Focus (IT)

PAESE :Italia
PAGINE :98;99;100;101;102
SUPERFICIE :473 %
PERIODICITÀ :Mensile

DIFFUSIONE :(159136)
AUTORE :Andrea Parlangeli

► 1 dicembre 2022

COME QUANTO E PERCHÉ

Il Nobel per la fisica di quest'anno è andato all'"*entanglement quantistico*"... Ma di che si tratta? Cos'è questo fenomeno che Einstein non poté digerire? Capirlo non è facile, ma può essere utile. Perché le **applicazioni** non mancano.

di Andrea Parlangeli

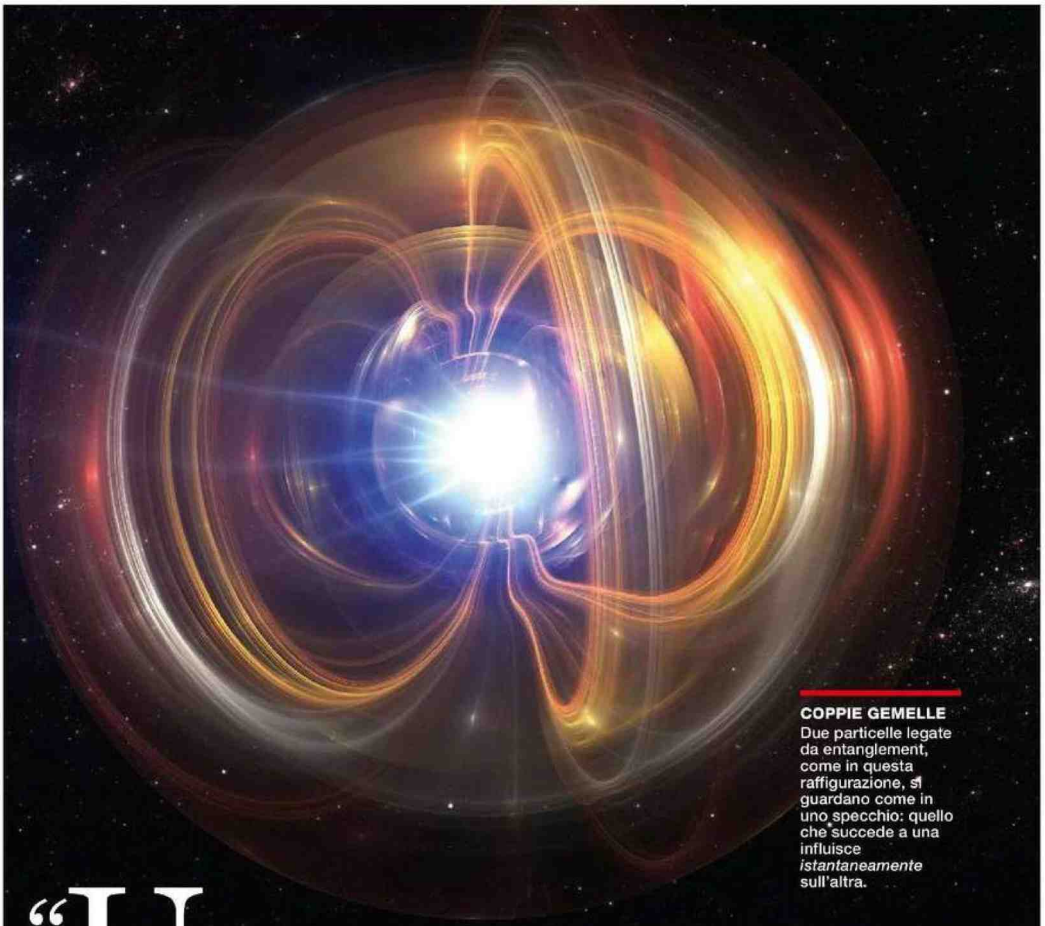
Tutti i diritti riservati

Focus (IT)

PAESE :Italia
PAGINE :98;99;100;101;102
SUPERFICIE :473 %
PERIODICITÀ :Mensile

DIFFUSIONE :(159136)
AUTORE :Andrea Parlangeli

► 1 dicembre 2022



COPPIE GEMELLE
Due particelle legate da entanglement, come in questa raffigurazione, si guardano come in uno specchio: quello che succede a una influisce *istantaneamente* sull'altra.

"Un'azione sinistra a distanza", così Albert Einstein etichettò un fenomeno che proprio non poteva digerire: l'*entanglement*, una sorta di telepatia tra particelle microscopiche. Per il padre della Relatività, infatti, una proprietà così strana doveva per forza essere il frutto di un errore umano, di una nostra incomprensione dei meccanismi fondamentali che regolano il cosmo. Invece, nel corso di molti anni è stato dimostrato che si tratta di un aspetto fondamentale della realtà, ed è proprio questo tipo di studi che ha portato al Nobel per la fisica di quest'anno. Complicato? Sì. Incomprensibile? Forse. D'altra parte, se non ci arrivava nemmeno Einstein vuol dire che, in fondo, forse qualcosa di irrisolto sulla questione davvero c'è. Ma di certo oggi sappiamo che l'entanglement esiste, e diverse aziende tra cui anche Amazon Web Services stanno studiando come utilizzarlo a scopi pratici, ad esempio per realizzare i calcoli e le connessioni internet del futuro. Vediamo come e perché.

TANTE STRANEZZE

L'entanglement è una delle tante stranezze della meccanica quantistica, la teoria che descrive il mondo microscopico (*v. riquadro nelle prossime pagine*). «Fu messo in evidenza per la prima volta proprio da Einstein nel 1935, in un articolo scritto con Boris Podolsky e Nathan Rosen», spiega Fabio Scardigli, fisico teorico al Politecnico di Milano e all'Università di Leiden, e coautore del libro *Determinismo e Libero arbitrio* (Carbonio Editore) che affronta questi temi anche da un punto di vista filosofico. Einstein, in quegli anni, stava infatti cercando di esplicitare i limiti e le presunte contraddizioni della meccanica quantistica, secondo la quale il mondo – alle scale più piccole – è di natura probabilistica: è impossibile determinare in maniera esatta posizione e velocità delle particelle, ma bisogna accontentarsi di stabilire la probabilità di trovarle in un punto in un certo istante.

Se tale principio valesse anche nella nostra realtà quotidiana, sarebbe impossibile andare in autostrada: i contor- ►

Juris Prawiks/Shutterstock

Tutti i diritti riservati

Focus (IT)

PAESE :Italia
PAGINE :98;99;100;101;102
SUPERFICIE :473 %
PERIODICITÀ :Mensile

DIFFUSIONE :(159136)
AUTORE :Andrea Parlangeli

► 1 dicembre 2022

Cronologia

1935 Albert Einstein (*nella foto a destra con Niels Bohr*), Boris Podolsky e Nathan Rosen per primi notarono l'entanglement e formularono il "paradosso EPR" (dalle loro iniziali) per metterne in evidenza gli aspetti che ritenevano contraddittori. Poco dopo, il fisico Erwin Schrödinger coniò il termine entanglement e sostenne che

Bettmann/Corbis/Contrasto

era una proprietà fondamentale della natura.
1964 Il fisico John Stewart Bell ideò un esperimento per mettere alla prova il paradosso EPR. Da allora, diversi esperimenti hanno dimostrato l'entanglement tra particelle, e hanno dato apparentemente torto ad Einstein sul fatto che potesse esistere una teoria "a variabili nascoste", più fondamentale della meccanica quantistica, capace di descrivere la realtà microscopica in termini esatti e non probabilistici.
1997 Realizzato per la prima volta il teletrasporto quantistico da due gruppi di ricerca, uno guidato da Francesco De Martini della Sapienza Università di Roma, l'altro guidato da Anton

Einstein diceva "Dio non gioca a dadi". Ma un esperimento ideato nel 1964 sembra dargli torto

ni delle automobili si sfumerebbero in nuvole di probabilità che inevitabilmente porterebbero fuori strada, o a scontrarsi con un altro veicolo. In più, nello stesso esempio, l'indeterminazione riguarderebbe anche altre proprietà come il colore delle vetture. E sarebbe possibile produrre automobili "gemelle", con la caratteristica che se una fosse beccata da un autovelox e fotografata così com'è in un certo istante (l'equivalente della misura di una particella) allora anche l'altra uscirebbe immediatamente dalla sua indeterminazione, anche se si trovasse dall'altra parte della Terra, per cui se la prima risultasse gialla, anche la seconda sarebbe gialla. Questo è l'entanglement, che in italiano si tradurrebbe come "intreccio" (in quanto le proprietà – in questo caso il colore – delle due macchine restano "intrecciate" nel tempo indipendentemente dalla distanza alla quale si trovano).

Einstein era assolutamente convinto che questa visione "sfocata" e "telepatica" della realtà fosse dovuta alla nostra ignoranza di leggi più fondamentali ed esatte (per questo disse che "Dio non gioca a dadi"). E per cercare di dimostrarlo, con l'articolo del 1935, ideò un paradosso passato alla storia come "EPR", dalle iniziali dei cognomi dei tre autori.

«Pochi mesi dopo, il fisico austriaco Erwin Schrödinger, in riferimento all'articolo di Einstein, coniò il termine entanglement», spiega Scardigli, «e sostenne che era la proprietà più centrale della meccanica quantistica». Vale la pena a questo punto aprire una piccola parentesi e dare una definizione più precisa di entanglement. «Alcuni sistemi, tipicamente una coppia di particelle (per esempio di fotoni, o di elettroni), possono essere prodotti in modo tale che le sue componenti siano descritte dallo stesso ente matematico», spiega Scardigli. «Questa descrizione rimane valida indipendentemente dal fatto che le particelle siano a contatto, oppure che siano distanti anche milioni di anni luce. Questa è una proprietà sbalorditiva, in quanto di solito un sistema può influenzarne un altro, ma non a velocità maggiori di quella della luce. L'entanglement, invece, è istantaneo: se abbiamo due particelle A e B, e si altera (con una misura) lo stato della particella A, pure la particella B fisserà istantaneamente il suo stato, anche se si trova in un'altra galassia».

Si può dimostrare che in questo modo non si può trasmettere informazione, altrimenti la Relatività sarebbe davvero violata dando origine a ogni sorta di paradossi. Però una "telepatia quantistica" resta, e può essere utilizzata a scopi anche molto pratici.

VIA LIBERA AL TELETRASPORTO

«L'entanglement è tornato di grandissima attualità negli anni '60, soprattutto in seguito agli esperimenti ideati dal fisico nordirlandese John Stewart Bell e poi realizzati nei decenni successivi», racconta Scardigli. «Da allora i fisici hanno imparato a produrre sistemi legati da entanglement (perfino tramite droni e satelliti, *v. cronologia in alto*)». E hanno sfruttato questo principio per applicazioni degne di un film di fantascienza, come il teletrasporto quantistico. Siamo ancora lontani dal teletrasporto di persone come in *Star Trek*, ma grazie all'entanglement è possibile "leggere" ►

Le magie quantistiche in parole semplici

La meccanica quantistica è la teoria più strana (tra quelle che hanno un riscontro sperimentale) che la scienza abbia concepito. Ma descrive straordinariamente bene la realtà a livello microscopico. Ecco le sue caratteristiche più sorprendenti.

Indeterminazione. Non si può conoscere con precisione arbitraria al tempo stesso la posizione e la velocità di una particella. Per questo, per esempio, non dobbiamo immaginare gli elettroni in un atomo come pianetini che ruotano attorno al nucleo, ma come nuvolette distribuite nello spazio con particolari geometrie.
Vivo e morto. Gli oggetti quantistici possono trovarsi in una sovrapposizione di stati. Per esempio, una moneta quantistica può essere al tempo stesso testa e croce, mentre un bit quantistico può essere contemporaneamente 0 e 1. Perfino un gatto, in un celebre esperimento pensato dal fisico Erwin Schrödinger, in certe condizioni è vivo e morto al tempo stesso (*v. immagine a lato*). Se però si effettua un'osservazione, lo stato indeterminato sparisce.
Telepatia. Prendiamo due monete quantistiche. Possiamo crearle in modo che siano "intrecciate": se si

Tutti i diritti riservati

Focus (IT)

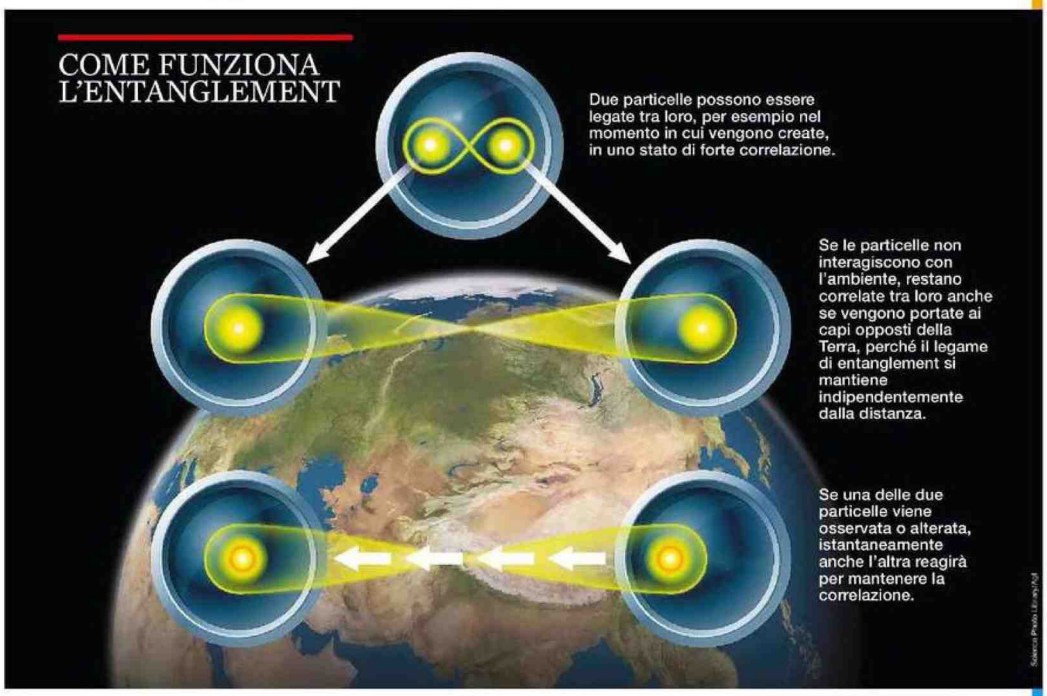
PAESE :Italia
PAGINE :98;99;100;101;102
SUPERFICIE :473 %
PERIODICITÀ :Mensile

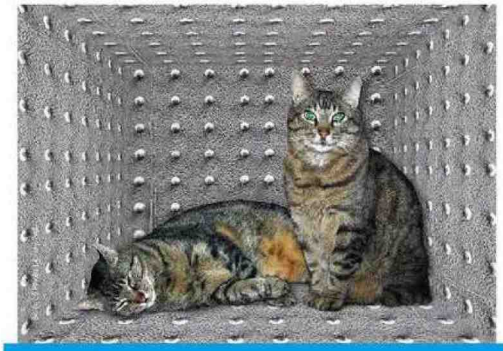
DIFFUSIONE :(159136)
AUTORE :Andrea Parlangeli

► 1 dicembre 2022

Zeilinger dell'Università di Vienna (recentemente premiato con il Nobel, *v. foto a sinistra*).
2014 Realizzato l'entanglement di 500mila atomi di rubidio raffreddati a temperature estremamente basse (20 milionesimi di grado sopra lo zero assoluto).
2017 Dimostrato per la prima volta in Cina l'entanglement a oltre 1.200 km di distanza per mezzo del satellite Micius, in grado di produrre coppie di fotoni correlati e di inviarli a vari osservatori sulla Terra.
2021 Dimostrato dall'Università di Nanjing, sempre in Cina, l'invio di fotoni legati da entanglement tramite droni (*v. foto a destra*), una tecnologia che sembra promettente per lo sviluppo di un internet quantistico.

COME FUNZIONA L'ENTANGLEMENT





guarda il loro stato (testa o croce), entrambe devono dare lo stesso risultato. Le due monete possono trovarsi inizialmente in uno stato indeterminato. Se le allontaniamo anche a distanze estreme, però, restano telepatiche: se ne misuriamo una e otteniamo testa, anche l'altra uscirà subito dall'indeterminazione e sarà testa.
Questo è l'entanglement.

Teletrasporto quantistico. L'entanglement consente anche il teletrasporto. Prendiamo un bit quantistico, o qubit, che può essere in una sovrapposizione di 1 e 0. Prendiamo ora una coppia di particelle lontane tra loro ma correlate. Si può usare una di queste due particelle "telepatiche" per leggere il qubit di partenza (con tutta la sua indeterminazione) e trasmetterlo all'altra.

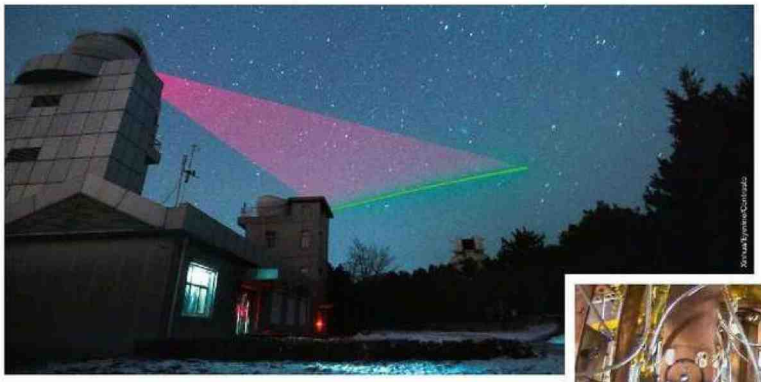
Tutti i diritti riservati

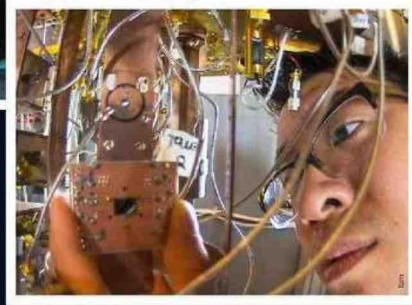
Focus (IT)

PAESE :Italia
PAGINE :98;99;100;101;102
SUPERFICIE :473 %
PERIODICITÀ :Mensile

DIFFUSIONE :(159136)
AUTORE :Andrea Parlangeli

► 1 dicembre 2022





IN ORBITA
A sinistra, l'osservatorio dello Xinglong (in Cina) in contatto di entanglement con il satellite Micius. Sotto, un ricercatore alle prese con un computer quantistico di Ibm.

lo stato completo di una particella qualsiasi e trasmetterlo istantaneamente a un'altra particella anche molto lontana.

Da un punto di vista filosofico, fa notare Scardigli, non è detto che Einstein avesse tutti i torti. «Nonostante quello che viene di solito affermato, l'esperimento di Bell non esclude del tutto che possano esistere variabili nascoste capaci di descrivere in modo esatto e deterministico la realtà, come sosteneva Einstein», illustra Scardigli. «Bisognerebbe però ammettere che ci sia una correlazione tra ciò che avviene sulla Terra e fenomeni lontani anche miliardi di anni luce, come hanno mostrato gli esperimenti». E questo, per la gran parte dei fisici, è ancora più assurdo. Alla fine, insomma, la questione del libero arbitrio rimane aperta, e nessuno a oggi può dire se il nostro destino e quello dell'intero universo siano predeterminati o no (*v.* Focus *n° 357*).

UN ITALIANO A SEATTLE

Intanto c'è già chi comincia a utilizzare l'entanglement a fini pratici, in particolare in settori come la crittografia e i computer quantistici. Cioè per inviare messaggi segreti – utili a scopi politici e militari, ma anche per garantire la privacy e la sicurezza informatica – e per creare computer che, grazie all'entanglement e ad altre stranezze quantistiche, possano svolgere i calcoli, almeno in alcuni casi, in maniera molto più efficace dei computer tradizionali. «L'entanglement è una risorsa che può essere utile in molte applicazioni», enfatizza Simone Severini, responsabile delle tecnologie quantistiche di Amazon Web Services (Aws) a Seattle (Usa) e autore del libro, in uscita a breve, *La terra dei qubit* (Trèfoglie). «C'è una metafora molto bella del fisico John Preskill che prova a spiegare questo fenomeno attraverso l'idea di un libro un po' speciale. Quando leggiamo un libro di 10 pagine, dopo aver letto una pagina ne conosciamo il 10%, dopo 8 pagine l'80% e così via. Se il libro è composto da 10 oggetti quantistici, dieci atomi per esempio, quando ne osserviamo uno non conosciamo il 10% del totale, ma meno. Per conoscere davvero il contenuto del libro, dobbiamo leggere le pagine tutte insieme, perché dobbiamo guardare anche alle correlazioni quantistiche, cioè all'entanglement. E la quantità di questa informazione "nascosta", difficile da visualizzare, può essere gigantesca». Proprio per questo, per simulare un oggetto microscopico come un atomo o una molecola, un computer quantistico – che automaticamente incorpora nella sua struttura queste correlazioni – è molto più efficace di un computer tradizionale (*v.* Focus *n. 339*).

Quali siano le reali potenzialità del calcolo quantistico, ammette Severini, non è affatto chiaro. «Però è stato dimostrato che alcuni algoritmi quantistici hanno un vantaggio esponenziale su quelli classici», spiega. «E questo vuol dire risparmiare un sacco di tempo per eseguire calcoli difficili».

NEL CLOUD DI AMAZON

Per questo anche un'azienda come Amazon, in particolare la sua divisione Amazon Web Services (Aws), segue con interesse gli sviluppi del settore. «Negli ultimi anni abbiamo notato un crescente interesse del mercato e del pubblico nelle tecnologie quantistiche», dice Severini, «e abbiamo deciso di basare la nostra strategia su 4 iniziative. La prima si chiama Amazon Braket, un servizio che permette a ricercatori e sviluppatori di accedere a computer quantistici sul cloud. Si tratta di prototipi basati su 5 tecnologie diverse, costruiti da altrettante startup: IonQ, D-Wave, Rigetti, Oxford Quantum Circuits e Xanadu. La seconda iniziativa si chiama Amazon Quantum Solutions Lab: è un gruppo di esperti che lavora in progetti di ricerca con clienti, di solito appartenenti a grandi gruppi industriali. Le altre due iniziative sono l'Aws Center for Quantum Computing e l'Aws Center for Quantum Networking, in collaborazione con il Caltech e l'Università di Harvard rispettivamente, con l'obiettivo di costruire computer quantistici capaci di risolvere problemi di carattere scientifico e commerciale».

L'entanglement si può usare per trasmettere dati in modo estremamente sicuro anche con droni e satelliti

Tutti i diritti riservati