

TESTO nr. 1.

Orologio circadiano
di Alekos Simoni et al.

In molti esseri viventi, una serie di funzioni fisiologiche segue un andamento giornaliero, o ritmo circadiano, basato su un orologio biologico innato con un periodo di 24 ore. Molte piante, per esempio, regolano il movimento delle foglie o l'apertura degli stomi in funzione delle ore di luce e di buio. Negli animali, in particolare nei mammiferi, seguono un ritmo circadiano le ore di sonno e di veglia, ma anche i sistemi di regolazione della temperatura corporea e della pressione sanguigna. Il principale fattore che regola questo orologio è la luce, con l'alternanza tra giorno e notte, ma vi contribuiscono anche altri fattori, come ad esempio la temperatura. In assenza di questi stimoli sincronizzatori (per esempio in esperimenti condotti in assenza di luce) il ritmo circadiano continua ad essere presente, ma il suo periodo può assestarsi su valori diversi dalle 24 ore. Per esempio, nell'uomo, il ciclo veglia-sonno tende ad allungarsi fino a 36 ore, mentre il ciclo di variazione della temperatura corporea diventa di circa 25 ore.

Nel moscerino della frutta (*Drosophila melanogaster*) è noto che la sincronizzazione dell'orologio circadiano sui cicli di temperatura avviene grazie ai cosiddetti organi cordotonali, costituiti da cellule allungate provviste di filamenti rigidi distribuite in tutto il corpo. Queste cellule sono dei recettori meccanici che, oltre a essere coinvolti nella percezione della temperatura, hanno anche la funzione di sensori dell'attività motoria dell'insetto (propriocettori). Esse sono sensibili anche alle vibrazioni esterne e questo ha fatto ipotizzare ad Alekos Simoni e ai suoi colleghi della Queen Mary University di Londra che l'orologio circadiano possa essere influenzato anche dalle vibrazioni dell'aria causate dai rumori.

Per valutare la bontà della loro ipotesi, questi ricercatori hanno collocato una popolazione di moscerini, normalmente abituati a un'alternanza di 12 ore di luce e 12 ore di buio, in un ambiente completamente buio, a temperatura costante e silenzioso. Un gruppo di questi insetti è stato mantenuto in questa condizione per tutta la durata dell'esperimento, mentre un altro gruppo è stato successivamente esposto a cicli alternati di rumore e silenzio di 12 ore. Mentre il ciclo di attività e riposo del primo gruppo, in assenza di stimoli esterni, si è progressivamente allungato (secondo quanto già noto da precedenti esperimenti), l'orologio biologico del secondo gruppo di moscerini si è nuovamente sincronizzato ad un ciclo di 24 ore (12 ore di attività e 12 di riposo), secondo l'andamento dell'alternanza suono e silenzio. La prova che il "risveglio" dei moscerini non sia dovuto direttamente alla vibrazione ma a una reale ri-sincronizzazione dell'orologio circadiano è offerta dal fatto che la loro attività inizia poco prima della comparsa dello stimolo, proprio come avviene normalmente in natura, in cui tutti gli animali diurni iniziano a entrare in attività poco prima della comparsa della luce.

L'orologio circadiano è

- a) Un ritmo caratterizzato da un periodo di circa 6 ore
- b) Un ritmo caratterizzato da un periodo di circa 12 ore
- c) Un ritmo caratterizzato da un periodo di circa 24 ore
- d) Un ritmo caratterizzato da un periodo di 36 ore
- e) Un ritmo caratterizzato da un periodo variabile in piante e animali

Risposta esatta (indicare in parentesi la lettera corrispondente all'alternativa esatta): (c)

Oltre alla luce, tra i fattori che influenzano l'orologio circadiano c'è:

- a) la saturazione di ossigeno
- b) la temperatura
- c) l'umidità
- d) la trasparenza dell'aria
- e) l'altitudine

Risposta esatta (indicare in parentesi la lettera corrispondente all'alternativa esatta): (b)

Negli animali, l'assenza di luce per un periodo prolungato:

- a) non provoca nessuna modifica del ritmo circadiano
- b) provoca una riduzione del ritmo circadiano
- c) provoca un dimezzamento del ritmo circadiano
- d) provoca un allungamento del ritmo circadiano
- e) annulla completamente il ritmo circadiano

Risposta esatta (indicare in parentesi la lettera corrispondente all'alternativa esatta): (d)

I risultati dell'esperimento condotto dai ricercatori della Queen Mary University di Londra, per verificare se il rumore influenza il ritmo circadiano:

- a) supportano completamente l'ipotesi iniziale
- b) supportano solo parzialmente l'ipotesi iniziale
- c) mostrano che l'ipotesi iniziale è parzialmente scorretta
- d) mostrano che l'ipotesi iniziale è totalmente scorretta
- e) non sono compatibili con l'ipotesi iniziale

Risposta esatta (indicare in parentesi la lettera corrispondente all'alternativa esatta): (a)

Se nell'esperimento descritto nel testo i moscerini esposti a 12 ore di silenzio e 12 ore di rumore non avessero mostrato alcuna variazione di attività rispetto al gruppo di moscerini mantenuti in condizioni di silenzio costante, i ricercatori della Queen Mary University di Londra, avrebbero dedotto che:

- a) il loro impianto sperimentale non era corretto
- b) la loro ipotesi iniziale era completamente corretta
- c) la loro ipotesi iniziale era corretta solo in parte
- d) la loro ipotesi iniziale era in parte da rivedere
- e) la loro ipotesi iniziale era da rivedere completamente

Risposta esatta (indicare in parentesi la lettera corrispondente all'alternativa esatta): (e)

Grovigli quantistici
La meccanica quantistica alla prova
di Fabio Sciarrino

La meccanica quantistica è forse la più grande rivoluzione scientifica del secolo scorso, la cui nascita ha dato luogo a un intenso dibattito nella comunità scientifica dell'epoca e degli anni seguenti. I suoi fondamenti risalgono agli anni venti del secolo scorso, quando la teoria dei quanti si affermò come la teoria maggiormente accreditata per lo studio degli atomi. Elemento fondamentale di questa teoria è la funzione d'onda: essa contiene al suo interno tutte le informazioni dinamiche di un sistema fisico. Sulla natura della funzione d'onda si è a lungo dibattuto. In particolare nella metà degli anni venti ci si chiedeva se la meccanica quantistica fosse una teoria ontologica, ovvero se la funzione d'onda rappresentasse la realtà del mondo, o se rendesse possibile solo una lettura epistemologica, in grado di descrivere bene i risultati sperimentali e il funzionamento della natura. Infatti, il fisico danese Bohr affermava che "lo scopo della descrizione della natura non è cercare l'essenza reale dei fenomeni ma soltanto l'indagare, con la massima profondità possibile, le relazioni fra i molteplici aspetti della nostra esperienza".

Einstein non accettava il carattere intrinsecamente probabilistico della meccanica quantistica, come ben evidenziato dalla sua celebre frase "Dio non gioca a dadi". Nel 1935, Einstein, assieme a Podolsky e Rosen, (denominati poi brevemente Epr) cercò di confutare la teoria della meccanica quantistica. Essi misero in luce un paradosso, arrivando così alla conclusione che la meccanica quantistica fosse una teoria incompleta. L'elemento chiave adottato dai tre fisici per sostenere l'incompletezza della teoria quantistica era un concetto assente in fisica classica, ma in grado di descrivere perfettamente alcune correlazioni quantistiche: l'*entanglement*.

Il termine *entanglement* fu introdotto per la prima volta da Schrödinger proprio nel 1935 in un articolo in cui apparve anche il famoso paradosso del gatto. L'*entanglement* (in italiano, aggrovigliamento) consiste in una correlazione non locale tra sottoinsiemi dello stesso sistema fisico, che non ha alcun analogo classico, e che contraddice i principi di realtà e località assunti da Einstein, Podolsky e Rosen e caratterizzanti la teoria classica. Al fine di completare la meccanica quantistica fu ipotizzato che il risultato delle misure effettuate su tali sistemi quantistici (in seguito detti entangled) fosse determinato a priori da variabili nascoste locali. Secondo tale modello, la massima conoscenza dello stato del sistema si avrebbe attraverso il valore di una serie di variabili in grado di determinare con certezza l'esito di una misura. Le nostre possibilità sperimentali non consentono però di conoscere il valore assunto da queste variabili, che pertanto vengono definite "nascoste", ma di determinarne solo una distribuzione di probabilità. Il dibattito fra i sostenitori della meccanica quantistica e i "seguaci" di Epr si sviluppò nei decenni seguenti.

Nel 1964 John Bell dimostrò che una teoria a variabili nascoste non era in grado di riprodurre alcune predizioni della meccanica quantistica associate agli stati entangled. In particolare, Bell introdusse una disuguaglianza soddisfatta dalle correlazioni di due sottosistemi per qualunque teoria fisica a variabili nascoste locali e propose un metodo sperimentale, per verificare se il mondo è effettivamente realistico e locale nel senso di Epr oppure, sfruttando l'*entanglement*, è possibile confutare l'esistenza delle teorie a variabili nascoste. L'esperimento proposto si basa sulla generazione di coppie di particelle entangled, che vengono inviate a due diversi siti, chiamati per convenzione Alice e Bob.

In questi esperimenti gli stati quantistici entangled venivano generati attraverso i metodi dell'ottica non lineare e della fisica atomica, come fasci laser e nubi di atomi intrappolati. La violazione della disuguaglianza di Bell venne dunque verificata, con l'assunzione di alcune ipotesi di natura pragmatica, derivanti dalle inevitabili imperfezioni sperimentali, dimostrando così che i modelli a variabili nascoste locali non sono compatibili con le osservazioni sperimentali. Sotto tali ipotesi le predizioni della meccanica quantistica si sono rivelate corrette e hanno dato luogo allo sviluppo di una nuova branca della ricerca fisica chiamata *informazione quantistica*.

Elemento fondamentale della meccanica quantistica è la funzione d'onda, sulla cui natura si è a lungo dibattuto. In che cosa consiste questo dibattito?

- a) Ci si chiedeva se la meccanica quantistica fosse una teoria filosofica.
- b) Ci si chiedeva se la materia fosse ondulatoria.
- c) Ci si chiedeva se la funzione d'onda rappresentasse la realtà o se o se solo ne rendesse possibile una sua descrizione.
- d) Ci si chiedeva se la funzione d'onda fosse approssimabile con una funzione oscillante.
- e) Ci si chiedeva se la meccanica quantistica fosse epistemologica o antropologica.

Risposta esatta (indicare in parentesi la lettera corrispondente all'alternativa esatta): (c)

Nel dibattito sulla meccanica quantistica, quale fu la posizione di Albert Einstein?

- a) Einstein riteneva che la meccanica quantistica fosse completa e corretta.
- b) Einstein riteneva che la meccanica quantistica non fosse completa e nemmeno corretta.
- c) Einstein riteneva che la meccanica quantistica fosse un caso particolare della teoria della relatività.
- d) Einstein riteneva che la meccanica quantistica fosse corretta ma non completa.
- e) Einstein riteneva che la meccanica quantistica fosse corretta solo viaggiando alla velocità della luce.

Risposta esatta (indicare in parentesi la lettera corrispondente all'alternativa esatta): (d)

Einstein, Podolsky e Rosen misero in luce un paradosso della meccanica quantistica. Elemento chiave di questo paradosso era *l'entanglement* (il groviglio quantistico). Quale di queste affermazioni è errata?

- a) I sistemi quantisticamente "aggrovigliati" (*entangled*) non hanno analogo classico.
- b) I risultati di misure su sistemi *entangled* dipendono da variabili nascoste.
- c) *L'entanglement* consiste in una correlazione tra sottoinsiemi dello stesso sistema fisico che non ha analogo classico.
- d) *L'entanglement* consiste in una correlazione tra sistemi fisici diversi che ha un analogo classico.
- e) Il termine *entangled* fu introdotto per la prima volta da Erwin Schrödinger nel 1935

Risposta esatta (indicare in parentesi la lettera corrispondente all'alternativa esatta): (d)

Nel 1964 John Bell sviluppò un metodo per verificare se ci fosse compatibilità tra la meccanica quantistica e la teoria a variabili nascoste. In che cosa consiste questo metodo?

- a) Bell dimostrò che non esistono variabili nascoste.
- b) Bell dimostrò che la meccanica quantistica poteva fare predizioni sugli stati *entangled* che la teoria a variabili nascoste non riusciva a fare.
- c) Bell dimostrò che né la meccanica quantistica né la teoria a variabili nascoste predicevano il comportamento degli stati *entangled*.
- d) Bell dimostrò che due siti, chiamati Alice e Bob, non possono comunicare tra loro scambiandosi particelle *entangled*.
- e) Bell dimostrò che gli stati *entangled* non esistono o, se esistono, non sono quantistici.

Risposta esatta (indicare in parentesi la lettera corrispondente all'alternativa esatta): (b)

I primi esperimenti sulle particelle *entangled* risalgono agli anni '80. Quali furono i risultati raggiunti?

- a) Gli esperimenti mostrarono che non esistono le particelle *entangled*.
- b) Gli esperimenti verificarono la disuguaglianza di Bell.
- c) Gli esperimenti verificarono la violazione della disuguaglianza di Bell, sotto alcune ipotesi.
- d) Gli esperimenti verificarono che la meccanica quantistica non vale nel caso di particelle *entangled*.
- e) Gli esperimenti verificarono la violazione disuguaglianza di Bell, indipendentemente dai limiti sperimentali.

Risposta esatta (indicare in parentesi la lettera corrispondente all'alternativa esatta): (c)