



con la partecipazione di **FEDERICO FAGGIN**

16 Aprile 2018

Aula I. Nievo Palazzo del Bo
Università di Padova



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



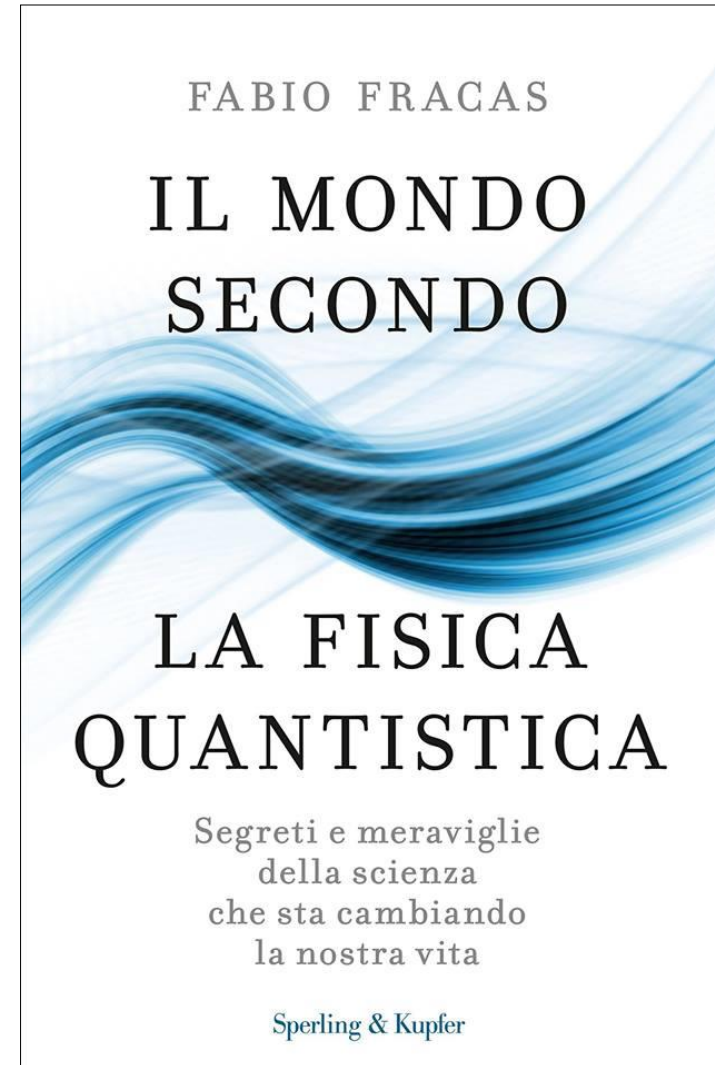
DIPARTIMENTO DI PSICOLOGIA GENERALE

**Science
of Consciousness**



Il mondo secondo la Fisica Quantistica

Fabio Fracas





Fisica Quantistica e Coscienza

Il possibile contributo della fisica quantistica allo studio della coscienza si articola in due diversi ambiti:

1. l'ipotesi che alla base della coscienza e della «mente» vi siano meccanismi fisici quantistici e proprietà di tipo quantistico;
2. la possibilità che i paradigmi e le logiche della fisica quantistica consentano nuove interpretazioni sul funzionamento del pensiero e della coscienza.



Fisica Quantistica e Coscienza

La prima ipotesi rimane tuttora da investigare. Accanto a recenti acquisizioni che ne suggeriscono la validità, non vi sono ancora conferme chiare e definitive su una fisiologia quantistica della coscienza.

La seconda ipotesi non richiede che vi siano fenomeni quantistici nei neuroni. Quest'ultimo è un argomento di natura essenzialmente epistemologica: l'approccio quantistico costituisce infatti una sfida alla struttura del pensiero classico e alla costituzionale incapacità del materialismo di includere la coscienza e la psiche nel mondo.



Una premessa

Il problema degli eventuali aspetti quantistici della coscienza è molto difficile da affrontare perché l'ordine di grandezza dei fenomeni comunemente investigati in biologia si presta bene ad essere studiato in termini classici.

Ciò non esclude il possibile ruolo di fenomeni quantistici nei processi fisiologici e patologici, anche se questi stessi processi risultano molto complessi da studiare per una lunga serie di ragioni.



Alcune criticità

1. Gli studi in ambito biologico devono essere condotti su esseri viventi, con tutte le limitazioni sperimentali che questo comporta.
2. Il cervello è un organo di estrema complessità sia anatomica sia funzionale e la sua fisiologia è solo parzialmente conosciuta. Questi motivi rendono ancora più difficile isolare e riconoscere l'eventuale contributo di singole componenti quantistiche.
3. Il problema critico rimane la comprensione della relazione tra mondo dei quanti e mondo classico: se e come, ciò che avviene a livello atomico e subatomico secondo le leggi della fisica quantistica può tradursi o meno in un comportamento a livello dei neuroni e dei circuiti cerebrali.

Concetti fondamentali

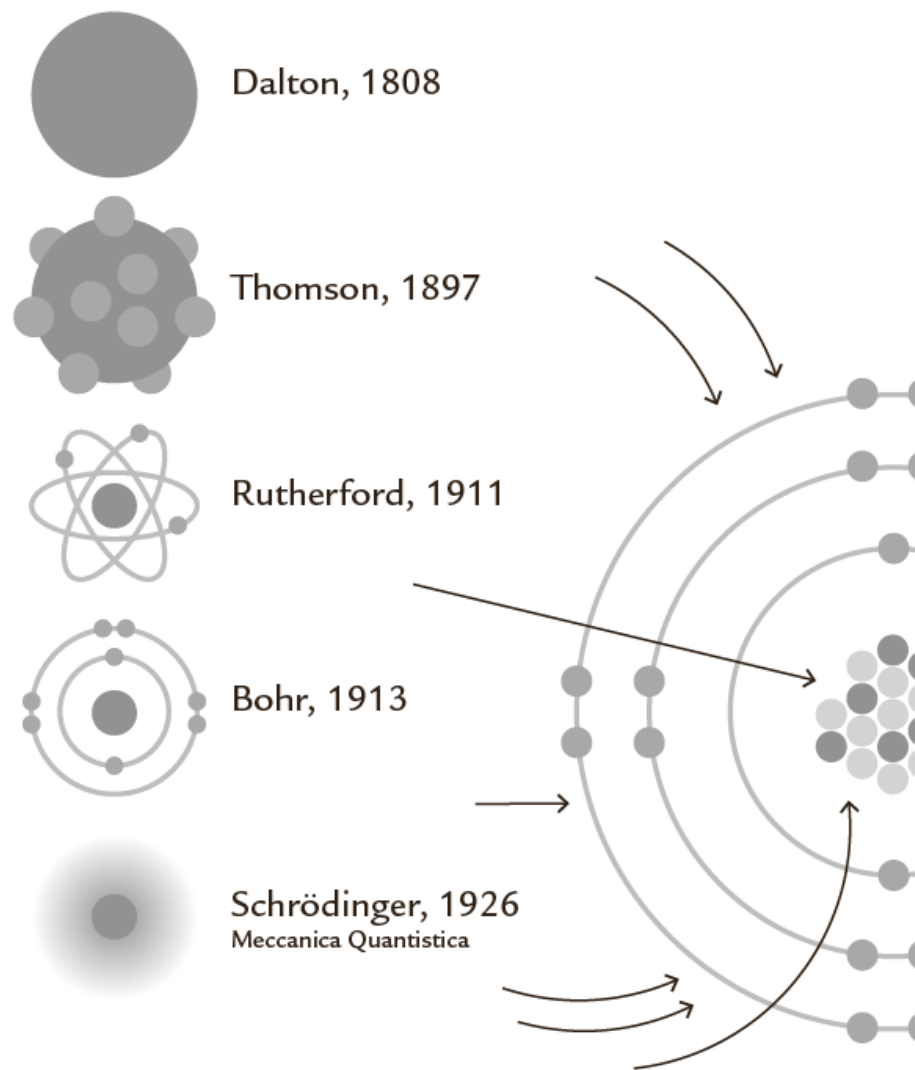


Figura 8. L'evoluzione del modello atomico.



Concetti fondamentali

Collasso della funzione d'onda: sappiamo che a ogni particella quantistica, a causa della dualità onda-corpuscolo, è associata una funzione d'onda. Quando una particella si muove liberamente senza essere osservata, è come se si «dissolvesse» in una sovrapposizione di onde di probabilità.

In pratica, quella particella, nello stesso momento è potenzialmente presente in più luoghi differenti di una stessa regione dello spazio. Questo concetto, per esempio, è insito nella definizione degli orbitali degli elettroni.

Se, però, facciamo una misurazione, ciò che otteniamo sperimentalmente è un unico risultato e non una serie di risultati possibili. È come se la funzione d'onda associata alla particella «collassasse» nel momento della misurazione, consentendoci di individuare la particella stessa.



Concetti fondamentali

Decoerenza: da un altro punto di vista, considerando l'interazione fra il sistema quantistico e l'ambiente esterno, possiamo anche dire che la funzione d'onda evolve nel tempo solo verso alcuni degli stati possibili: quelli più probabili e non sovrapposti. Cioè, verso gli stati che coincidono con i valori definiti dalle misurazioni.

Per spiegare perché ciò avvenga dobbiamo introdurre il concetto di decoerenza. Considerando la dinamica degli stati fisici come se questi risultassero non isolati, l'evoluzione della funzione d'onda avviene in maniera tale da far sì che la probabilità relativa al verificarsi degli stati che risultano sovrapposti tenda a zero. In questo modo, gli unici stati possibili, quelli dove avverranno le misurazioni, saranno proprio quelli non sovrapposti.



Concetti fondamentali

Tutto ciò però vale solo per i sistemi quantistici ai quali può essere applicato il **Principio di Sovrapposizione degli Stati**, formulato da Erwin Schrödinger nel 1926 e che può essere semplificato in questi termini: due o più stati quantistici possono essere sovrapposti fra loro, e il risultato ottenuto sarà ancora uno stato quantistico valido.

Analogamente, ogni stato quantistico può essere rappresentato come la sovrapposizione di due e o più stati quantistici. Anche se può sembrare un'affermazione scontata, il Principio di Sovrapposizione degli stati non si può applicare a sistemi macroscopici come quelli che costituiscono la nostra realtà. Di conseguenza, anche i concetti di collasso della funzione d'onda e di decoerenza perdono di significato una volta usciti dalla scala atomica o subatomica.



Una riflessione generale

Ciò premesso, è necessario osservare che, se la struttura intima della materia a livello atomico e subatomico è di natura quantistica, non c'è ragione, in linea di principio, per ritenere a priori che i fenomeni regolati dalla meccanica quantistica non possano avvenire anche negli esseri viventi e nelle condizioni ambientali della loro fisiologia.

Il problema è piuttosto se questi fenomeni siano biologicamente significativi: ossia se siano in grado di influenzare alcune funzioni biologiche al punto tale che queste risultino meglio comprensibili con le leggi e i paradigmi della fisica quantistica.



Meccanismi quantistici biologici

Nel mondo biologico c'è un ruolo per i meccanismi quantistici (Lambert et al., 2013; Bordonaro & Ogryzko, 2013; Brookes, 2017; Melkikh & Khrennikov, 2015); quelli meglio conosciuti riguardano:

1. La fotosintesi nei batteri e nelle piante;
2. l'olfatto;
3. l'orientamento nelle specie migratorie e in alcuni animali non migratori.



Meccanismi quantistici biologici

Nella fotosintesi delle piante e dei batteri l'energia luminosa, sotto forma di fotoni, viene assorbita dalle antenne proteiche dei clorosomi come eccitazione elettronica. Da lì viene trasportata ai complessi proteina-pigmento nel centro di reazione dove viene convertita in un'energia chimica più stabile con meccanismi diversi specifici per ogni specie.

Essi si comportano quindi come macchine termiche quantistiche in grado di convertire i fotoni ad alta energia in un flusso di elettroni a bassa entropia (Dorfman et al., 2013). Tali sistemi di trasporto e conversione sono molto efficienti, riuscendo a mantenere la coerenza quantistica e a trasferire così l'energia di eccitazione di pressoché tutti i fotoni assorbiti. Questi fenomeni di coerenza avvengono a temperatura ambiente e sono compatibili con la vita biologica.



Meccanismi quantistici biologici

Gli uccelli migratori sono dotati di specifici fotorecettori dell'occhio, in grado di rilevare l'angolazione del campo magnetico ed essere utilizzati come bussole magnetiche (Gould, 2015; Ritz et al., 2000) con modalità che consentono di stabilire sia la direzione di navigazione sia la posizione relativa degli uccelli stessi.

Il meccanismo, dipendente dalla lunghezza d'onda della luce, consente di distinguere il polo dall'equatore piuttosto che il nord dal sud (Heyers et al., 2017), mentre i recettori sembrano di due tipi: uno retinico fotosensibile collegato al sistema della bussola e l'altro associato alla branca oftalmica del nervo trigemino, sensibile a variazioni del campo magnetico (Beason, 2005; Mouritsen & Hore, 2012).



Meccanismi quantistici biologici

La magnetorecezione luce-dipendente della retina aviaria è probabilmente mediata dai criptocromi della retina (flavoproteine sensibili alla luce blu) ed è sensibile alla polarizzazione della luce (Muheim et al., 2016).

Il funzionamento della bussola magnetica è invece basato su processi chimici in cui sono coinvolti gli spin delle coppie di radicali liberi, in particolare il loro stato di singoletto o di tripletto. Una volta attivati dalla luce i criptocromi entrano in un ciclo redox in cui si formano coppie di radicali generati durante la foto-riduzione seguiti dalla riossidazione luce indipendente; quest'ultima consentirebbe l'orientamento anche negli intervalli di oscurità (Wiltschko et al., 2016).



Meccanismi quantistici biologici

La bussola magnetica è stata descritta anche nei rettili, negli anfibi, nei crostacei e in alcuni insetti, come la *Drosophila melanogaster* (il moscerino della frutta), le mosche e gli scarafaggi.

Gli anfibi sono in grado di utilizzare la bussola sia di giorno sia nelle condizioni di luce notturne ma non nel buio totale (Phillips et al., 2010). Esperimenti in vitro su criptocromi purificati di *Drosophila melanogaster* dimostrano un trasferimento di elettroni foto-indotto da variazioni del campo magnetico di pochi millitesla, ma gli autori suggeriscono che in vivo la sensibilità al campo magnetico possa essere nettamente superiore (Sheppard et al., 2017).



Meccanismi quantistici biologici

Alcuni complessi di batteri fotosintetici, sottoposti a stimolazione laser, mostrano proprietà di entanglement quantistico (Melkikh & Khrennikov, 2015).

Nei processi biologici sembra implicato l'effetto tunnel: un effetto quanto-meccanico, non previsto nella fisica classica, che consente alle particelle di superare barriere energetiche dalle quali risulterebbero altrimenti respinte. Il tunneling è intimamente legato al concetto di sovrapposizione onda-particella, al principio di indeterminazione di Heisenberg e alla soluzione della funzione d'onda di Schrödinger.



Meccanismi quantistici biologici

Il tunneling consente un percorso sufficientemente lungo da consentire la catalisi di enzimi e i fenomeni redox nelle proteine delle catene respiratorie (i centri redox di queste ultime sono separati da distanze dell'ordine di 15-30 Å), mentre il trasferimento degli elettroni lungo i percorsi codificati dalle strutture proteiche e i loro siti intermedi gioca un ruolo importante nella respirazione e nella fotosintesi, consentendo il loro funzionamento e soprattutto la loro elevata efficienza (Lambert et al., 2010, 2013).



Teorie quantistiche della coscienza

Ipotesi relative a singoli e specifici eventi quantomeccanici neuronali:

1. i fenomeni di tunneling nel rilascio di neurotrasmettitori a livello presinaptico (Beck & Eccles, 1992; Beck, 1996);
2. gli spin a livello delle membrane e delle proteine cellulari (Hu & Wu, 2004);
3. I fenomeni quantomeccanici a livello dendritico nei canali del calcio e dei recettori del N-metil-D-aspartato (Woolf, 1999);
4. lo stato di sovrapposizione e successiva riduzione oggettiva (OR) a livello dei microtubuli dei neuroni (Hameroff, 2001, Hameroff & Penrose, 2014).



Teorie quantistiche della coscienza

Ipotesi psicologiche, di matrice junghiana, che si articolano in tre modi diversi, ponendo:

1. un parallelismo tra la relazione inconscio/coscienza e proprietà quantomeccaniche/classiche (Galli Carminati & Martin, 2008; Martin et al., 2010);
2. una relazione tra inconscio collettivo e l'interpretazione di Everett del multiverso (Mensky, 2013);
3. una relazione tra eventi quantomeccanici e sincronicità (Keutzer, 1984; Germaine, 1991).



Teorie quantistiche della coscienza

Ipotesi sulla non-località della coscienza, in termini sia di entanglement tra individui diversi, sia di una vera e propria coscienza extracerebrale (Taneichi, 2015; Thaheld, 2004b, 2005, 2010; Wackermann et al., 2003; Walach & Romer, 2000; Walach, 2005).



Teoria Orch-Or

La Teoria Orch-Or nasce – originariamente come Teoria Or – nel 1989 e nella forma di un'intuizione non suffragata da evidenze sperimentali.

Nel volume *La mente nuova dell'imperatore*, [Roger Penrose](#) proponeva l'ipotesi che il funzionamento del cervello non fosse guidato da algoritmi logici o formali, appartenenti alla fisica classica, bensì da processi quantistici legati al collasso della funzione d'onda. Contemporaneamente, Penrose proponeva anche la nuova definizione di «riduzione obiettiva» per indicare come il momento del collasso dipendesse da fattori concreti legati al rapporto fra la massa e l'energia degli oggetti coinvolti nel processo. In riferimento alla coscienza, la riduzione obiettiva di Penrose proponeva che la determinazione degli stati che subivano il collasso avvenisse in maniera casuale e fosse influenzata anche dalla geometria dello spazio-tempo.



Teoria Orch-Or

All'iniziale formulazione della teoria – considerata fantasiosa da molti ricercatori – diede un determinante contributo il medico anestesista americano [Stuart Hameroff](#), che propose a Penrose, come probabili siti neurologici attivi nell'elaborazione quantistica, le strutture microtubolari presenti nei neuroni.

I microtubuli, infatti, sono una delle componenti strutturali del citoscheletro neuronale, e sono i principali componenti dell'apparato di trasporto neuronale a lunga distanza. Questa loro caratteristica, in base agli studi di Hameroff, li rendeva i candidati ideali per la concretizzazione dell'intuizione di Penrose.



Teoria Orch-Or

Dagli studi congiunti dei due scienziati, nel 1994, venne realizzata la pubblicazione *Ombre della mente* contenente l'attuale definizione della Teoria Orch-Or. In essa, il termine «orchestrato» fa riferimento al fatto che i microtubuli esercitino fra loro un'influenza reciproca e come in un'orchestra ben diretta, risultino contemporaneamente influenzati dalle attività classiche legate alle sinapsi neuronali.

la teoria di Penrose e Hameroff è stata confutata dal fisico e cosmologo svedese [Max Erik Tegmark](#) che ha calcolato il lasso di tempo delle dinamiche rilevanti sia per le normali scariche neuronali sia per il trasporto dei segnali nei microtubuli, scoprendolo più lento del tempo di decoerenza di almeno 10 miliardi di volte. Una differenza enorme che riporterebbe i processi relativi alla coscienza dalla scala quantistica alla scala classica.



Teoria Orch-Or

Attualmente esiste un unico studio che testimonia la presenza di attività di tipo quantistico all'interno dei microtubuli ma non è ritenuto sufficiente a suffragare l'ipotesi di una completa Teoria della Coscienza Quantistica così come la Teoria Orch-Or viene presentata.

Questo studio, realizzato nel 2013 dall'équipe del ricercatore [Anirban Bandyopadhyay](#) dell'Istituto Nazionale di Scienza dei Materiali di Tsukuba, in Giappone, ha comunque aperto un interessante confronto sull'ipotesi di Penrose e Hameroff suggerendo, inoltre, che il comportamento elettromagnetico mostrato dai microtubuli potrebbe renderli simili, da un punto di vista funzionale, a dei chip di memoria neurale.



Teoria Orch-Or

Anche i risultati di Max Erik Tegmark sono stati criticati. L'errore contestato a Tegmark è quello di aver scelto per i propri calcoli un modello di semplice diffusione degli ioni attraverso una membrana permeabile, invece di considerare la reale struttura biologica dei canali ionici cellulari, compresa la loro selettività e la loro elevata efficienza.

Un recente studio di [Vahid Salari](#) su un modello di diffusione più vicino a quello dei canali ionici cellulari ha stimato tempi di decoerenza dell'ordine di 10^{-12} secondi. Tempi molto simili a quelli indicati da Tegmark e che pur se non direttamente compatibili con i periodi della fisiologia del neurone, sono tuttavia sufficientemente lunghi da poter lasciare una traccia con funzione d'onda altamente delocalizzata sull'intera struttura del canale ionico.



Teoria Orch-Or

In tal modo, anche se il microtubulo in sé non rappresentasse la sede della coscienza, i processi quantistici che avverrebbero al suo interno potrebbero modificare le condizioni di base da cui il processo della coscienza si sviluppa, condizionando la sua genesi e i suoi contenuti.

Bisogna considerare inoltre che i microtubuli, come recentemente dimostrato, risultano direttamente implicati nella memoria e nell'apprendimento e che vengono precocemente alterati nella demenza di Alzheimer. Questi due aspetti costituiscono un indizio suggestivo per un eventuale ruolo dei microtubuli nella coscienza. Un ruolo che, se confermato, aprirebbe interessanti prospettive di studio nella ricerca di nuove terapie dei disturbi cognitivi.



Modello quantistico della mente

Il paradigma della fisica quantistica, per quanto controintuitivo, sembra spiegare meglio dell'approccio classico alcuni aspetti cognitivi, come la probabilità di prendere decisioni in situazioni incerte o conflittuali (Bruza et al., 2015; Gonzalez & Lebiere, 2013; Wang et al., 2013).

I modelli classici delle leggi di probabilità rimangono certamente validi ma in queste specifiche situazioni sembrano piuttosto deboli, mentre i modelli derivati dalla fisica quantistica promettono di essere più affidabili e di essere in grado di interpretare meglio i processi decisionali che vi sono sottesi.



Modello quantistico della mente

Il modello della cognizione quantistica, che origina dalla teoria della probabilità sviluppata in fisica quantistica, ma non richiede alcun evento fisico di natura quantomeccanica nel cervello. Il suo principale vantaggio è quello di funzionare anche nelle situazioni in cui non c'è una congiunzione logica tra gli eventi e i risultati si dimostrino dipendenti dall'ordine in cui questi si succedono.

Questo si verifica quando si deve operare una scelta in condizioni di incertezza tra due eventi incompatibili, ossia tali da non consentire di essere considerati contemporaneamente e da far sì che la loro comprensione richieda un cambiamento del punto di vista.



Modello quantistico della mente

Studi condotti sembrano dimostrare una maggiore corrispondenza alla realtà dell'approccio quantistico.

Wang et al. (2014) hanno analizzato in dettaglio i risultati di tre diversi exit poll americani che ponevano le stesse domanda in ordine invertito a due gruppi randomizzati di intervistati.

1. Nel primo poll veniva chiesto a un gruppo se Bill Clinton era onesto e affidabile e poi se Al Gore era onesto e affidabile, mentre al secondo gruppo veniva chiesto prima se Al Gore era onesto e affidabile e poi se Bill Clinton era onesto e affidabile.



Modello quantistico della mente

2. Nel secondo poll veniva chiesto con lo stesso metodo se i bianchi detestano i neri e se i neri detestano i bianchi.
3. Nel terzo poll veniva analogamente chiesto se Pete Rose dovesse o meno essere incluso nell'albo d'onore del baseball e se Joe Jackson dovesse o meno essere incluso nell'albo d'onore del baseball.

I risultati dimostravano una significativa differenza nei due gruppi di ciascun poll, in relazione all'ordine con cui venivano poste le domande.



Modello quantistico della mente

La discrepanza dei risultati indica una significativa divergenza tra il modo di ragionare e la teoria classica delle probabilità ed è stata chiamata fallacia della congiunzione. È anche possibile, però, che testimoni una diversa concezione probabilistica di matrice quantistica. Quindi, più che irrazionale in sé, riflette probabilmente una diversa interpretazione della razionalità (Pothos et al., 2017): nel formulare la seconda risposta si tiene conto di quella già data e delle prospettive che derivano dalle informazioni e decisioni precedenti, modificando dinamicamente il percorso decisionale.

L'approccio quantistico è stato applicato con successo, oltre che all'analisi delle decisioni, a un'ampia gamma di fenomeni cognitivi, dalla percezione, alla memoria, all'inconscio, ai giochi (Atmanspacher & Filk, 2013; Khrennikov, 2015; Pothos & Busemeyer, 2009; Nelson et al., 2013).



Modello quantistico generale

A conclusione di questa veloce carrellata, dove ognuno degli aspetti trattati meriterebbe un ulteriore approfondimento, rimane un'ulteriore domanda da porsi.

Se le logiche quantistiche, nel senso più ampio, permeano la natura stessa della materia e forse la struttura del pensiero e del cervello – anche nei suoi aspetti materiali e biologici – potrebbero avere un riflesso a livello ancora più «ampio» e quindi su scale di grandezza cosmologica?



Il mondo secondo la Fisica Quantistica

Fabio Fracas

Grazie per
l'attenzione

