qui bisognava accettare una teoria che, in linea di principio, non può fornire previsioni certe.



LA TRAMA PROFONDA DEL REALE

Alla fine dell'Ottocento per esempio si pensava che, se potessimo conoscere l'attuale posizione di tutte le particelle dell'universo e le forze che le spingono, si potrebbe prevedere esattamente il futuro del cosmo, come se fosse un grande orologio meccanico. Le scoperte del Novecento ci dicono, invece, che questo è impossibile, e non tanto per la nostra ignoranza, quanto proprio per la natura intima della realtà, per come essa è da noi conoscibile.

Sovrapposizione e realtà

Entriamo ora nel cuore della teoria, in una delle sue caratteristiche

stringermi ad accettare il fatto che gli oggetti del mondo microscopico non posseggono caratteristiche precise e oggettive, ma che solo quando mi decido ad osservarli, in un certo senso li costringo a decidersi per una caratteristica o l'altra (questo salto logico viene chiamato in gergo "riduzione di pacchetto").

Prima di essere preso per matto ricordo che questo è rigorosamente confermato da tutti gli esperimenti fatti nel corso del Novecento. Ma allora, questo mondo microscopico esiste o no quando non lo guardo? Chiedo ancora un po' di pazienza al lettore, perché devo introdurre altre due proprietà straordinarie: la non-



I tre scienziati Eric A. Cornell, Wolfgang Ketterle e Carl E. Wieman vincitori del Nobel per la fisica 2001 per i loro studi quantistici.

più incredibili. Ritorniamo al nostro fotone: so per esempio che, se eseguo la misura, ho il 50 per cento di probabilità di trovarlo che vibra in una direzione. Eseguo la misura e scopro per esempio che vibra orizzontalmente.

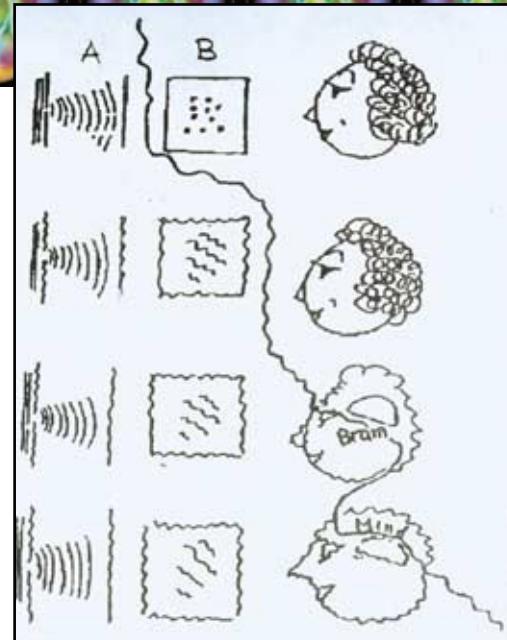
Ora attenzione: la teoria mi dice che non posso affermare che prima della misura il fotone vibrasse orizzontalmente, bensì solo che prima della misura esso era in una sovrapposizione dei due stati, orizzontale e verticale. Detto in altre parole, non posso affermare che il fotone anche prima della misura possedesse la proprietà oggettiva di vibrare orizzontalmente.

Insomma qui la teoria sembra co-

località e l'*entanglement*, termine inglese che significa groviglio, ingarbugliamento, impiccio e che io mi permetto di tradurre con unità a distanza.

Entanglement e non-località

Quando due particelle microscopiche interagiscono tra di loro, esse per un certo tempo, fino a nuove interazioni, permangono in uno stato di unità a distanza (*entanglement*). Questo stato particolare significa che, in un certo senso, le due particelle perdono le loro proprietà individuali e, anche se sono lontane e non interagiscono fra di loro, rappresentano un'unità inseparabile, forma-



Il famoso disegno di John Bell che illustra il problema del confine tra mondo microscopico e macroscopico. Tra fascio di fotoni (A), rivelatore (B), occhio, cervello e mente dove avviene il passaggio al reale?

ALTRÉ SOLUZIONI PER UN ENIGMA

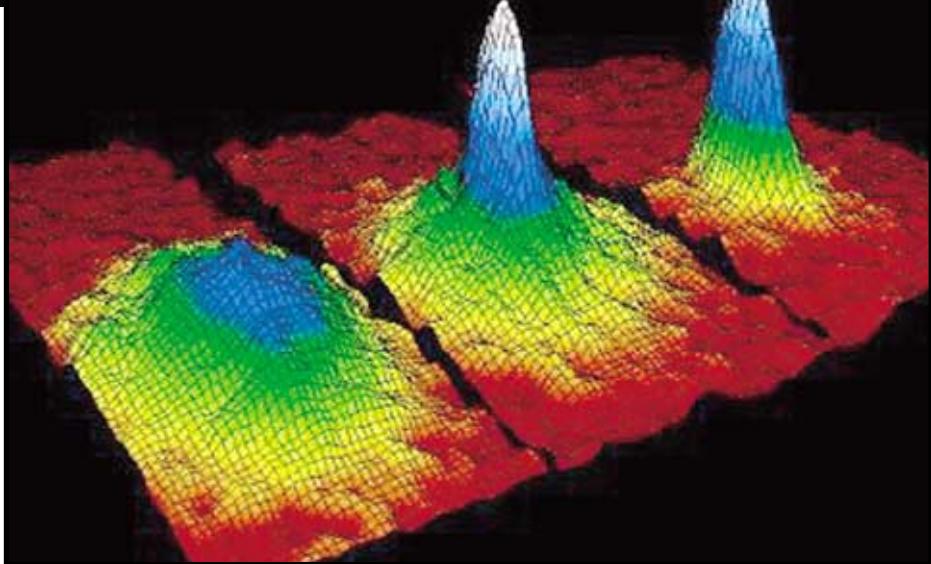
Dopo aver letto l'articolo principale, al lettore attento non sarà sfuggito che l'incapacità della meccanica quantistica di spiegare il passaggio dal microscopico al macroscopico rischia di rendere tutta la teoria una bella costruzione parzialmente inutile, perché incapace di dare una coerente visione generale della natura. Nel seguito accenno brevemente solo ad alcune delle ipotesi alternative di soluzione del problema.

Interpretazione cosiddetta ortodossa

Sostiene che la teoria è completa così com'è, che il mondo microscopico e quello macroscopico sono su piani diversi ed è inutile cercare di descriverli con un'unica teoria.

Percezione cosciente

Come descritto nell'articolo prin-



Il premio Nobel per la fisica quest'anno è andato a tre scienziati che hanno studiato le interazioni quantistiche in un gas di atomi quando la temperatura è quasi allo zero assoluto: gli atomi diventano indistinguibili gli uni dagli altri, creando una specie di super atomo chiamato Condensazione di Bose-Einstein, la cui formazione è illustrata nella foto.

cipale, questa spiegazione «ha disfatto la rivoluzione copernicana, ponendo di nuovo l'uomo al centro dell'universo», se è vero che «è l'atto di presa di coscienza dell'uomo che fa passare il reale dal limbo della potenzialità alla chiarezza delle attualità». Chiaramente questa posizione porta delle conseguenze che vanno esaminate, tipo: l'universo, finché non è apparso un essere cosciente, è stato per miliardi di anni solo il regno delle potenzialità?

Moltiplicazione dei mondi

Questa teoria sostiene che quando io misuro il fotone, in realtà genero due mondi, paralleli e incomunicabili, uno in cui la misura da risultato orizzontale, l'altro in cui il fotone risulta vibrare verticalmente. Quindi tutte e due le potenzialità preesistenti alla misura si realizzano in una serie di mondi distinti. Io ho coscienza di un solo risultato, perché esiste un altro me in un altro mondo che ha coscienza del risultato opposto.

no cioè un unico sistema.

Supponiamo di avere due fotoni che, dopo aver interagito, si stanno allontanando uno dall'altro in direzioni opposte. Vogliamo misurare le caratteristiche di uno dei due: sappiamo per esempio di avere il 50 per cento di probabilità di trovarlo vibrare in verticale. Dopo la misura, se il primo fotone risulta vibrare in verticale possiamo essere sicuri al 100 per cento che anche il secondo, se lo misuriamo, risulterà vibrare nella stessa direzione. Nel mondo microscopico, quindi, dopo un'interazione le due particelle non possono più venire concepite come parti separate del sistema a cui appartengono; solo la loro unione sembra avere quella che potrebbe definirsi una sua oggettiva esistenza. Questo fino alla successiva interazione, in cui la particella forma un nuovo e diverso sistema, una nuova unità, con un'altra particella. Ma questo significa che, «poiché alla lunga praticamente tutto interagisce con tutto, emerge una visione dell'universo come un'unità indivisa», che solo in quanto tale ha una reale ed oggettiva esistenza.

Quanto appena detto ha un'altra conseguenza sconvolgente: ciò che accade in un preciso istante in una certa regione dello spazio può influenzare istantaneamente sistemi lontani. La mia misura sul primo fotone influenza istantaneamente il secondo, quasi fossero dotati di telepatia. E questo contrasta con tutto quello che il buon senso e la scienza hanno affermato fino ad oggi. La non-località infatti non dipende dalla distanza, è istantanea e selettiva, cioè ha a che fare solo con le singole particelle che hanno interagito.

«Voglio conoscere i pensieri di Dio, tutto il resto sono dettagli.»

Albert Einstein

Qualche tempo fa, nel laboratorio del Cern di Ginevra, gli scienziati hanno verificato *entanglement* e non-località in un esperimento con due fotoni che si erano già allontanati uno dall'altro ad una distanza di 20 chilometri. La conclusione sembra certa: casualità, unità a distanza e non località sono caratteristiche ineliminabili della realtà fisica profonda.

Dal microscopico al macroscopico

Il lettore attento è ormai convinto: gli esperimenti mostrano che i microsistemi hanno un modo di essere e di comportarsi che non rientra in nessuno degli schemi concettuali che noi uomini abbiamo elaborato sulla base della nostra esperienza quotidiana con gli oggetti macroscopici.

Ma a questo punto la domanda sorge quasi spontanea: dov'è il confine tra i due mondi, come e quando emergono dal vago mondo quantistico le proprietà macroscopiche della solida realtà con cui abbiamo a che fare ogni giorno? Nessuno lo sa, per

ora. E questo è il vero limite, a tutt'oggi, di questa teoria, limite sul quale stanno arrovellandosi le migliori menti del mondo della scienza e non solo. Nel riquadro ho riportato alcune delle risposte dibattute al momento attuale. Qui mi limiterò ad esporme una che mi sembra chiarisca bene quali sono gli enormi risvolti filosofici in ballo nella discussione.

Nell'esempio di prima, abbiamo detto che un fotone prima della misura deve essere considerato in una sovrapposizione dei due possibili stati finali e solo dopo la misura sono sicuro che ha la proprietà reale di vibrare orizzontalmente (o verticalmente). Quando il fotone entra nell'apparecchio di misura, la teoria mi dice che anche a quest'ultimo posso applicare le stesse regole: infatti fotone e misuratore insieme formano un sistema che, prima della misura, è nella sovrapposizione di due stati finali, ad esempio ago del misuratore su orizzontale o su verticale.

Ma se considero che per leggere l'ago del misuratore uso il mio occhio, posso applicare la meccanica quantistica anche al sistema fotone-misuratore-occhio, considerando quindi anche questo sistema esteso in sovrapposizione di stati (prima della misura). Per interpretare il segnale luminoso che arriva al mio occhio serve però il mio cervello; applico quindi di nuovo la teoria matematica al sistema fotone-misuratore-occhio-cervello.

E qui mi fermo, mi devo fermare. Perché a questo punto accade qualcosa che la teoria non può descrivere, è qui la discontinuità tra microscopico e macroscopico, è la mia percezione cosciente che costringe tutto il sistema fotone-misuratore-occhio-cervello a prendere finalmente la decisione se il risultato della misura è orizzontale o verticale (riduzione di pacchetto) e quindi a diventare reale! In altre parole, «la rottura della catena avviene precisamente con l'atto di percezione cosciente da parte dell'osservatore», al confine tra cervello e mente. Ma se questo è vero, «chi misura tutto l'universo traendolo dal limbo delle potenzialità?» Lascio al lettore il gusto della risposta.

Giulio Meazzini

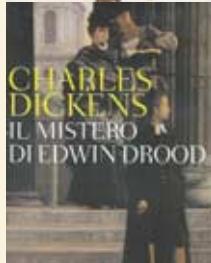
Per un approfondimento dei temi trattati, consiglio il bellissimo e impegnativo libro: Un'occhiata alle carte di Dio di Gian Carlo Ghirardi, da cui sono tratte le citazioni di questo articolo.

IN LIBRERIA

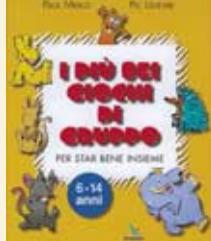
■ **FRANTISEK LANGER**, "I FANCIULLI E IL PUGNALE", GARZANTI, pp. 154, L 19.000 – Ritorna un best seller internazionale dello scrittore praghese. Ne sono protagonisti i ragazzi di un piccolo villaggio boemo occupato dai nazisti, che la Gestapo intende utilizzare come informatori inconsapevoli per sabotare l'ostilità degli adulti. In una progressione semplice ed efficace, le figure del bene e del male si delineano fino a prendere forma nell'anima di un ragazzo: a guidarlo nel momento cruciale sarà il caos o una forza ancora più grande? (o.p.)



■ **CHARLES DICKENS**, "IL MISTERO DI EDWIN DROOD", BOMPIANI, pp. 512, L 34.000 – Il romanzo lasciato incompiuto dal famoso autore di David Copperfield è stato completato (in modo eccellente) dal compatriota Leon Garfield, noto in Italia soprattutto per la sua riscrittura dei classici per i ragazzi e per la reinvenzione in prosa delle storie di Shakespeare. Per gustare una delle opere più avvincenti ed enigmatische del massimo scrittore inglese dell'Ottocento. (o.p.)



■ **PAUL MERLO E PIC LE-LIÈVRE**, "I PIÙ BEI GIOCHI DI GRUPPO"; **PIERRE LECARME E FRÉDÉRIC THIRY**, "L'ARTE DI FAR FESTA"; (OLTRE 120 PAGINE, L 32.920): due "allegri" e illustratissimi libri della Edelci indirizzati a bambini, ragazzi, educatori e animatori di gruppi. Il primo è un manuale ricco di oltre ottanta giochi che si basano su valori di cooperazione e aiutano ad approfondire le relazioni interpersonali; il secondo è una vera miniera di idee per rendere sempre originale e diverso, nelle più varie ricorrenze, l'incontro con le persone cui si vuole bene. (o.p.)



■ **ROSS KING**, "LA CUPOLA DI BRUNELLESCHI", RIZZOLI, pp. 298, L 32.000 – La cupola di Santa Maria del Fiore, un'opera che incarna lo spirito



del Rinascimento e di Firenze. Le appassionanti vicende della sua costruzione e del suo ombroso artefice s'intrecciano – in questo saggio – alla narrazione di guerre, epidemie, lotte politiche, ai fermenti intellettuali di un'epoca straordinaria, nonché alla vita quotidiana dei muratori e artigiani che per anni lavorarono sospesi a decine di metri d'altezza. (o.p.)

■ **VITO MAGNO**, "DIO SEMINA DI DOMENICA", PAOLINE, pp. 256, EURO 9,30/L 18.000 – In un tempo in cui il senso più vero del riposo è stato smarrito, questi commenti alle letture bibliche festive del ciclo A dell'anno liturgico vogliono essere una semente di riflessione gettata nel terreno del riposo domenicale, capace di trasferire la Parola di Dio nel quotidiano. Un'occasione propizia per scoprire il senso ultimo della vita. (o.p.)

■ **JEAN DELUMEAU**, "QUEL CHE RESTA DEL PARADISO", MONDADORI, pp. 514, L 38.000 – Accademico di Francia e tra i più noti storici francesi, Delumeau investiga sulle rappresentazioni che l'uomo occidentale si è fatto del paradiso per farci capire come si sia trasformata nel tempo questa speranza di un Aldilà radioso, prendendo sempre più le forme di qualcosa di distaccato dalla Terra. Il paradiso cristiano, spiega l'autore, non è però mai tramontato. (o.p.)

■ **AA.VV.**, "RONCALLI E BOSSILKOV PER LA NUOVA BULGARIA", GOD PRESS, pp. 184, EURO 5,16/L 10.000 – Quale futuro per la Bulgaria cristiana? Se lo son chiesto studiosi dell'Urbe e del mondo in una Giornata di studio presso la Pontificia Università Lateranense, alla luce di due grandi testimoni di Cristo e dell'unità: papa Giovanni XXIII e il vescovo martire del regime comunista Eugenio Bossilkov, due beati legati alla storia di questo paese sul confine tra ortodossia e cattolicesimo. (o.p.)

