

**Onda, particella,
locale, non-locale...**
l'importanza di chiamarsi "entanglement".
E dei **calzini** di Bertlmann.



The Strangest Thing (I-PHOQS in Quantum Socks)

**MAJA COLAUTTI
ANDREA MACCHI**

"Il dottor Bertlmann ama indossare calzini di colore diversi per il piede destro e per il piede sinistro. È impossibile prevedere quale colore avrà a un dato piede in un dato giorno, ma quando vediamo che il primo calzino è rosa, siamo già certi che il secondo avrà un colore diverso".

Per quanto sembri strano, nel 1980 John Stewart Bell cominciò così una conferenza sulla "Natura della realtà" mostrando come questa non fosse come appariva alla gente comune e niente di meno che... ad Albert Einstein (che non portava calzini, perché "finiscono sempre per avere dei buchi").
Ma, tanto per cominciare, perché calzini? Be' dovete sapere che Reinhold Anton Bertlmann è un professore di fisica quantistica, quindi ci si può aspettare che i suoi calzini possano essere quantistici e avere più colori... a seconda di come li guardiamo.

Avete sentito parlare di un gatto che è sia sveglio che addormentato finché finalmente non apriamo la scatola dove si è nascosto, vero?

Ecco, una cosa del genere, con la differenza che Bertlmann aveva piuttosto una fissazione per i calzini, quasi sempre rigorosamente spaiati.

Aspettate un attimo, ma stiamo dicendo che i calzini quantistici possono essere del colore che io voglio che sia?

Be', sì e no; diciamo, non proprio di tutti i colori che voglio.

Per capirlo, due giovani volpi (Alice e Bob), fresche fresche di studi di meccanica quantistica ma piuttosto confuse, si appostano come due detective, aspettano ogni giorno l'arrivo di Bertlmann e osservano i suoi calzini. Se il primo calzino è rosa, allora il secondo è sempre blu (o viceversa).

Ma questo solo se Alice e Bob scelgono che rosa e blu siano i colori da guardare.



Da sinistra John Stewart Bell, Reinhold Bertlmann, e un'illustrazione tratta da *Bertlmann's Socks & the Nature of Reality*.

Se invece *scelgono* che se il primo calzino è rosa allora il secondo debba essere o giallo o verde, allora in alcuni giorni sarà giallo e in altri verde, con eguale probabilità. Piuttosto strano, no?

Eppure gli oggetti quantistici sono fatti così: una loro proprietà osservabile (in questo caso il colore dei calzini) può assumere valori diversi, ognuno con una probabilità che dipende dalla scelta dell'osservatore.

Tecnicamente diciamo che il calzino rosa (o il blu) è in una *sovrapposizione* equiprobabile dei colori giallo e verde. Incuriosite da queste stranezze, Alice e Bob rubano i calzini quantistici di Bertlmann e separano ogni coppia in due scatole diverse, senza guardare in quale sia il rosa e quale il blu.

Poi Alice e Bob si allontanano ognuna con una scatola.

Adesso, se Alice apre la sua scatola e trova un calzino rosa, sarà certa al 100% che Bob ha un calzino blu, e viceversa: possono verificarlo ripetendo il gioco per tante coppie di calzini, annotando i risultati e poi incontrandosi per metterli a confronto.

Tecnicamente diciamo che le osservazioni di Alice e Bob sono completamente correlate.

Ma Bob ora tenta un colpo di scena e *decide* di osservare se il proprio calzino è giallo o verde, così che Alice troverebbe corrispondentemente verde o giallo.

Ma, attenzione, Alice non sa della

decisione di Bob e continua a misurare rosa o blu, pensando di conoscere con certezza il colore osservato da Bob; dal confronto scoprirà invece che rosso e blu appaiono casualmente sia che Bob osservi verde o giallo; non c'è più nessuna correlazione tra le misure. Questo accade perché Alice e Bob stanno ora eseguendo misure scegliendo colori diversi, mentre nel mondo quantistico risultati perfettamente correlati si osservano solo quando entrambi misurano la stessa proprietà guardando e scegliendo le stesse coppie di colori. Notiamo che Alice e Bob hanno ben pensato di sincronizzare l'apertura delle scatole e di allontanarsi a distanza tale che nemmeno un messaggero che viaggia alla velocità della luce possa informare Alice della scelta di Bob prima che Alice apra la scatola.

Questa strana proprietà che hanno due oggetti quantistici di mantenere una correlazione anche a distanza è detta *entanglement*, vagamente traducibile in italiano come "legame" o "intreccio".

Più precisamente, *entanglement* significa che le proprietà dei due calzini non sono indipendenti, possono essere descritte solo congiuntamente, come se i due calzini fossero un unico oggetto, seppur distinti!

Non esiste nessuna correlazione simile tra oggetti classici, ovvero tra gli oggetti della nostra vita quotidiana, quindi non preoccupatevi se vi sentite confusi!

Prima che vogliate verificare di persona infatti, dobbiamo avvertirvi che i calzini quantistici non sono in commercio;

almeno, non della vostra taglia, perché oggetti troppo grossi perdono le proprietà quantistiche. Ma è possibile rifare l'esperimento di Alice e Bob con oggetti subatomici come i fotoni o gli elettroni, sfruttando il fatto che possiedono un orientamento (detto "polarizzazione" o spin) che si comporta esattamente come il colore dei nostri calzini quantistici. Se vi sembra troppo strano, siete in ottima compagnia: Einstein rifiutò vigorosamente l'idea di "un'inquietante azione a distanza" sostenendo il *principio di località*, che implica l'impossibilità delle osservazioni di Alice e Bob di influenzarsi essendo eseguite simultaneamente in luoghi diversi. Ma Bell propose una misura, detta *disuguaglianza di Bell*, in grado di falsificare l'interpretazione di Einstein come poi confermato dagli esperimenti: la realtà è *non locale*, per quanto strano possa essere (rimane però vero che nessuna informazione può viaggiare più veloce della luce, perché Alice e Bob devono comunicare per confrontare le proprie misure).

Secondo Bell il ragionamento di Einstein era equivalente a indovinare il colore del secondo dei calzini *non* quantistici di Bertlmann, da cui la citazione iniziale. I calzini hanno trovato un buco nella teoria di Einstein!

Le stranezze degli oggetti quantistici sono legate alla loro natura *duale* di onde e di particelle: come onde possono sovrapporsi e interferire, come particelle mantengono la loro individualità di

"quanti", di "oggetti discreti".

Per "quanto" strane, queste proprietà sono alla base di nuove tecnologie. Per esempio, i fotoni possono trasportare bit di informazione (nel vuoto o lungo le fibre ottiche) codificata nella loro polarizzazione, scegliendo una coppia di stati (analoghi al rosa e blu, o al giallo e verde dei calzini quantistici). Chi volesse "intercettare" un fotone messaggero senza sapere quale coppia di stati è stata usata otterrebbe risultati casuali senza poter spiare l'informazione; questa è la base della crittografia quantistica per comunicazioni assolutamente sicure. Gli stati di sovrapposizione sono poi alla base dei computer quantistici, mentre l'entanglement consente il teletrasporto a distanza di uno stato quantistico. Si tratta di una vera e propria rivoluzione tecnologica il cui motto, parafrasandone un altro, potrebbe essere "*pensare duale, agire non locale*".

PS: prima che lo chiediate a loro, vi assicuriamo che Alice e Bob sono solo amiche, nonostante il dizionario italiano-inglese traduca entanglement come "relazione sentimentale"; il che ha generato un fraintendimento su una sedicente "equazione dell'amore", ma ne parleremo un'altra volta.

Quando Alice e Bob sono d'accordo sull'osservare rosa e blu, Alice è sempre sicura del colore trovato da Bob; se invece Bob sceglie di osservare verde e giallo all'insaputa di Alice, Alice trova rosa e blu in modo casuale e non ha alcuna certezza sul colore osservato da Bob.

