

Manifestazioni quantistiche macroscopiche e Scienze Cognitive. (Una sintesi.)

S. Cavallo
Consorzio Universitario Mediterraneo Orientale (Noto)
Istituto Tecnico Industriale "E. Fermi" (Siracusa)

18 dicembre 2022

1 Una riflessione e una proposta.

Ritengo utile riflettere sui risultati di alcune ricerche di meccanica quantistica in ambito biologico. In tali ricerche emergono significative evidenze di fenomeni quantistici nella dimensione macroscopica. Le idee che scaturiscono da tali risultati si pongono alla base dello sviluppo della biologia quantistica e possono dare un contributo importante alle Scienze Cognitive.

In particolare considero importante la verifica del dualismo onda-particella in alcune misure relative a bio molecole e la verifica dell'effetto di entanglement tra batteri viventi e la luce quantizzata.

Dal punto di vista matematico, lo sviluppo vorticoso della computazione quantistica consente di formulare nuovi modelli matematici sempre pi sofisticati per lo studio e la comprensione del funzionamento cellulare, del loro comportamento e della loro interazione quantistica in ambito neuronale.

2 Dualismo onda-particella nella dimensione macroscopica di una bio molecola.

Uno dei fondamenti della meccanica quantistica é il dualismo onda particella. Ad una particella di quantità di moto (grandezza puramente meccanica):

$$p = mv$$

dove $m = \text{massa}$ e $v = \text{velocit\`a}$ \u00e9 associata una lunghezza d'onda λ (grandezza puramente ondulatoria) secondo la relazione di Planck:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

dove $h = 6.62 \times 10^{-34} J/s$ \u00e9 la famosa costante di Planck.

Fin dalla nascita della teoria e per il valore estremamente piccolo della costante di Planck il dualismo si circoscriveva nella dimensione microscopica e non era riscontrabile in una dimensione macroscopica sufficiente ad interessare la dimensione biologica.

L'avanzamento delle tecniche di interferometria nella fisica e nella chimica ha permesso di infrangere i limiti della dimensione microscopica e rilevare tale fenomeno in una bio molecola complessa.

In un recente articolo [1] sono stati pubblicati i risultati della misura onda-particella in polipeptide, prodotto dal batterio *Bacillus brevis*, costituita da 15 aminoacidi, con massa complessiva di 1882 u.m.a. corrispondenti a $3.13 \times 10^{-24} \text{Kg}$. Le molecole captate da un flusso di elio in espansione con velocit\`a di 600 m/s da un irraggiamento con impulsi laser con $\lambda = 343 \text{nm}$ emergeva un'onda di materia con $\lambda = 350 \text{nm}$.

La duplice novit\`a consiste nell'aver mostrato sperimentalmente l'interferenza onda-particella per una struttura biologica complessa. Da qui si apre una nuova possibilit\`a di estendere gli strumenti della meccanica quantistica ad una nova frontiera della biologia ovvero alla biologia quantistica.

3 Sovrapposizione ed entanglement.

Due tra i pi\u00f9 controversi principi della meccanica quantistica sono il principio di sovrapposizione e il principio di entanglement. Il primo afferma che se a un sistema fisico (una particella) si possono associare due *stati* determinati dalla funzione di stato ψ_1 e ψ_2 allora anche la loro combinazione lineare

$$\psi = \alpha\psi_1 + \beta\psi_2$$

\u00e9 uno stato del sistema.

Questa \u00e9 una conseguenza della natura lineare dell'equazione di Schr\u00f6dinger che stabilisce che se ψ_1 e ψ_2 sono possibili soluzioni allora anche

$$\psi = \alpha\psi_1 + \beta\psi_2$$

é una soluzione dell'equazione.

Il principio di entanglement stabilisce che due sistemi quantistici A e B negli stati $\psi(A)$ e $\psi(B)$ lo stato combinato in cui A e B non interagiscono, sistema AB, é descritto da ψ_{AB} :

$$\psi(AB) = \psi(A)\psi(B)$$

mentre lo stato combinato in cui A e B interagiscono si definisce stato entangled se:

$$\psi(AB) = \frac{1}{\sqrt{2}}[\psi_a(A)\psi_b(B) + \psi_c(A)\psi_d(B)] \neq \psi(A)\psi(B)$$

ed ogni misura su A determina una misura su B e viceversa, indipendente dalla posizione; violando il principio di localitá che stabilisce che una misura su A e B dipende solo dalla loro posizione.

Questo principio costituisce uno dei dilemmi della meccanica quantistica. Recentemente sono stati eseguiti vari esperimenti che ne confermano la validitá anche nella dimensione macroscopica. Tra i vari lavori ne cito due tra i piú affascinanti:

- la misura della polarizzazione di fotoni entangled emessi da sorgente astronomica con una precisione di $p \leq 7.8 \times 10^{-21}$ [2]
- la generazione di entanglement quantistico tra oggetti macroscopici attraverso la condivisione di un singolo fotone.[3]

Affascinanti per due differenti motivi. Il primo per aver scelto di utilizzare una sorgente non influenzabile poiché posta a distanza astronomica. Il secondo perché non si é limitato a rilevare l'effetto ma costruire un metodo per implementare l'entanglement con tecnologie piú semplici rispetto a quelli finora sperimentati nei computer quantistici.

4 L'ultimo passo: l'entanglement e gli esseri viventi.

Fin dalla nascita della meccanica quantistica si é posta la questione: come i suoi paradigmi, cosí lontani dal senso comune, intervengono nei processi degli esseri viventi.

Lo stesso E. Schrödinger pose la questione in un famosissimo volumetto "What is life? The Physical Aspect of the living Cell." [4]

La questione é come fenomeni quantistici possano intervenire nei processi cellulari? E con quali effetti e quale intensità?

Recentemente é stata proposta l'interpretazione quantistica dell'intervento dell'entanglement in un esperimento con un batterio.[?] Nel lavoro citato viene costruito un modello quantistico basato sull'entanglement per spiegare l'interazione tra la luce e un batterio che interviene nel processo della fotosintesi.

5 L'ipotesi Penrose. La Meccanica Quantistica e la mente.

La ricerca procede anche dal punto di vista teorico. In questa breve nota va incluso il poderoso lavoro teorico del matematico e fisico teorico R. Penrose, premio Nobel e Professore di un altro grande fisico S. Hawking. Tra i vari lavori di Penrose va citato la straordinaria e avveniristica ipotesi dell'entanglement nell'interazione neuronale delle cellule cerebrali. [5] Nell'articolo gli autori propongono una rivisitazione di una precedente ipotesi sulla natura della "coscienza" come il risultato di una complessa correlazione quantistica delle attivit neuronali e sinaptiche di membrana. Gli autori, poi, avanzano

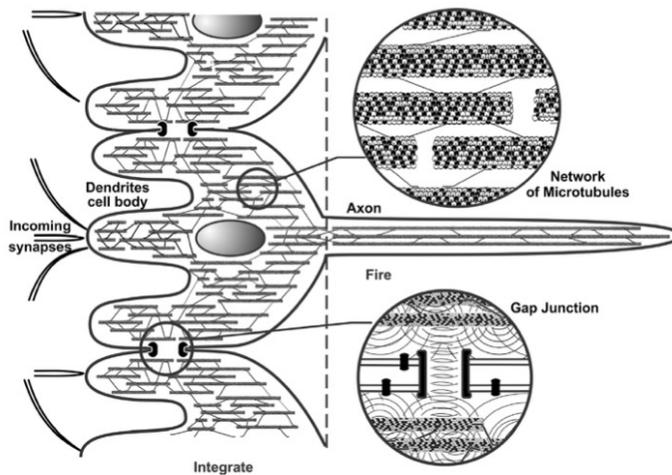


Figura 1: S. Hameroff, R. Penrose. Integrate-and-fire brain neuron. In Consciousness in the universe A review of the Orch OR theory.

l'ipotesi di una connessione tra *i processi molecolari del cervello e la struttura di base dell'universo*.

Questo esula un pó dal nostro scopo. Qui é interessante segnalare, naturalmente, l'énfasi posta al ruolo fondamentale del meccanismo di funzionamento della membrana cellulare e della correlazione quantistica nella rete dei neuroni.

A tal fine e per concludere é utile mostrare l'evoluzione del modello fisico di tale meccanismo:

1. il modello fisico semplicistico RC dello scambio ionico che già si studia nei normali corsi di fisica elementare in cui il meccanismo è rappresentato da una semplice equazione differenziale:

$$q(t) + \alpha \dot{q}(t) + \beta v = 0$$

dove α, β sono grandezze legate alla resistenza e capacità, del frammento infinitesimale di membrana che rappresenta la specifica la pompa ionica e $q(t)$ e v la carica scambiata e il potenziale di membrana;

2. il modello RCL in cui si introduce un effetto di memoria, legato a precedenti variazioni dello stato di polarizzazione della membrana, rappresentato dall'equazione differenziale:

$$q(t) + \alpha \dot{q}(t) + \gamma \ddot{q}(t) + \beta v = 0$$

con lo stesso significato dei simboli e con γ che include parametri di induttanza.

3. l'evoluzione della computazione quantistica e la tecnologia fotonica stanno consentendo di sviluppare modelli quantistici con cui includere l'entanglement nel funzionamento di reti neurali con cui studiare la biologia del cervello.

6 Conclusione.

Nella sintesi ho evidenziato il percorso, e il travaglio, fisico con cui é possibile ed utile introdurre elementi della meccanica quantistica negli studi di Scienze Cognitive. La natura duale onda particella anche di strutture cellulari complesse induce un comportamento quantistico ondulatorio. Da questo comportamento può scaturire la correlazione quantistica di cui l'entanglement ne é macroscopica evidenza e che può essere posto alla base dello studio di complessi processi cognitivi (la coscienza, il linguaggio ed altro).

Riferimenti bibliografici

- [1] Shayeghi A., Rieser, P., Richter, G. et al. "Matter-wave interference of a native polypeptide." Nat Commun 11, 1447 (2020)
- [2] Donik Rauch , et al. "Cosmic Bell Test Using Random Measurement Settings from High-Redshift Quasars." PHYSICAL REVIEW LETTERS 121, 080403 (2018)
- [3] N. Biagi ed al."Entangling Macroscopic Light States by Delocalized Photon Addition," PHYSICAL REVIEW LETTERS 124, 033604 (2020)
- [4] E. Schrödinger "What is life? The Physical Aspect of the living Cell."Cambridge University Press (1944) bibitemMarletto C Marletto et al 2018 J. Phys. Commun. 2 101001
- [5] Stuart Hameroff, Roger Penrose Review Consciousness in the universe A review of the Orch OR theory Physics of life Review 11 (2014) 39-78.