



Disegno di Florentin  
Georgescu

oggi nelle  
**news**

**FORUM**

La scuola in rete

Un appello  
per via Panisperna

TELETRASPORTO QUANTISTICO

## Il sogno di Star Trek

Nella finzione fantascientifica è il mezzo di trasporto abituale dell'equipaggio dell'Enterprise protagonista della celebre serie televisiva. Ma ora anche la rivista Nature pubblica un articolo sulla possibilità di teletrasportare oggetti fisici, per esempio i fotoni. Succede nel laboratorio di Anton Zeilinger, all'Università di Vienna. E anche in quello di Francesco De Martini a Roma  
**di Marta Cerù**

### La nutrice del faraone

Riemerge a Saqqara, in Egitto, la tomba di Maya, la balia di Tutankhamun. E' una scoperta eccezionale, forse una delle più importanti del secolo. Che potrebbe rivelare alcuni dei misteri che ancora circondano l'infanzia del faraone-bambino. Edda Brascisani, egittologa dell'Università di Pisa, commenta in esclusiva a Galileo il nuovo ritrovamento

**di Manuela Evangelista**

### Un'Icona per l'Aids

La ricerca ha recentemente messo a disposizione nuove strategie terapeutiche anti-Aids. Occorre però testare l'efficacia a lungo termine delle nuove cure e capire come cambieranno negli anni i bisogni e la vita delle persone sieropositive trattate. Questo ed altro si propone di fare I.co.n.a. uno studio osservazionale prospettico appena avviato.

Tutto italiano

**di Tina Simoniello**

### Cent'anni di aspirine

E' il farmaco più venduto del mondo. Nel 1996 ne sono stati consumati 11 miliardi di compresse. A un secolo esatto dalla sua comparsa, il successo dell'acido acetilsalicilico non accenna a diminuire. E oggi, oltre a curare mal di testa e raffreddore, viene usato anche nella prevenzione della trombosi. Ma insieme alla sua straordinaria diffusione,

# Galileo MAGAZINE

Teletrasporto quantistico

## Il sogno di Star Trek

di Marta Cerù

La nutrice del faraone

Un'icona per l'Aids

Cent'anni di aspirine

Anche chi non ha mai visto un episodio dei telefilm di Star Trek, probabilmente ha sentito parlare del teletrasporto sull'astronave Enterprise. E' il famoso



sistema che permette al capitano Kirk e al suo equipaggio di scendere su un qualsiasi pianeta senza dover atterrare: basta entrare nella macchina del teletrasporto, e il corpo viene "smaterializzato" per ricomparire istantaneamente a destinazione. Ma da qualche tempo questo termine, "teletrasporto", è entrato anche nel mondo

dei fisici. Certo, trasportare un corpo, o semplicemente l'informazione necessaria a "ricostruirlo", in modo istantaneo da un posto all'altro, rimane un'impresa da fantascienza. Ma sull'ultimo numero della serissima rivista Nature compare un articolo intitolato proprio "Teletrasporto quantistico sperimentale". E descrive due esperimenti che hanno trovato "la via più veloce per andare da Alice a Bob". Vediamo di cosa si tratta.

Siamo nel campo dei sistemi microscopici, dove regna la meccanica quantistica che, con le sue strane leggi e le sue caratteristiche peculiari, ci obbliga ad allontanarci dalla visione classica e intuitiva del mondo a cui siamo abituati. Per entrare in un mondo dove possono accadere fenomeni quasi paradossali, dove sembra che i messaggi viaggino più veloci della luce. E dove si può parlare di teletrasporto.

La questione è sottile. E per capire che cosa hanno fatto i due gruppi di scienziati, il primo diretto da Anton Zeilinger dell'Università di Vienna, il secondo da Francesco De Martini dell'Università di Roma, per realizzare il teletrasporto quantistico nei loro laboratori, occorre fare un passo indietro. Nel 1935, quando il dibattito sui fondamenti della meccanica quantistica era ancora molto vivace, Albert Einstein, Boris Podolsky e Nathan Rosen scoprirono una misteriosa correlazione

Cosa succede in laboratorio

La parola al fisico teorico

che lega oggetti anche lontanissimi tra loro. Un fenomeno inspiegabile ai loro occhi, e da allora conosciuto come il paradosso Epr (dalle iniziali dei tre scienziati). Considerando due sistemi fisici che abbiano interagito tra loro e poi si siano separati sufficientemente, è possibile ricavare informazioni su uno dei due eseguendo una misura sull'altro.

Solo trent'anni dopo, gli studi di John Bell, approdati a un famoso teorema e ai relativi esperimenti, hanno portato a riconoscere che questa connessione, chiamata "entanglement", esiste davvero. E significa che la teoria che descrive il mondo microscopico, la meccanica quantistica appunto, è non locale. In altre parole, è possibile che gli esiti di una misura effettuata in una certa regione dello spazio dipendano dall'esito di un'altra misura eseguita nello stesso istante su un sistema lontanissimo. Insomma, una coppia di questi sistemi fisici "gemelli", o "entangled" come direbbero gli scienziati, sono collegati da una sorta di canale quantistico. Ciò che accade a uno dei due si riflette istantaneamente sull'altro, anche se è ad anni luce di distanza.

L'idea più affascinante sarebbe quella di sfruttare questa non località quantistica per trasmettere informazioni più velocemente della luce. Ma questo violerebbe il principio di relatività. Tuttavia, quattro anni fa il fisico Charles Bennet mostrò come fosse possibile separare l'intera informazione necessaria a riprodurre un oggetto in due parti, una quantistica e una classica. La prima può essere trasmessa istantaneamente, ma non può essere usata se non si conosce la seconda, che può viaggiare solo per vie convenzionali, e quindi a velocità inferiori a quella della luce. Dunque il canale quantistico c'è, ma per "trasportare" informazioni utilizzabili deve essere affiancato da uno classico.

E' questa la strada del teletrasporto basato sul canale quantistico tra due fotoni "entangled" o "gemelli", cioè fortemente correlati. E l'esperimento che lo realizza, eseguibile in laboratorio con un apparato fatto di laser, cristalli, e strumenti ottici, si può raccontare coinvolgendo due personaggi: Alice, che trasmette, e Bob, che riceve.

Alice ha un fotone, un corpuscolo elementare della luce, di cui non sa nulla. Il suo compito è trasmetterlo a Bob, che è molto distante in un luogo non ben precisato. Le regole alla base della meccanica quantistica, e precisamente il principio di



indeterminazione di Heisenberg, impediscono ad Alice di misurare qualsiasi caratteristica del fotone per comunicarla a Bob, o di "copiare" la

particella per inviarla direttamente. Infatti, misurare esattamente la posizione di un oggetto microscopico impedisce di conoscere la sua velocità, e misurare la velocità non ci permette di conoscerne la posizione.

Sarebbe inoltre troppo lento e insicuro inviare direttamente l'originale, soprattutto perché Alice non sa dov'è Bob. Ma i due, prima di separarsi, hanno condiviso un'altra coppia di fotoni gemelli, A e B, legati dal canale quantistico. Alice possiede A, e Bob ha portato B con sé. E' questo il canale quantistico intermedio che permetterà ad Alice di mandare il messaggio (il fotone originario) a Bob. Infatti Alice può eseguire una misura sul sistema formato dal suo fotone-messaggio e da A. In questo modo non saprà nulla delle caratteristiche del fotone-messaggio perché il processo stesso della misura le avrà alterate, distruggendo il fotone da teletrasportare. Ma, a causa del canale quantistico tra A e B, anche B risulterà simultaneamente cambiato. Così la parte quantistica dell'informazione è passata.

Ad Alice non resta ora che trasmettere a Bob per via classica il risultato della sua misura, o meglio il tipo di misura eseguita. A questo punto Bob potrà eseguire la trasformazione necessaria sulla particella B per ottenere una perfetta copia del messaggio. "E non si tratta di una clonazione", come precisa De Martini di fronte al delicato apparato ottico realizzato nel suo laboratorio assieme ai fisici Danilo Boschi e Salvatore Branca. "Infatti la misura di Alice distrugge la particella originaria e tutte le sue caratteristiche si ritrovano nel fotone di Bob".

Naturalmente i due esperimenti, quello austriaco e quello italiano, sono ben più complicati della storia di Alice e Bob, e sono anche diversi tra loro. Ma ciò che conta è che entrambi costituiscono un passo decisivo verso l'applicazione pratica di queste teorie. Che potrebbero permettere, per esempio, di costruire computer quantistici, più veloci di quelli attuali classici e capaci quindi di risolvere problemi molto più complessi.

HOME ARCHIVIO MULTIMEDIA FORUM MAGAZINE JOURNAL E-MAIL  
SEARCH WELZONE

## Cosa succede in laboratorio

I due esperimenti di teletrasporto quantistico, quello austriaco e quello italiano, sembrano a prima vista dello stesso tipo: entrambi hanno a che fare con il trasporto delle proprietà di un fotone da Alice (trasmettitore) a Bob (ricevente) sfruttando il canale quantistico di una coppia di fotoni "entangled", ovvero fortemente correlati. Tuttavia ci sono alcune differenze sostanziali. E' lo stesso Francesco De Martini, nel suo laboratorio di ottica quantistica all'Università La Sapienza di Roma, che ne parla a Galileo.

"Il nostro esperimento riguarda un tipo di teletrasporto quantistico ideato dal fisico Sandu Popescu, diverso da quello realizzato da Zeilinger a Vienna. Nel nostro apparato il fotone-messaggio che Alice deve trasmettere a Bob e il fotone della coppia "entangled" che condivide con Bob sono in realtà due aspetti della stessa particella, e non due fotoni separati, come è invece nell'esperimento di Zeilinger. Il nostro strumento ottico separa l'informazione su due proprietà quantistiche di uno stesso fotone, la sua polarizzazione e la direzione del moto: e queste due caratteristiche entrano nella teoria come se fossero due particelle diverse. Così il messaggio da trasmettere è in qualche modo inscritto nel fotone che fa anche parte della coppia correlata, anziché essere in un'altra particella. Il vantaggio è che, avendo a che fare solo con i due fotoni della coppia, le misure sono molto più semplici ed efficienti da eseguire. Per il resto la teoria dietro l'esperimento è la stessa: basata sul teorema di Bell e sull'esistenza di fenomeni non locali in meccanica quantistica, ai quali ormai siamo abituati da anni di esperienze nel campo dell'ottica quantistica".

**Che il teorema di Bell con le sue conseguenze sia ormai accettato dalla maggioranza dei fisici sembra certo. Ma**

**quali sono i vostri progetti futuri per le applicazioni tecnologiche?**

"Il campo più attraente è senz'altro quello della computazione quantistica, ma sebbene la teoria di come realizzare un bit quantistico sia molto avanzata, l'aspetto sperimentale presenta ancora molte difficoltà. Tra pochi giorni mi incontrerò con i fisici dell'Ibm che si occupano di queste cose. Soprattutto con Charles Bennet, che ha aperto la strada del teletrasporto quantistico con un famoso articolo pubblicato su "Physical Review Letters" del 1993, firmato anche dai fisici Gilles Brassard e Claude Crépeau. Così potremo discutere di come applicare le nostre tecniche sperimentali alla costruzione di un componente basilare dei quanto-computer: il control-not. Infatti questi congegni funzionano in modo molto simile ad alcune parti del nostro apparato sperimentale".

**E per quanto riguarda la crittografia quantistica?**

"La crittografia come scienza nasce dalla teoria dei numeri e dal problema che avevano gli inglesi durante la seconda Guerra Mondiale nell'intercettazione e nella decodifica di messaggi cifrati (a chi fosse interessato agli aspetti storici consiglio la lettura del libro 'Enigma' di Cliff Cussler edito da Tea). Ma chiaramente la crittografia quantistica è un'altra cosa, e si basa sull'uso di due canali per trasmettere le informazioni, uno classico e uno quantistico. Quest'ultimo porta il 90% dell'informazione, che però non può essere decifrata se non si ha una chiave trasmessa attraverso il canale classico. Come nel caso del nostro teletrasporto di fotoni, la trasmissione dell'informazione non può avvenire se non a velocità inferiori a quelle della luce. Tornando al mio laboratorio, quello che veramente mi interessa è cercare di estendere al mondo macroscopico i fenomeni di non località che osserviamo ormai facilmente in quello microscopico. Stiamo cioè realizzando un esperimento che abbia a che fare con un gran numero di particelle. Ma questa è una storia ben più complicata, e per ora siamo i soli in Italia a occuparcene, anche se a livello preliminare".

**Quali sono gli altri gruppi di ricerca che si occupano di teletrasporto?**

"Oltre al gruppo di Zeilinger di Vienna, c'è il gruppo dell'Università di Montreal, del quale fanno parte Gilles Brassard e Claude Crépeaux. Per quanto riguarda la computazione o la crittografia quantistiche, si fa ricerca avanzata a Los Alamos e a Oxford".

**Marta Cerù**

HOME ARCHIVIO MULTIMEDIA FORUM MAGAZINE JOURNAL E-MAIL  
SEARCH WEBZONE

## La parola al fisico teorico

"La meccanica quantistica ci costringe a riconoscere l'esistenza di effetti non locali (vale a dire istantanei a distanza), ma le cose sono messe in modo tale che questi effetti non possono venire in alcun modo utilizzati per trasmettere informazioni o per esercitare azioni a velocità superiore a quella della luce". A parlare è Giancarlo Ghirardi, presidente della Società italiana di fondamenti della fisica (Siff) e professore di Fisica teorica presso il Centro internazionale di Trieste (Ictp). A lui Galileo ha chiesto di commentare i risultati degli esperimenti di Anton Zeilinger e Francesco De Martini.

### **Professore, secondo lei si tratta di ricerche attendibili?**

"Zeilinger è uno dei più grandi fisici europei e De Martini gode sicuramente della mia stima. Secondo me i loro esperimenti sono attendibili e perfettamente coerenti, e dimostrano ancora una volta che il teletrasporto quantistico è possibile. E' possibile, cioè, una forma di trasporto di informazione basata sugli stati 'entangled', correlati in modo così peculiare che se conosco una proprietà dell'uno posso dedurre con certezza quella dell'altro senza conoscere, prima di eseguire la misura, quali siano le proprietà dei due stati. Questa caratteristica, secondo Schroedinger, è il tratto fondamentale della meccanica quantistica, quello che segna la divergenza con la teoria classica".

### **Ma cosa ci dicono di nuovo questi esperimenti, rispetto alla teoria?**

"Trattandosi di esperimenti a livello microscopico, non hanno nulla da dire dal punto di vista teorico. E' ormai accettato dalla stragrande maggioranza dei fisici, ed è stato già messo in evidenza sperimentalmente, che nei sistemi microscopici ci si deve confrontare con fenomeni di non località e di non

separabilità. E' però cruciale affrontare il problema a livello macroscopico. Nel passaggio dal micro al macro, infatti, si apre un acceso dibattito teorico. E gli esperimenti che teletrasportano proprietà quantistiche di singole particelle, come un fotone o un elettrone, non hanno nulla da dire su questo. Occorrerebbero degli esperimenti genuinamente quantistici su sistemi macroscopici. Lo stesso De Martini ha ipotizzato di realizzare apparati che lui chiama i 'quasi-gatti di Schroedinger', in cui si ha a che fare con milioni di costituenti. Ma siamo ancora lontani. Quello che trovo veramente importante, di questi risultati sperimentali, sono le applicazioni di carattere tecnologico".

#### **Per esempio?**

"Per esempio la possibilità di mandare messaggi cifrati che non possono venire in alcun modo decodificati o intercettati senza che il destinatario se ne accorga. Il campo è quello della crittografia quantistica, in cui è importante riuscire a conservare lo stato 'entangled' tra le due particelle correlate. Ancora più interessanti sono le applicazioni ai futuri computer quantistici, che richiederanno avanzate tecnologie sperimentali come quelle realizzate da De Martini o Zeilinger per il teletrasporto".

#### **Tornando alla non località o non separabilità, può chiarire meglio la differenza tra questi due concetti?**

"Supponiamo di fare un esperimento di correlazione tra due fotoni, in cui si voglia misurare una loro caratteristica, per esempio la direzione di polarizzazione. Prima di eseguire la misura su una delle due particelle, non è legittimo affermare che entrambi i fotoni abbiano delle proprietà definite di polarizzazione. Ma nel momento in cui faccio una misura di polarizzazione su uno dei due, l'altro acquista uno stato definito di polarizzazione. In questo si manifesta una non località, inevitabile, che non dipende dall'interpretazione, tipica della meccanica quantistica e del mondo microscopico. La particolarità emerge dal fatto che i due fotoni sono a una distanza tale che nessun segnale

luminoso riesce a passare dalla particella su cui si esegue la misura in tempo per influenzare l'altra particella. In altre parole, non avviene nessuna azione fisica tra un fotone e l'altro, eppure le due misure risultano perfettamente correlate. Non potendo ammettere che prima di fare la misura il fotone abbia già polarizzazione, in quell'esperimento sto ammettendo che il mio apparecchio di misura interagisca con il fotone e sia in grado di darmi degli esiti. E questo è un nodo concettuale importante. Ma si può postulare che anche l'interazione tra l'apparecchio e il fotone sia governata dalla meccanica quantistica. In questo caso, anche l'apparecchio non avrebbe proprietà definite e non darebbe esiti precisi. Ecco allora la non separabilità tra il fotone e l'apparecchio. Non ho più il fotone da una parte, e dall'altra l'apparecchio che registra le sue proprietà, ma posso parlare solo delle proprietà collegate e perfettamente correlate del sistema fotone più strumento di misura".

**Marta Cerù**

[HOME](#) [ARCHIVIO](#) [MULTIMEDIA](#) [FORUM](#) [MAGAZINE](#) [JOURNAL](#) [E-MAIL](#)  
[SEARCH](#) [WEBZONE](#)