

Un modello sintropico della coscienza

Antonella Vannini

Abstract

Nell'introduzione di *La mente cosciente* David Chalmers distingue due diversi problemi inerenti lo studio della coscienza: *l'Easy problem*, che comprende tutte quelle spiegazioni della coscienza e dei meccanismi neurali ad essa relativi che si basano sui principi della fisica classica, ma che non riescono a dar ragione dell'esperienza soggettiva della coscienza (*coscienza fenomenica*); *l'Hard problem*, che è relativo alla spiegazione degli aspetti qualitativi e soggettivi dell'esperienza cosciente, che sfuggono ad un'analisi fisicalista e materialista.

Questo paper inizia con la descrizione di tre modelli della coscienza fondati sui presupposti della fisica classica, e cioè il modello proposto da Antonio Damasio, quello di Gerald Edelman e Giulio Tononi ed, infine, il modello proposto da Francisco Varela. Questi modelli sembrano collocarsi su un continuum localizzazionista: il modello di Damasio cerca di individuare gli specifici siti neurali nei quali è collocata la coscienza, quello di Edelman vede la coscienza come un processo globale coinvolgente tutto il cervello e, infine, il modello di Varela considera la coscienza come una qualità distribuita in tutto l'organismo, in particolare nella sua interazione con l'ambiente. Terminata l'analisi dei modelli "classici", si passa poi all'analisi dei modelli quantistici della coscienza, basati su presupposti diversi da quelli della fisica classica. Applicando come criteri di selezione dei modelli quantistici la loro falsificabilità sperimentale e la loro compatibilità con le caratteristiche dei sistemi biologici, si è giunti a selezionare, ai fini della verifica sperimentale, due soli modelli, quello proposto da Luigi Fantappiè e quello di Chris King. E' da notare che questi due modelli hanno la peculiarità di unire la meccanica quantistica con la relatività ristretta.

Introduzione

Nell'introduzione di *La mente cosciente* David Chalmers (Chalmers, 1996) afferma che:

“La coscienza è il più grande dei misteri. E’ forse il maggiore ostacolo nella nostra ricerca di una comprensione scientifica dell’universo. Pur non essendo ancora complete, le scienze fisiche sono ben comprese, e le scienze biologiche hanno rimosso molti degli antichi misteri che circondavano la natura della vita. Sebbene permangano lacune nella comprensione di questi campi, esse non paiono tuttavia intrattabili. Abbiamo un’idea di come potrebbe configurarsi una soluzione a questi problemi; abbiamo solo bisogno di aggiustare i dettagli. Molti progressi sono stati compiuti anche nella scienza della mente. Il lavoro recente nell’ambito della scienza cognitiva e delle neuroscienze ci ha portato a una migliore comprensione del comportamento umano e dei processi che lo guidano. Certo non disponiamo di molte teorie dettagliate della cognizione, ma la conoscenza dei dettagli non può essere troppo lontana. Invece, la coscienza continua a lasciare perplessi, come è sempre avvenuto. Sembra ancora completamente misterioso che i processi che causano il comportamento debbano essere accompagnati da una vita interiore soggettiva. Abbiamo buone ragioni di credere che la coscienza nasca da sistemi fisici come i cervelli, e tuttavia non abbiamo alcuna idea di come abbia origine, o del perché essa esista. Come può un sistema fisico come il cervello essere anche un soggetto di esperienza? Perché dovrebbe esserci un qualcosa di simile a un tale sistema? Le teorie scientifiche contemporanee difficilmente toccano le questioni realmente difficili relative alla coscienza. Non solo non disponiamo di una teoria dettagliata, ma siamo completamente all’oscuro di come la coscienza si concili con l’ordine naturale.”

Chalmers individua e distingue due diversi problemi inerenti lo studio della coscienza:

- **Il problema facile** (*easy problem*), che è relativo all’individuazione di modelli neurobiologici della coscienza. Considerati gli enormi progressi della ricerca in campo neuroscientifico, infatti, è relativamente semplice, dal punto di vista teorico, trovare correlati neurali dell’esperienza cosciente. I problemi facili sono sostanzialmente riconducibili al funzionamento del cervello nella decodifica degli stimoli sensoriali e percettivi, nella elaborazione delle informazioni tese

al controllo del comportamento, nei meccanismi dell'intelligenza e della memoria, nella capacità di produrre resoconti verbali, ecc.

Tuttavia, questo approccio alla coscienza, secondo Chalmers, non spiega affatto il carattere soggettivo ed irriducibile che essa ha per il soggetto cosciente, in una parola tale approccio non è in grado di risolvere il problema della *coscienza fenomenica*.

- **Il problema difficile** (*hard problem*) che è relativo alla spiegazione degli aspetti qualitativi e soggettivi dell'esperienza cosciente, che sfuggono ad un'analisi fisicalista e materialista.

Chalmers afferma che “Il problema difficile (*the hard problem*) della coscienza è il problema dell'*esperienza*. Quando noi pensiamo o percepiamo, c'è un'enorme attività di elaborazione dell'informazione, ma c'è anche un aspetto soggettivo. Per dirla con Nagel, *si prova qualcosa* a essere un organismo cosciente. Questo aspetto soggettivo è l'esperienza.” (Chalmers, 1995)

Secondo Chalmers, i problemi semplici sono semplici proprio in quanto tutto ciò di cui si ha bisogno è di individuare il meccanismo che consente di risolverli, rendendoli in questo modo compatibili con le leggi della fisica classica. Il problema della coscienza si distingue però dai problemi semplici in quanto anche se tutte le funzioni principali fossero spiegate in base a processi di causa-effetto, non si giungerebbe comunque a spiegare la coscienza come *esperienza soggettiva*.

Nel corso degli anni '30, mentre la psicologia era dominata dal comportamentismo che non reputava la coscienza un oggetto adeguato di indagine scientifica, le più importanti interpretazioni della meccanica quantistica facevano riferimento proprio alla coscienza per spiegare le peculiarità del mondo subatomico. Ad esempio, secondo l'interpretazione di Copenhagen la funzione d'onda collassa in una particella solo quando si opera un atto cosciente di osservazione, di misurazione del sistema sotto osservazione. Secondo questa ipotesi, la coscienza stessa crea la materia e non viceversa.

In un lavoro precedente (Vannini 2007) i modelli quantistici vengono raggruppati in base a 3 criteri di classificazione, al fine di valutarne la falsificabilità:

1. modelli che collocano la coscienza nella posizione di un principio primo dal quale discende la realtà;
2. modelli che fanno discendere la coscienza dalle proprietà indeterministiche e probabilistiche del mondo quantistico;
3. modelli che individuano nella MQ un principio d'ordine dal quale discendono e si organizzano le proprietà della coscienza.

Nei modelli quantistici che rientrano nella prima categoria è possibile rinvenire una tendenza alla "deriva mistica". Questi modelli si rifanno, in modo più o meno esplicito, all'interpretazione di Copenhagen e sfuggono, per definizione, alla verifica sperimentale, in quanto fanno discendere i loro assunti dal fatto che la coscienza stessa si pone a monte della realtà osservata e la determina. In questo senso, i modelli che rientrano nella prima categoria potrebbero essere considerati non tanto dei modelli della coscienza, quanto piuttosto dei modelli che cercano di spiegare l'emergere della realtà osservabile da processi panpsichisti. Non a caso, gli stessi autori di questi modelli fanno esplicito riferimento al concetto di *panpsichismo*, termine che designa l'insieme delle dottrine filosofiche che attribuiscono a tutta la realtà materiale proprietà e attributi psichici.

Per quanto riguarda i modelli rientranti nella seconda categoria, anch'essi si pongono al di là della falsificabilità, in quanto partono dall'assunto che la coscienza risieda in un dominio non osservabile con le attuali tecnologie della ricerca, come ad esempio i processi che avvengono a scale di misura al di sotto della costante di Planck.

Infine, i modelli che rientrano nella terza categoria e che si basano sulla ricerca, in natura, di un principio di ordine che possa giustificare le proprietà della coscienza, si richiamano prevalentemente a principi e fenomeni che hanno già portato alla realizzazione di interessanti applicazioni in campo fisico (come, ad esempio, i condensati di Bose-Einstein, i superconduttori e il laser). Questo fa in modo che tali modelli possano essere più facilmente tradotti in ipotesi operative da verificare in campo sperimentale.

Al criterio della falsificabilità, appena discusso, va aggiunto un secondo criterio relativo alla compatibilità del modello con le caratteristiche tipiche dei sistemi biologici. Ciò in quanto i principi di ordine rinvenuti nella terza categoria propongono soluzioni spesso palesemente incompatibili con le caratteristiche dei sistemi viventi, come, ad esempio, la presenza nel cervello di condensati di Bose-Einstein che richiedono, per manifestarsi, temperature prossime allo zero assoluto (-273 C°). Come vedremo, applicando questi criteri di selezione, vengono progressivamente esclusi dalla possibilità della verifica empirica tutti i modelli, con la sola eccezione dei modelli proposti da Luigi Fantappiè (1942) e da Chris King (2003). A tal proposito è necessario sottolineare che i modelli proposti da questi due autori possono essere considerati degli “ibridi” tra meccanica quantistica e relatività ristretta, in quanto partono dall’unione dell’equazione di Schrödinger (meccanica quantistica) con l’equazione energia, momento, massa (relatività ristretta).

Si giunge così alla conclusione che tutti i modelli della coscienza proposti nell’ambito della meccanica quantistica non sono traducibili in proposte sperimentali perché incompatibili con il criterio della falsificabilità e/o con le caratteristiche dei sistemi biologici. Gli unici due modelli che superano il vaglio di questa rassegna, e che sono di fatto falsificabili sperimentalmente, sono quelli che uniscono la meccanica quantistica con la relatività ristretta. Di conseguenza in questo lavoro verranno presentati quattro studi sperimentali atti a verificare gli assunti alla base di tali modelli.

Si passa così ad una descrizione più accurata dei modelli della coscienza proposti da Fantappiè e King.

1. La coscienza secondo l’approccio della fisica classica

Gli autori che si interessano al problema della coscienza e degli stati mentali sono moltissimi, ed estremamente variegata è la gamma delle loro posizioni. Le teorie sulla coscienza proposte negli ultimi decenni vanno dai modelli fondati sulla fisica classica (ad esempio i modelli avanzati da Paul Churchland, Antonio Damasio, Daniel Dennett, Gerald Edelman, Francisco Varela e John Searle) ai modelli fondati sui principi della Meccanica Quantistica (MQ), come il dualismo onda-particella, il

collasso della funzione d'onda, la retrocausalità, la non località e il campo unificato (ad esempio i modelli proposti da John Eccles, Stuart Hameroff, Roger Penrose e Chris King).

A titolo esemplificativo, in questo capitolo verranno descritti 3 modelli della coscienza fondati sulla fisica classica: il modello proposto da Antonio Damasio, quello di Gerald Edelman e, infine, quello di Francisco Varela.

Sono stati scelti proprio questi tre modelli in quanto essi sembrano manifestare una sorta di “gradiente localizzazionista”: il modello di Damasio cerca di individuare i siti neurali nei quali è collocata la coscienza, quello di Edelman vede la coscienza come un processo globale di tutto il cervello e, infine, il modello di Varela considera la coscienza come una qualità distribuita in tutto l'organismo.

1.1 La coscienza secondo Damasio

Mentre molti autori legano la coscienza al pensiero e alle funzioni cognitive, Damasio la collega ai costrutti di *emozione* e *sentimento*. Il motto del modello di Damasio potrebbe essere: “*Sento quindi sono*”. Questa via era già emersa nell'*Errore di Cartesio* (Damasio, 1994) in cui Damasio descrive l'importanza delle emozioni e degli stati corporei nelle attività legate alla presa di decisione.

Prima di descrivere la proposta di Damasio relativamente al problema della coscienza, è opportuno precisare brevemente cosa intenda l'autore con i due termini di *emozione* e *sentimento*.

Nel linguaggio comune non si distingue tra emozione e sentimento, adottandoli praticamente come sinonimi. Damasio opera invece una distinzione tra i due termini (anche se appartenenti ad un unico processo), intendendo per emozioni collezioni complicate di risposte chimiche e neurali, che formano una configurazione; tutte le emozioni hanno un qualche ruolo regolatore da svolgere, che porta in un modo o nell'altro alla creazione di circostanze vantaggiose per l'organismo in cui si manifesta il fenomeno; le emozioni riguardano la vita di un organismo – il suo corpo, per essere precisi – e il loro ruolo è assistere l'organismo nella conservazione della vita. I dispositivi che producono le emozioni occupano un insieme abbastanza limitato di regioni subcorticali, a partire dal livello del tronco encefalico per risalire verso l'alto; questi dispositivi fanno parte di un insieme di strutture che regolano

e rappresentano gli stati del corpo, e si possono innescare automaticamente, senza una decisione conscia. Infine, tutte le emozioni usano il corpo come *teatro* (milieu interno, sistemi viscerale, vestibolare e muscolo-scheletrico), ma le emozioni influenzano anche la modalità di funzionamento di numerosi circuiti cerebrali: la varietà delle risposte emotive è responsabile dei profondi cambiamenti tanto del paesaggio del corpo quanto del paesaggio del cervello. La collezione di tali cambiamenti costituisce il substrato delle configurazioni neurali che alla fine diventano *sentimenti* delle emozioni. (Damasio, 1999).

Secondo Damasio al meccanismo dell'emozione segue il meccanismo necessario a produrre una mappa cerebrale e poi un'immagine mentale (o idea) dello stato dell'organismo che ne risulta, cioè il *sentimento*. I sentimenti, in una parola, traducono nel linguaggio della mente lo stato vitale in cui versa l'organismo. All'origine del sentimento è quindi il corpo, costituito da diverse parti continuamente registrate in strutture cerebrali. I sentimenti sono allora la percezione di un certo stato corporeo cui, talvolta, si aggiunge la percezione di uno stato della mente ad esso associato o anche la percezione del tipo di pensieri il cui tema è consono con il genere di emozione percepita. In particolare, Damasio propone l'ulteriore distinzione dei sentimenti in *sentimenti delle emozioni* e *sentimenti di fondo*. Per quanto riguarda i primi, l'autore specifica che l'essenza del *sentire un'emozione* è l'esperienza dei cambiamenti che si manifestano a livello corporeo in giustapposizione alle immagini mentali che hanno dato avvio al ciclo (Damasio, 1994). In una parola, il sentimento di un'emozione consiste nel collegamento tra un contenuto cognitivo e una variazione di un profilo dello stato corporeo.

Con il termine *sentimenti di fondo*, invece, l'autore indica una varietà di sentimento che ha preceduto le altre nell'evoluzione, e che ha origine da "stati corporei" di fondo anziché da emozioni. E' il sentimento della vita stessa, il senso di essere. Un sentimento di fondo corrisponde allo stato corporeo che prevale *tra* le emozioni, è la nostra immagine dello stato corporeo quando questo non è agitato da emozioni. Secondo Damasio, senza sentimenti di fondo il nucleo stesso della rappresentazione del sé sarebbe infranto (Damasio, 1994).

Dopo aver descritto brevemente il significato che, per Damasio, assumono i termini di emozione e sentimento, passiamo ora ad una sintetica esposizione del modello della coscienza proposto da questo autore.

In *Emozioni e Coscienza* (Damasio, 1999) la coscienza è descritta come il “*sapere di sentire*”: la coscienza si sente come un sentimento e, di conseguenza, se la si sente come un sentimento può ben essere un sentimento. Damasio afferma che la coscienza non è percepita come un’immagine, né come una configurazione visiva o uditiva e tantomeno come una configurazione olfattiva o gustativa. La coscienza non si vede né si ascolta. La coscienza non ha odore né sapore. La coscienza è, per Damasio, una configurazione costruita con i segni non verbali degli stati del corpo.

Damasio individua tre livelli della coscienza: il proto-sé, il sé nucleare e il sé autobiografico.

Il proto-sé

Nelle stesse parole di Damasio, il *proto-sé* “è una collezione coerente di configurazioni neurali che formano istante per istante le mappe dello stato della struttura fisica dell’organismo nelle sue numerose dimensioni” (Damasio, 1999). Questa collezione costantemente aggiornata di configurazioni neurali si trova in molti siti cerebrali e a molteplici livelli, dal tronco encefalico alla corteccia cerebrale, in strutture interconnesse da vie neurali. Il proto-sé, del quale non siamo coscienti, coincide con la regolazione di base della vita.

Come vedremo più avanti, Damasio individua alcune strutture anatomiche necessarie alla realizzazione del proto-sé.

Il sé nucleare

Damasio ritiene che la coscienza abbia inizio quando un oggetto modifica le mappe del proto-sé. In base a questo modello, è presente una coscienza nucleare quando i dispositivi cerebrali di rappresentazione generano una descrizione non verbale, per immagini, del modo in cui lo stato dell’organismo viene modificato dall’elaborazione di un oggetto da parte dell’organismo stesso e quando tale processo intensifica l’immagine dell’oggetto causativo, mettendolo in posizione saliente in

un contesto spaziale e temporale. L'oggetto con il quale si interagisce (che può essere realmente percepito o richiamato dalla memoria, esterno o interno all'organismo) innesca un impulso e la coscienza viene creata da questi impulsi. La continuità della coscienza si baserebbe su di una costante generazione di impulsi di coscienza che corrispondono all'incessante elaborazione di miriadi di oggetti, la cui interazione con l'organismo, effettiva o costantemente evocata, modifica il proto-sé. E' probabile che più di un oggetto può indurre una modificazione dello stato del proto-sé e che il flusso della coscienza non sia veicolato da un solo oggetto, ma da molti (Damasio, 1999).

Mentre il proto-sé è uno stato ancora non consapevole della coscienza, il sé nucleare è il primo livello di coscienza consapevole e coincide con il *sapere di sentire quell'emozione*. L'essenza biologica del sé nucleare è la rappresentazione di una mappa del proto-sé che viene modificata. Questo cambiamento è dovuto all'interazione con un oggetto che modifica la percezione dei propri stati corporei, del proto-sé, ad esempio suscitando emozioni. Il sé nucleare è non verbale e può essere innescato da qualsiasi oggetto. Poiché vi è sempre disponibilità di oggetti innescanti, l'esperienza cosciente viene generata continuamente e quindi appare continua nel corso del tempo. Il meccanismo del sé nucleare richiede la presenza del proto-sé.

La coscienza nucleare è il genere più semplice di coscienza e fornisce all'organismo un senso di sé in un dato momento e in un dato luogo ("qui ed ora"). La coscienza nucleare è un fenomeno semplice, biologico, che ha un unico livello di organizzazione, è stabile in tutto l'arco della vita dell'organismo, non è una caratteristica esclusiva degli esseri umani e non dipende dalla memoria convenzionale, dalla memoria operativa, dal ragionamento o dal linguaggio.

In sintesi, il sé nucleare nasce dall'interazione dell'organismo con un oggetto. In questo caso ciò che si avverte sono i cambiamenti del proprio organismo indotti dall'oggetto stesso. A differenza del proto-sé, il sé nucleare è libero di vagare e di rappresentare qualsiasi oggetto, compatibilmente con la struttura dell'organismo. Il proto-sé, cioè l'organismo come viene rappresentato all'interno del cervello, è un precursore biologico di ciò che, con il sé nucleare, diventa l'elusivo senso di sé.

Il sé nucleare coincide per Damasio con i sentimenti, cioè con la capacità dell'organismo di sentire le emozioni che sono alla base della regolazione della vita. Ciò avviene quando l'organismo elabora certi

oggetti o situazioni con uno dei suoi dispositivi sensoriali – per esempio, mentre osserva un volto o un paesaggio familiare – o quando la mente evoca dalla memoria certi oggetti o situazioni e li rappresenta come immagini nel processo mentale.

Il modello del sé nucleare si basa sui seguenti elementi (Damasio, 1999):

- 1) L'organismo, come unità, è proiettato in mappe nel cervello, entro strutture che ne segnalano continuamente gli stati interni (mappe di primo ordine).
- 2) L'oggetto viene proiettato in mappe, nelle strutture cerebrali sensitive e motorie attivate dall'interazione dell'organismo con l'oggetto; l'organismo e l'oggetto sono entrambi proiettati come configurazioni neurali in mappe del primo ordine; tutte queste configurazioni neurali possono tradursi in immagini.
- 3) Le mappe senso-motorie relative all'oggetto producono modificazioni nelle mappe relative all'organismo.
- 4) Queste modificazioni possono essere ri-rappresentate in altre mappe (mappe del secondo ordine) che quindi rappresentano la relazione tra organismo e oggetto.
- 5) Le configurazioni neurali che si formano transitoriamente nelle mappe del secondo ordine possono tradursi in immagini mentali, al pari delle configurazioni neurali delle mappe del primo ordine.
- 6) La coscienza dipenderebbe dalla costruzione di immagini mentali interne dell'interazione tra l'organismo e un oggetto.
- 7) Tanto le mappe dell'organismo quanto le mappe del secondo ordine sono legate al corpo; le immagini mentali che descrivono la relazione tra organismo e oggetto sono sentimenti.

Il sé autobiografico

La prima base del noi cosciente è una sensazione che scaturisce dalla ri-rappresentazione del proto-sé non cosciente mentre viene modificato, nell'ambito dell'interazione con un oggetto. La coscienza autobiografica nasce dalla descrizione delle interazioni con l'oggetto e il suo primo risultato è la sensazione di conoscere: sappiamo di esistere perché la storia narrata ci mostra come protagonisti nell'atto di conoscere.

Il sé autobiografico, o *coscienza estesa*, coincide con il livello superiore della coscienza. Il sé autobiografico è basato sulla capacità della persona di tener traccia della propria storia. Il sé autobiografico si basa sulla memoria autobiografica che è costituita da ricordi impliciti di un gran numero di esperienze individuali del passato e del futuro previsto. La memoria autobiografica cresce di continuo insieme alle esperienze della vita, ma può essere parzialmente rimodellata per riflettere nuove esperienze. Insieme di ricordi che descrivono la persona possono essere riattivati come configurazioni neurali e resi espliciti come immagini ogniqualvolta sia necessario. Ogni ricordo riattivato funziona come un “qualcosa da conoscere” e genera il proprio impulso di coscienza nucleare. Il risultato è il sé autobiografico del quale siamo coscienti. Il sé autobiografico si basa su registrazioni permanenti ma disposizionali delle esperienze del sé nucleare. Queste registrazioni possono essere attivate e trasformate in immagini esplicite. Il sé autobiografico richiede la presenza di un sé nucleare per iniziare il proprio graduale sviluppo (Damasio, 1999).

La coscienza autobiografica è il genere più complesso di coscienza. E' un fenomeno biologico complesso, con vari livelli di organizzazione, che si evolve nel corso della vita dell'organismo. Lo studio delle malattie neurologiche rivela, ad esempio, che le menomazioni della coscienza estesa non impedisce alla coscienza nucleare di rimanere intatta. Al contrario, i deterioramenti che iniziano al livello della coscienza nucleare demoliscono l'intero edificio della coscienza, facendo crollare anche la coscienza estesa.

La coscienza estesa è tutto ciò che è la coscienza nucleare, ma in meglio e più in grande. La coscienza estesa continua a dipendere dal medesimo sé nucleare, ma ora quel sé è collegato al passato e al futuro della propria documentazione autobiografica. Il sé dal quale si contempla questo ampio paesaggio è un concetto robusto nel vero senso della parola. E' un sé autobiografico.

La coscienza estesa emergerebbe da due espedienti (Damasio, 1999):

- 1) Il primo richiede l'accumulo graduale di ricordi di molti esempi di una classe speciale di oggetti: gli oggetti della biografia del nostro organismo, illuminati dalla coscienza nucleare.

Ognuno di questi ricordi autobiografici viene poi trattato dal cervello come un oggetto, diventando un induttore di coscienza nucleare.

- 2) Il secondo consiste nel mantenere attive, simultaneamente e per un notevole lasso di tempo, le numerose immagini la cui raccolta definisce il sé autobiografico e le immagini che definiscono l'oggetto. Il sé autobiografico si presenta soltanto in organismi dotati di una notevole capacità di memoria e di ragionamento, ma non ha bisogno del linguaggio.

Vi è coscienza estesa quando la memoria operativa tiene simultaneamente attivi sia un oggetto particolare sia il sé autobiografico, quando sia un oggetto particolare sia gli oggetti della propria autobiografia generano simultaneamente coscienza nucleare. In questo processo sono importanti due influenze: quella del passato che si è vissuto e quella del futuro che si prevede. Il significato della maturità personale è che i ricordi del futuro, previsti per un momento che potrebbe arrivare, hanno in ogni istante un grande peso nel sé autobiografico. I ricordi degli scenari che concepiamo come desideri, obiettivi e obblighi esercitano in ogni momento una pressione sul sé.

Secondo Damasio, la coscienza è nata per far fronte alla necessità di sopravvivere. Per poter sopravvivere, ricorda l'autore, occorre trovare e incorporare fonti di energia e impedire ogni genere di situazione che minacci l'integrità dei tessuti viventi. Senza agire, organismi come i nostri non sopravviverebbero, poiché non troverebbero le fonti di energia necessarie per rinnovare la propria struttura e mantenersi in vita, non le sfrutterebbero e non le metterebbero al proprio servizio, e non si preoccuperebbero di sventare i pericoli ambientali. Ma di per sé le azioni, senza la guida delle immagini prodotte dalla coscienza nucleare e dalla coscienza estesa, non porterebbero lontano. Le buone azioni hanno bisogno anche di buone immagini (Damasio, 1999).

Se le azioni sono alla base della sopravvivenza e se il loro potere è legato alla disponibilità di immagini guida, ne consegue che un dispositivo capace di massimizzare l'efficacia della manipolazione delle immagini fornirebbe vantaggi enormi facendo prevalere l'organismo cosciente nella lotta per l'evoluzione. La coscienza, nella forma in particolare del sé autobiografico, offre proprio questa capacità di elaborazione delle immagini. Secondo Damasio, la grande novità offerta dalla coscienza è la possibilità di collegare la regolazione della vita con l'elaborazione di immagini. Si tratta di un

vantaggio reale perché la sopravvivenza in un ambiente complesso dipende dall'esecuzione dell'azione giusta.

Localizzazione della coscienza

La triangolazione tra mente, comportamento e cervello è palese da più di un secolo e mezzo, da quando i neurologi Paul Broca e Carl Wernicke scoprirono un legame tra il linguaggio e certe regioni dell'emisfero cerebrale sinistro. Le nuove tecniche d'indagine permettono di analizzare le lesioni con una ricostruzione tridimensionale del cervello del paziente vivo, mentre è in corso l'osservazione comportamentale o cognitiva. In questo modo è possibile studiare il comportamento di pazienti con specifiche lesioni.

Operando in questo modo, Damasio ha scoperto che lesioni localizzate nelle aree della regione prefrontale, specie nel settore ventrale e mediale, e nella regione parietale destra, sono regolarmente associate alla comparsa del quadro clinico del deficit decisionale, cioè un disturbo della capacità di prendere decisioni vantaggiose in situazioni di rischio e di conflitto, spesso associato a profonde alterazioni del carattere e della percezione di emozioni e sentimenti. Prima dell'insorgere del danno cerebrale, i pazienti non avevano mai dato mostra di tali menomazioni. I familiari e gli amici erano in grado di distinguere precisamente un "prima" e un "dopo", relativamente al momento della lesione neurologica. Tali risultati indicano che la riduzione selettiva dell'emozione nuoce alla razionalità non meno dell'eccesso di emozione. Quel che è certo è che le emozioni ben dirette e ben dispiegate paiono essere un sistema di appoggio senza il quale l'intero edificio della ragione non può operare a dovere.

Partendo da queste scoperte Damasio cerca di localizzare ogni livello di coscienza: il proto-sé, la coscienza nucleare e la coscienza autobiografica.

Localizzazione del proto-sé

Quel che succede tipicamente in un'emozione è che certe regioni del cervello inviano comandi ad altre regioni cerebrali e quasi ad ogni parte del corpo, e che questi comandi viaggiano lungo due vie. Una è il *flusso sanguigno*, dove i comandi vengono inviati in forma di molecole di sostanze chimiche che agiscono sui recettori delle cellule che costituiscono i tessuti del corpo. L'altra è una *via neuronale* e qui i comandi assumono la forma di segnali elettrochimici che agiscono su altri neuroni, su fibre muscolari o su organi (come la ghiandola surrenale), che a loro volta possono liberare nel flusso sanguigno le sostanze chimiche di propria produzione. Il risultato di tali comandi chimici e neurali coordinati è un cambiamento globale dello stato dell'organismo.

La liberazione di sostanze quali le monoammine e i peptidi da regioni di nuclei del tronco encefalico e del prosencefalo basale altera la modalità di elaborazione di molti altri circuiti cerebrali, innesca alcuni comportamenti specifici e modifica la segnalazione degli stati del corpo al cervello. In altre parole, sia il cervello sia il corpo sono ampiamente e profondamente influenzati dall'insieme dei comandi, sebbene l'origine di tali comandi sia circoscritta a un'area cerebrale relativamente piccola che reagisce a un particolare contenuto del processo mentale.

Le strutture individuate da Damasio per realizzare il proto-sé sono (Damasio, 1999):

- Numerosi *nuclei del tronco encefalico* che regolano gli stati del corpo e proiettano i segnali del corpo. Lungo le catene di segnali che iniziano nel corpo e terminano nelle strutture più elevate e distanti del cervello, questa regione è la prima in cui un aggregato di nuclei segnali l'attuale stato complessivo del corpo, attraverso le vie del midollo spinale, del nervo trigemino, del complesso del vago e dell'area postrema. La regione tronco encefalica comprende i classici nuclei reticolari, come pure i nuclei monoamminergici e colinergici.
- L'*ipotalamo* ed il *prosencefalo basale*, interconnessi tra di loro e con le aree citate al punto precedente. L'ipotalamo contribuisce alla rappresentazione corporea corrente mantenendo aggiornato un registro dello stato del milieu interno secondo numerose dimensioni: il livello delle sostanze nutritive in circolo, come il glucosio, la concentrazione di vari ioni, la

concentrazione relativa dell'acqua, il pH, la concentrazione di vari ormoni in circolo e così via. L'ipotalamo contribuisce a regolare il milieu interno sulla base di questo tipo di mappe.

- La *corteccia insulare*, le *cortecce note come S-II* e le *cortecce parietali mediali* situate dietro lo splenio del corpo calloso, che fanno tutte parte delle cortecce somatosensitive. La funzione di queste cortecce negli esseri umani è asimmetrica; in particolare, esse contengono la rappresentazione più integrata dello stato corrente interno dell'organismo, oltre a rappresentazioni dello schema della struttura muscoloscheletrica.

Localizzazione del sé nucleare

Damasio ricorda che lo studio dei pazienti neurologici indica che, quando è annullata la coscienza nucleare, anche la coscienza estesa si spegne. Tuttavia, non è vero il contrario, in quanto le menomazioni della coscienza estesa sono compatibili con il mantenimento della coscienza nucleare (Damasio, 1999).

La coscienza nucleare nasce dall'interazione di due attori, l'organismo e l'oggetto, e dai cambiamenti che questa interazione sta producendo. L'oggetto viene esibito in forma di configurazioni neurali, nelle cortecce sensitive appropriate alla sua natura. Per esempio, nel caso degli aspetti visivi di un oggetto, le configurazioni neurali si formano in una gran varietà di zone della corteccia visiva.

Secondo Damasio, il sé nucleare deve possedere un grado considerevole di invarianza strutturale per poter dispensare una continuità di riferimento nel corso di lunghi periodi. La continuità di riferimento è in effetti ciò che il sé deve necessariamente offrire. Questo perché anche se le rappresentazioni cambiano nel tempo, il "sé" non cambia, o quanto meno non nella stessa misura. Questa relativa stabilità provvede alla continuità di riferimento ed è quindi una condizione indispensabile per il sé. La ricerca di un substrato biologico del sé nucleare deve perciò identificare strutture capaci di procurare questo tipo di stabilità.

L'enigma delle radici biologiche del sé nucleare viene formulato da Damasio nel modo seguente: "*Che cosa è quella cosa che è unica, è sempre la stessa e fornisce alla mente uno scheletro?*" La risposta alla

quale giunge Damasio è che la stabilità viene data dai confini dell'organismo. La vita esiste infatti all'interno di un confine, il muro selettivamente permeabile che separa il milieu interno dall'ambiente esterno. L'idea di organismo è imperniata sull'esistenza di tale confine. Nel caso di un'unica cellula, il confine si chiama membrana. La vita è una variazione continua, ma soltanto se la variazione è contenuta entro certi limiti: la vita ha bisogno di un confine. E' quindi necessario studiare i dispositivi regolatori che mantengono la vita nei limiti, insieme alle rappresentazioni neurali integrate del milieu interno dei visceri e della struttura muscolo scheletrica che ritraggono lo stato della vita. Damasio afferma che se non c'è corpo, non c'è mente.

Il settore del milieu interno e viscerale ha l'incarico di rilevare i cambiamenti dell'ambiente chimico delle cellule in tutto il corpo. Il termine introiezione si riferisce in modo generico a queste operazioni di rilevazione.

Il modello del sé nucleare si basa su ri-rappresentazioni delle mappe di primo ordine in mappe di secondo ordine. Questa successione di ri-rappresentazioni costituisce una configurazione neurale che diventa, direttamente o indirettamente, la base per un'immagine – l'immagine di una relazione tra l'oggetto e il proto-sé modificato dall'oggetto stesso. L'essenza biologica del sé nucleare è la rappresentazione in una mappa del secondo ordine del proto-sé che viene modificato. Vi sono molte strutture cerebrali capaci di ricevere segnali convergenti da varie fonti e, quindi, apparentemente in grado di costruire mappe del secondo ordine. Queste strutture devono realizzare una specifica combinazione di segnali provenienti da “mappe dell'intero organismo” e segnali provenienti da “mappe dell'oggetto”. Se si tiene conto di questa esigenza si eliminano numerosi candidati: per esempio le cortecce di ordine superiore nelle regioni parietali e temporali, l'ippocampo e il cervelletto, coinvolti nella generazione di mappe del primo ordine. Inoltre, le strutture del secondo ordine devono essere in grado di esercitare un'influenza sulle mappe del primo ordine affinché le immagini dell'oggetto possano guadagnare risalto ed essere coerenti. Restano così in lizza i collicoli superiori, l'intera regione del cingolo, il talamo e alcune cortecce prefrontali. L'ipotesi di Damasio è che nessuna di queste strutture agisca da sola e che i diversi contributi alla coscienza siano di varia portata. Damasio afferma che *“i collicoli superiori e le cortecce del cingolo compongono indipendentemente una mappa del secondo ordine. Tuttavia, la configurazione neurale del secondo ordine prevista come base della nostra sensazione di conoscere è sovraregionale. Essa potrebbe risultare dall'azione concentrata dei*

collicoli superiori e del cingolo coordinati dal talamo, ed è ragionevole presumere che i componenti del cingolo e del talamo svolgano la parte del leone”.

Localizzazione del sé autobiografico

Le strutture associate al sé autobiografico vengono indicate da Damasio come strutture di *secondo ordine* (Damasio, 1999). Damasio afferma che una struttura del secondo ordine deve essere in grado di:

- 1) ricevere attraverso vie assoniche segnali provenienti da siti coinvolti nella rappresentazione del proto-sé e da siti che potenzialmente possono rappresentare un oggetto;
- 2) generare una configurazione neurale che “descrive”, con un qualche ordine temporale, gli eventi rappresentati nelle mappe del primo ordine;
- 3) introdurre, direttamente o indirettamente, l’immagine derivante dalla configurazione neurale nel flusso generale di immagini chiamato *pensiero*;
- 4) rimandare segnali, direttamente o indirettamente, alle strutture che elaborano l’oggetto in modo che l’immagine dell’oggetto possa essere messa in risalto.

Questi elementi critici scaturiscono da una rete continuamente riattivata che si basa su zone di convergenza situate nelle corteccie di ordine superiore temporali e frontali, oltre che in nuclei subcorticali quali quelli dell’amigdala. A dare il passo all’attivazione coordinata di questa rete composta di molteplici siti sono i nuclei del talamo, mentre il mantenimento dei componenti reiterati per lunghi intervalli di tempo richiede il sostegno delle corteccie prefrontali che partecipano all’attività della memoria operativa.

In conclusione

E’ noto da tempo che le funzioni vitali, quali quelle del cuore, dei polmoni e dell’intestino, dipendono dal tronco encefalico, così come il controllo del sonno e della veglia. Pertanto, in un’area estremamente piccola, sono concentrate molte delle vie critiche che segnalano gli eventi chimici e neurali dal corpo al

sistema nervoso centrale e che portano i segnali dal sistema nervoso centrale al corpo. Lungo queste vie critiche, vi sono miriadi di minuscoli centri che controllano molte attività vitali.

L'estesa lesione al tronco encefalico che causa solitamente il coma compromette molte strutture da quelle nei nuclei reticolari classici, che controllano notoriamente lo stato di veglia, ai nuclei non classici, che si adattano senza difficoltà al concetto di proto-sé. I nuclei cerebrali che si occupano principalmente di gestire il processo della vita e di rappresentare l'organismo sono strettamente contigui, e addirittura interconnessi, ai nuclei che si occupano del processo della veglia e del sonno, delle emozioni e dell'attenzione e, in definitiva, della coscienza (Damasio, 1999).

In conclusione, Damasio vede emergere un dato di fatto molto importante dalla regione critica del tronco encefalico: tale regione sarebbe impegnata simultaneamente nei processi che riguardano lo stato di veglia, la regolazione omeostatica, l'emozione e il sentimento, l'attenzione e la coscienza. Una tale sovrapposizione di funzioni potrebbe sembrare casuale, ma secondo Damasio appare ragionevole se la si inserisce nello schema concettuale da lui sviluppato. La regolazione omeostatica che comprende l'emozione, richiede periodi di veglia (per raccogliere l'energia), periodi di sonno (presumibilmente per ricostituire le riserve di sostanze chimiche necessarie all'attività dei neuroni), attenzione (per interagire in maniera adeguata con l'ambiente) e coscienza (di modo che possa avere luogo un livello elevato di pianificazione delle risposte concernenti l'organismo dell'individuo). L'attinenza al corpo di tutte queste funzioni e l'intimo legame anatomico dei nuclei al loro servizio sono del tutto evidenti.

Questa concezione è compatibile con l'idea classica di un dispositivo situato nella regione superiore del tronco encefalico capace di creare tipi particolari di stati elettrofisiologici nel talamo e nella corteccia. Di fatto, la proposta di Damasio si differenzia per due aspetti dalla visione classica: in primo luogo, offre un fondamento biologico all'origine e alla collocazione anatomica del proto-sé; in secondo luogo, presuppone che l'attività del proto-sé offra un contributo importante allo stato di coscienza, ma che non produca l'aspetto soggettivo che definisce la coscienza stessa.

Damasio suggerisce che i meccanismi che permettono la coscienza si siano imposti perché per l'organismo è utile conoscere le proprie emozioni. E poiché la coscienza si è imposta come tratto biologico, è diventata applicabile non soltanto alle emozioni, ma anche ai vari stimoli che portano alla

loro realizzazione. Alla fine, la coscienza è diventata applicabile all'intera gamma dei possibili eventi sensoriali.

1.2 La coscienza secondo Edelman e Tononi

In questo paragrafo viene descritto sinteticamente il modello della coscienza proposto da Gerald Edelman e da Giulio Tononi. Tale modello si distingue da quello di Damasio in quanto introduce il concetto di integrazione ed amplificazione dei segnali neuronali e non individua un nucleo della coscienza.

Affrontando il tema dello studio scientifico delle basi neurali dell'esperienza cosciente, Edelman e Tononi aprono il loro saggio dal titolo intrigante di *“Un universo di coscienza”* (2000) con un riferimento a quello che Arthur Schopenhauer (1813) ha definito il “nodo cosmico”: *“come può l'esperienza soggettiva essere correlata a eventi descrivibili oggettivamente?”* Secondo gli autori, l'approccio migliore per sciogliere tale nodo è l'approccio scientifico ove si combinano “teorie verificabili ed esperimenti sapienti”. La coscienza non è dunque un tema unicamente pertinente alla filosofia, ma può essere affrontato attraverso la metodologia scientifica.

Nel corso dei secoli, sia la filosofia che la scienza hanno tentato di dare una spiegazione al dilemma rappresentato dalla coscienza. Per quanto riguarda l'approccio filosofico, gli autori sottolineano che è assai improbabile che la filosofia, da sola, potrà mai pervenire a risolvere il dilemma rappresentato dalla coscienza e dal rapporto mente-corpo; semmai, essa può contribuire a rendere palese quanto questi dilemmi siano in realtà intrattabili. Ciò in quanto il puro pensiero da solo è inadatto a svelare le origini dell'esperienza cosciente in assenza di osservazioni ed esperimenti scientifici.

Per quanto riguarda la “scienza della mente”, dai primi tentativi introspezionisti di Tichener e Külpe un notevole passo avanti è stato fatto nel momento in cui gli scienziati si sono focalizzati sulla ricerca dei correlati neurali della coscienza, grazie anche allo sviluppo tecnologico delle moderne neuroscienze. Tuttavia, gli autori chiariscono subito che tutto ciò non equivale certo a correlare le caratteristiche della coscienza alle proprietà intrinseche di determinati neuroni localizzati in specifiche aree del cervello;

tale tentativo è destinato a fallire dal momento che, secondo Edelman e Tononi, la coscienza non è un oggetto localizzabile in qualche parte del cervello, bensì un *processo*. Lo scopo dichiarato degli autori è dunque quello di identificare e caratterizzare i *processi neurali* che possono spiegare le proprietà essenziali dell'esperienza cosciente.

Secondo la nuova prospettiva avanzata da Edelman, il substrato neurale della coscienza coinvolge ampie popolazioni di neuroni – in particolare le popolazioni del sistema talamocorticale – ad ampia distribuzione nel cervello. Per converso, nessuna area cerebrale in particolare è responsabile dell'esperienza cosciente.

Al fine di individuare i processi neurali dai quali emerge la coscienza, è necessario, secondo Edelman, capire il funzionamento globale del cervello. A questo scopo, l'autore individua tre principali organizzazioni topologiche nel cervello, ognuna specializzata a svolgere funzioni specifiche:

1. Il sistema talamocorticale, che costituisce un insieme di circuiti separati ma al tempo stesso integrati. Questo sistema si incentra nel talamo, che riceve segnali sensoriali e di altra natura ed è reciprocamente connesso alla corteccia cerebrale. Sia la corteccia che il talamo sono suddivisi in molte aree funzionalmente separate. Le differenti aree corticali ed i rispettivi nuclei talamici sono anch'essi specializzati: alcune aree elaborano stimoli visivi, altre stimoli uditivi ed altre ancora stimoli tattili. Queste aree funzionalmente separate sono reciprocamente connesse attraverso il meccanismo del *rientro*, un concetto centrale nel modello della coscienza proposto da Edelman. Con il termine “rientro” si intende un processo di segnalazione anterogrado e retrogrado lungo connessioni reciproche tra diverse aree. Il rientro è uno scambio di tipo ricorsivo, uno scambio di segnali che procedono in parallelo tra aree interconnesse in cui vengono sincronizzate continuamente le attività di mappe neurali diverse.

Il meccanismo del rientro, tipico del sistema talamocorticale, rende possibile l'unità della percezione e del comportamento. Da qui, l'organizzazione del sistema talamocorticale sembra essere dedicata all'integrazione del prodotto di diverse aree cerebrali in una risposta unificata.

2. Il complesso dei circuiti in parallelo che collegano la corteccia al cervelletto, ai gangli della base e all'ippocampo e che, come un anello, proiettano nuovamente in corteccia, passando o meno per il talamo. Questa organizzazione seriale polisintattica differisce molto dal sistema talamocorticale: le

connessioni sono in genere unidirezionali e non reciproche, formano lunghi anelli, e relativamente poche sono le interazioni orizzontali tra circuiti differenti. Questi sistemi sembrano ritagliati per eseguire una varietà di complicate procedure motorie e cognitive, la maggior parte delle quali funzionalmente isolate l'una dall'altra. Ciò garantisce velocità e precisione nell'esecuzione dei compiti.

3. L'insieme diffuso delle proiezioni che partono dai nuclei del tronco cerebrale e dell'ipotalamo: il locus coeruleus noradrenergico, il nucleo del rafe serotoninergico, i nuclei dopaminergici, i nuclei colinergici ed i nuclei istaminergici. Questi nuclei sembrano attivarsi alla comparsa di stimoli salienti (un forte rumore, un lampo di luce, un dolore improvviso) e proiettano diffusamente verso porzioni molto ampie del cervello, rilasciando neuromodulatori che influenzano l'attività e la plasticità neurali, nel senso che fanno variare la forza delle sinapsi nei circuiti neurali, producendo risposte adattive. Date queste caratteristiche, questi sistemi sono collettivamente indicati con il termine di *sistemi di valore*. Questi sistemi segnalano all'intero sistema nervoso la presenza di un evento saliente e causano la variazione della forza sinaptica.

Di queste tre architetture neurali quella che dagli autori è considerata cruciale per il costituirsi della coscienza è la prima.

Considerando i dati provenienti dagli studi di neuroimaging, gli autori sostengono che processi neurali sottesi all'esperienza cosciente coinvolgono gruppi di neuroni ampiamente distribuiti (soprattutto facenti parte del sistema talamocorticale), coinvolti in forti e rapide interazioni rientranti. Infatti, tali interazioni in corso tra molteplici aree cerebrali sono necessarie affinché uno stimolo sia percepito coscientemente. Gli autori danno una prova sperimentale di ciò attraverso degli esperimenti condotti in condizioni di rivalità binoculare, nei quali il soggetto, sottoposto ad una misurazione dell'attività cerebrale attraverso la MEG, guarda due stimoli incongruenti, un reticolo rosso verticale con l'occhio sinistro attraverso una lente rossa, e un reticolo blu orizzontale con l'occhio destro attraverso una lente blu. Benché gli stimoli vengano presentati simultaneamente, il soggetto riferirà alternativamente dell'uno o dell'altro. In qualche modo, il sistema visivo, pur ricevendo segnali da entrambi gli stimoli, ne trasformerà in *esperienza cosciente* solo uno alla volta. I risultati di questi studi indicano che:

1. il complesso di regioni cerebrali la cui attività si correla all'esperienza cosciente è ampiamente distribuito;
2. i processi neurali sottesi all'esperienza cosciente sono altamente coerenti, nel senso che la sincronizzazione tra regioni corticali distanti aumenta quando il soggetto è cosciente dello stimolo, rispetto a quando non lo è. La coerenza è quindi un indice del grado di sincronizzazione tra regioni del cervello, ed i valori della coerenza si possono considerare un riflesso della forza delle interazioni rientranti tra regioni cerebrali.

Questi risultati mostrano che, affinché vi sia esperienza cosciente, è necessaria la rapida integrazione dell'attività di regioni cerebrali distribuite attraverso interazioni rientranti. Questo aspetto della sincronizzazione neuronale, pur se necessario, non è però sufficiente, da solo, all'emersione dell'esperienza cosciente. Sembra infatti che la coscienza richieda un'attività neurale non solo *integrata*, ma anche *differenziata*, ossia un'attività neurale che muta incessantemente e che sia differenziata nel tempo e nello spazio. A riprova di ciò, gli autori sottolineano come due fenomeni caratterizzati dal venir meno della coscienza, come le crisi epilettiche generalizzate ed il sonno ad onde lente, siano tuttavia caratterizzati dall'ipersincronizzazione di vaste popolazioni neuronali. In questi stati, infatti, la maggior parte dei gruppi neuronali scaricano in sincronia, con il conseguente annullamento delle discriminazioni funzionali tra di essi. Gli stati cerebrali diventano così estremamente omogenei, e con la riduzione del repertorio di stati cerebrali soggetti a selezione, la coscienza stessa viene perduta.

Considerando la straordinaria unità o integrazione di ogni stato di coscienza, i processi neurali che alimentano l'esperienza cosciente devono di certo essere a loro volta integrati.

Per studiare i meccanismi alla base di questa integrazione tra aree funzionalmente separate, Edelman ha studiato il concetto di *rientro* in una simulazione su ampia scala del sistema visivo. Nessuna area di ordine superiore coordina le risposte del modello, creato tenendo conto della separazione funzionale della corteccia visiva: le unità neurali interne a ciascuna area separata del modello rispondono a proprietà diverse degli stimoli. Ad esempio, gruppi di neuroni dell'area V1 simulati rispondono a caratteri elementari degli oggetti, come l'orientamento dei margini in una particolare posizione del campo visivo; gruppi di neuroni nell'area IT (inferotemporale) rispondono a classi di oggetti con una

certa forma, indipendentemente dalla loro posizione nel campo visivo. Questo modello è stato sottoposto ad alcuni compiti visivi, alcuni dei quali richiedevano l'integrazione di segnali prodotti dall'attività di molteplici aree funzionalmente separate. Ad esempio, un compito comportava la discriminazione di una croce rossa da una croce verde e da un quadrato rosso, tutti presentati simultaneamente nel campo visivo. Queste simulazioni hanno mostrato che l'integrazione (verificatasi molto rapidamente, dopo 100-250 millisecondi dalla presentazione dello stimolo) non è avvenuta in una sede particolare, ma mediante un processo coerente, ed è il risultato di interazioni rientranti tra gruppi neuronali distribuiti su molte aree. Le simulazioni hanno rivelato che il rientro può risolvere il problema del legame accoppiando le risposte neuronali di aree corticali distribuite e realizzare quindi la sincronizzazione e la coerenza globali.

Il rientro è quindi il meccanismo neurale chiave per realizzare l'integrazione all'interno del sistema talamocorticale; tale integrazione, inoltre, può generare una risposta comportamentale unitaria. A questo punto, Edelman si chiede cosa debba intendersi, esattamente, con il termine integrazione e come essa possa essere misurata. A questo fine introduce il concetto di "aggregato funzionale", con il quale si indica un sottoinsieme di elementi che interagiscono con forza tra di loro e debolmente con il resto del sistema e che non si possono a loro volta scomporre in componenti indipendenti. Per ottenere una misura dell'integrazione del sistema, Edelman ricorre al concetto di *entropia statistica*, una funzione logaritmica che riflette il numero di possibili andamenti di attività che il sistema può assumere, pesati in base alla loro probabilità di manifestarsi. Se il sistema neurale è isolato (ossia non riceve alcun segnale dall'esterno) e al suo interno i gruppi neurali non interagiscono, potrà manifestarsi ogni possibile stato del sistema, ciascuno con uguale probabilità. L'entropia del sistema in questo caso coincide con la somma delle entropie dei suoi singoli elementi. Al contrario, se all'interno del sistema è presente qualche interazione, il numero di stati che questo può assumere sarà inferiore a quanto ci si aspetterebbe dal numero di stati che possono assumere i suoi elementi separati. L'integrazione misura così la perdita di entropia dovuta alle interazioni tra gli elementi del sistema integrato.

L'antilocalizzazionismo di Edelman e Tononi si conferma ancora di più nell'ipotesi del *nucleo dinamico*, secondo la quale l'attività di un gruppo di neuroni contribuisce direttamente all'esperienza cosciente se è parte di un aggregato funzionale caratterizzato da forti interazioni reciproche tra un insieme di gruppi neuronali e in un arco di tempo dell'ordine delle centinaia di millisecondi. Per

alimentare l'esperienza cosciente è essenziale che tale aggregato funzionale sia molto differenziato, come indicano elevati indici di complessità neurale; inoltre, l'aggettivo "dinamico" si riferisce al fatto che tale aggregato, pur mostrando notevole integrazione al suo interno, ha una composizione che muta costantemente nel tempo. Il nucleo dinamico, generato in buona parte, anche se non esclusivamente, nel sistema talamocorticale, è dunque un processo, ed è definito mediante interazioni neurali piuttosto che attraverso la localizzazione specifica.

Per giungere ad una teoria generale della coscienza e per spiegare come si sia sviluppato il cervello, Edelman propone una teoria basata sulla selezione naturale di Darwin e nota come *Darwinismo Neurale o Teoria della Selezione dei Gruppi Neuronali (TSGN)*. Secondo questa teoria, le funzioni cerebrali superiori sarebbero il risultato di una selezione che si attua sia nel corso dello sviluppo filogenetico di una data specie, sia sulle variazioni anatomiche e funzionali presenti alla nascita in ogni singolo organismo animale. Sin dalla nascita, infatti, il cervello è dotato di una sovrabbondanza di neuroni e si organizza attraverso un processo molto simile al processo di selezione naturale proposto da Darwin per spiegare l'evoluzione delle specie viventi: a seconda del grado di effettivo utilizzo, alcuni gruppi di neuroni muoiono, altri sopravvivono e si rafforzano. L'unità su cui si effettua la selezione non è il singolo neurone, bensì i gruppi di neuroni, costituiti da un numero variabile di cellule che va da alcune centinaia a molti milioni. La TSGN, che descrive l'evoluzione del sistema nervoso centrale e dà conto della sua elevata variabilità (fondamentale per la differenziazione degli stati di coscienza), si fonda su tre principi:

1. *La selezione nello sviluppo*: nel corso dello sviluppo embrionale i neuroni estendono miriadi di processi che si ramificano in molte direzioni. La ramificazione dà luogo ad un'ampia variabilità nei modelli di connessione dell'individuo creando un repertorio immenso di circuiti neurali. A quel punto, i neuroni rafforzeranno o indeboliranno le proprie connessioni in funzione dell'andamento della loro attività elettrica: i neuroni che scaricheranno insieme si cableranno congiuntamente. Il risultato sarà che i neuroni di un dato gruppo saranno più strettamente connessi fra di loro di quanto non lo siano con i neuroni di altri gruppi.
2. *La selezione con l'esperienza*: in sovrapposizione alla selezione dello sviluppo appena descritta, ed estendendosi per tutta la vita, si manifesta un processo di selezione sinaptica all'interno dei repertori dei gruppi neurali, come risultato dell'esperienza comportamentale.

3. *Il rientro*: il rientro favorisce la sincronizzazione dell'attività dei gruppi neuronali appartenenti a mappe cerebrali diverse, collegandoli in circuiti che emettono segnali in uscita coerenti in senso temporale. Il rientro è perciò il meccanismo centrale per consentire la coordinazione spaziotemporale dei diversi eventi sensoriali e motori.

1.3 La coscienza secondo Francisco Varela

Il modello di Francisco Varela rappresenta uno dei modelli più "globali" tra quelli che, nell'ambito delle neuroscienze, trattano il fenomeno della coscienza. Varela inizia il percorso verso lo studio della coscienza in un manoscritto pubblicato con Humberto Maturana e intitolato "*Autopoiesi: l'organizzazione dei sistemi viventi*" (Maturana e Varela, 1980). Il termine autopoiesi viene dal Greco e significa "produrre se stesso". Secondo Varela e Maturana l'autopoiesi individua gli elementi comuni nell'organizzazione di tutti i sistemi viventi. Un sistema autopoietico è, per questi autori, una unità autonoma in grado di compensare dinamicamente le perturbazioni che tendono a distruggerla. Quando queste unità interagiscono e si organizzano tra di loro, senza perdere le rispettive identità, in un sistema autopoietico più ampio, si creano diversi ordini di autopoiesi, come ad esempio il passaggio dalla cellula al sistema nervoso. L'autopoiesi ha a che fare con la domanda "che cos'è la vita?" e cerca di definire la vita, al di là delle differenze tra tutti gli organismi e i sistemi viventi, individuandone il comun denominatore (la cosiddetta "cellula minimale", che ha in sé tutto ciò che è comune alla vita) e giungendo così, nelle sue più ambiziose intenzioni, a discriminare tra vita e non vita.

L'autopoiesi è interessata ai processi collegati alla vita, ritenendo che questi possano portare alla definizione della "coscienza". Per Maturana e Varela, la coscienza emerge dalle caratteristiche di unità e di autonomia delle cellule da cui prende forma l'identità del sistema: il sistema vivente cerca di preservare questa identità a dispetto di tutte le fluttuazioni circostanti. Varela afferma che la coscienza coincide con l'identità del sistema autopoietico.

Nel suo ultimo anno di vita Francisco Varela propose un programma di ricerca chiamato *neurofenomenologia* (Varela, 1996) il cui scopo era unire la cibernetica, la neuropsicologia, la biologia

teoretica, l'immunologia, l'epistemologia e la matematica al fine di descrivere la fenomenologia della coscienza.

Nell'articolo "*From autopoiesis to neurophenomenology*" (Rudrauf, 2003) Varela viene situato in un quadro di riferimento generale che accomuna tutti i sistemi viventi: il concetto dell'*autonomia*. Secondo Varela, le radici biologiche dell'individualità vanno ricercate nella natura unitaria, nell'unità coerente dei sistemi viventi dalla quale nasce l'autonomia. Dall'autonomia dei sistemi viventi e dal loro essere un'unità nasce l'*identità*, identità che è resistente a tutte le tendenze naturali che cercano di annientarla, come ad esempio la legge dell'entropia. Il sistema vivente si presenta come una unità stabile che si autocontiene e che afferma la sua identità e la sua autonomia dall'interno. Secondo Varela questa unità è il risultato di processi di codipendenza tra le diverse parti del sistema.

Al fine di non cadere nel vitalismo, Varela sottolinea più volte che il suo approccio è di tipo totalmente meccanicistico basandosi sui principi della cibernetica e della teoria generale dei sistemi. Tuttavia, il modello che nasce è diverso da quello delle macchine "cartesiane" di tipo input-output; infatti, i sistemi viventi sono caratterizzati dall'autoriproduzione di se stessi, mentre una macchina non è in grado di autoriprodursi. Varela afferma che l'origine della vita deve essere ricercata nella proprietà dei sistemi viventi di autoriprodursi e per questo motivo considera l'autopoiesi come il meccanismo alla base della vita. Secondo Varela, la nozione di autopoiesi è necessaria e sufficiente per definire che cos'è un sistema vivente. Dall'autopoiesi nasce una logica centrata sul sistema, sulla sua autonomia e sull'autosufficienza della sua organizzazione. In questo modo, secondo questo autore, si passa dalle macchine cartesiane input-output ai sistemi viventi che non sono altro che macchine dotate di autonomia, unità e autosufficienza. In quest'ottica, Varela sottolinea che il comportamento finalizzato che viene osservato nei sistemi viventi altro non è che una distorsione, dovuta all'osservatore, che emerge quando questi cerca di riassumere il comportamento di un sistema vivente. Varela enfatizza così, nuovamente, che la cognizione e il comportamento sono per lui il risultato di processi meccanici e che la vita non è mossa da cause finali.

Per Varela il sistema vivente è di natura meccanica e le sue proprietà vanno ricercate nelle sue interazioni e nei suoi processi. In questa prospettiva, ciò che appare come comportamento intenzionale non è altro che la persistenza di specifici processi meccanici. Quindi, anche l'emergere della coscienza

deve essere concepito come una conseguenza di processi meccanici. Ad esempio, un atto intenzionale non è altro che una successione di atti meccanici che convergono verso determinati stati, una persistenza transitoria nel rapporto tra il sistema vivente e l'ambiente circostante. Nella visione di Varela la persistenza e la stabilità sono gli elementi dai quali nasce la coscienza. In ultima analisi, la mente si sviluppa dalla reciproca interazione tra ambiente e sistema vivente.

Per Varela la mente non risiede perciò unicamente nel cervello, ma in tutto l'organismo, in questi cicli di processi che collegano il sistema vivente con l'ambiente circostante. Dal momento che la mente nasce nell'interazione tra sistema vivente e ambiente circostante, non si può più dire se essa sia dentro o fuori dal corpo; per questo motivo, non è possibile localizzare la mente. Oltre a non essere localizzabile, la mente ha, secondo Varela, anche la proprietà di esistere o non esistere a seconda dei processi e delle interazioni in atto tra sistema vivente e ambiente. Nonostante questa visione "immateriale" della mente, Varela sottolinea ripetutamente che non ha alcun dubbio sull'origine meccanica della coscienza e della mente, che diventano in questo modo entità meccaniche di tipo virtuale. Secondo questo modello, la mente è il risultato dei pattern dei processi, che interessano il nostro corpo fisico e la sua interazione con l'ambiente.

Di conseguenza, un osservatore esterno che volesse studiare la mente dovrebbe unire assieme i *vissuti soggettivi* dell'individuo, che il soggetto stesso riporta accuratamente applicando diversi metodi introspettivi nei quali viene addestrato, con la descrizione di come questi processi fisici si propagano attraverso tutto il sistema vivente attivandolo dinamicamente. La coscienza è per Varela il risultato di un processo dinamico globale e deve essere studiata come tale. Egli giunge così alla conclusione che l'*hard problem* di Chalmers, ossia la questione della relazione tra la nostra esperienza soggettiva ed i processi fisici oggettivamente osservabili, richiede la nascita di una nuova neuroscienza sperimentale della mente in cui l'esperienza soggettiva si integri con il dato oggettivo.

2. La coscienza secondo l'approccio della Meccanica Quantistica

Nel corso degli anni '30, mentre la psicologia era dominata dal comportamentismo che non reputava la coscienza un oggetto adeguato di indagine scientifica, le più importanti interpretazioni della meccanica quantistica facevano riferimento proprio alla coscienza per spiegare le peculiarità del mondo subatomico. Ad esempio, secondo l'interpretazione di Copenhagen la funzione d'onda collassa in una particella solo quando si opera un atto cosciente di osservazione, di misurazione del sistema sotto osservazione. Secondo questa ipotesi, la coscienza stessa crea la materia e non viceversa.

2.1. Una breve introduzione alla meccanica quantistica

La Meccanica Quantistica (MQ) o fisica quantistica è un complesso di teorie fisiche la cui elaborazione è iniziata nella prima metà del ventesimo secolo e che descrivono il comportamento della materia a livello microscopico, a scale di lunghezza inferiori o dell'ordine di quelle dell'atomo. La meccanica quantistica permette di interpretare fenomeni che, nell'opinione della maggior parte dei fisici contemporanei, non possono essere giustificati dalla meccanica classica. In questo capitolo viene descritta brevemente la nascita della MQ e presentati alcuni modelli con particolare attenzione all'interpretazione di John Cramer in cui viene utilizzata la duplice soluzione dell'energia e inserito il concetto di retrocausalità.

2.1.1 L'esperimento della doppia fenditura: la luce come onda

Il 24 novembre 1803 Thomas Young presentò presso la Royal Society di Londra l'esperimento della doppia fenditura, giungendo così alla dimostrazione della natura ondulatoria della luce:

“L'esperimento di cui sto per parlare (...) può essere ripetuto con grande facilità, purché splenda il sole e con una strumentazione che è alla portata di tutti”.

L'esperimento di Young era molto semplice, un raggio di sole veniva fatto passare attraverso un foro, una fenditura, di un cartoncino, quindi raggiungeva un secondo schermo, con due fori. La luce che attraversava i due fori del secondo schermo finiva infine su uno schermo, dove creava una figura di luci e ombre (Fig. 1) che Young spiegò come conseguenza del fatto che la luce si diffonde attraverso i due fori come *onde*. Queste onde danno origine, nei punti dove si sommano, a fasce chiare (*interferenza costruttiva*), mentre nei punti dove non si sommano a fasce scure (*interferenza distruttiva*).

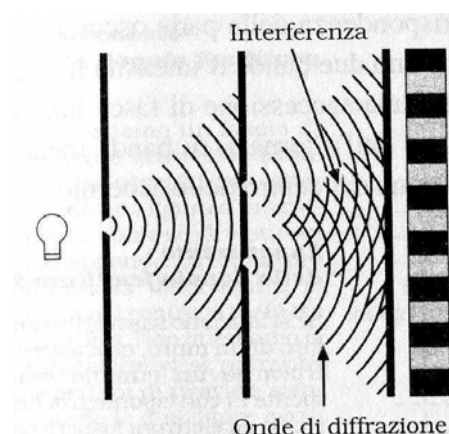


Fig. 1 - *Esperimento della doppia fenditura di Young*

L'esperimento di Young venne accettato come dimostrazione del fatto che la luce si irradia per mezzo di onde. Infatti, se la luce fosse stata costituita da particelle, non si sarebbero osservate alternanze di luci e ombre, ma si sarebbero osservate solo due bande luminose, una per foro. Nell'esperimento della doppia fenditura la banda più luminosa si colloca tra i due fori, in corrispondenza della parte oscurata dallo schermo (Fig. 2).

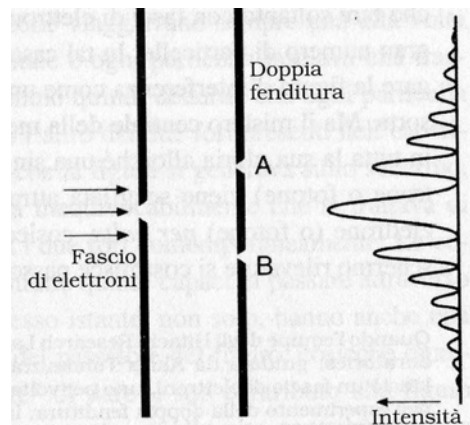


Fig. 2 – Intensità luminosa nell'esperimento della doppia fenditura di Young

L'esperimento di Young sulla natura ondulatoria della luce ha rappresentato un caposaldo della fisica fino a quando, a partire dal lavoro di Max Planck agli inizi del '900, la scienza andò sempre più scoprendo ciò che è oggi noto come *dualismo onda/particella* e che rappresenta uno dei principi fondamentali della meccanica quantistica.

2.1.2 Nascita della meccanica quantistica

Verso la fine del diciannovesimo secolo Lord Rayleigh e Sir James Jeans cercarono di estendere il principio statistico di equipartizione, utilizzato per la descrizione delle proprietà termiche dei gas (particelle), alle radiazioni termiche (onde).

Il Teorema di Equipartizione, dedotto matematicamente dai principi newtoniani della Meccanica, afferma che *"l'energia totale contenuta in un gas si ripartisce ugualmente (in media) fra tutte le particelle."*

Il teorema di equipartizione, applicato alle onde, portava però a prevedere l'esistenza del fenomeno della "catastrofe ultravioletta"; infatti, la radiazione termica si sarebbe concentrata nelle frequenze più

elevate, la frequenza ultravioletta dello spettro, dando luogo a picchi infiniti di energia termica che avrebbero causato, appunto, la catastrofe ultravioletta.

La catastrofe ultravioletta non si manifestava in natura e questo paradosso venne risolto il 14 dicembre 1900 quando Max Planck presentò, ad un raduno della Società tedesca di fisica, un lavoro secondo il quale i livelli di energia sono *quantizzati*. Ovvero, l'energia non cresce o diminuisce in modo continuo, ma sempre per multipli di un "quanto di base", una quantità che Planck definì come il prodotto $h\nu$ dove ν è la frequenza caratteristica del sistema preso in considerazione e h è una costante fondamentale, oggi nota come costante di Planck e che corrisponde a $6,6262 \cdot 10^{-34}$ joule·secondo. Planck aveva concettualizzato la trasmissione dell'energia in forma di pacchetti discreti, alcuni grandi, altri piccoli, in funzione della frequenza di oscillazione del sistema. Al di sotto della frequenza minima del pacchetto di energia, l'intensità della radiazione veniva meno, impedendo così che questa crescesse agli altissimi livelli previsti dalla catastrofe ultravioletta.

Il 14 dicembre 1900 è oggi ricordato come la data in cui è nata la meccanica quantistica.

2.1.3 L'effetto fotoelettrico e la luce come particelle: i fotoni

L'effetto fotoelettrico consiste nel fatto che quando i raggi di luce colpiscono un metallo, il metallo emette degli elettroni. Questi elettroni possono essere individuati e le loro energie misurate.

Le analisi dell'effetto fotoelettrico, per vari metalli e con luci di frequenze differenti mostrano che:

- fino ad una certa soglia di frequenza il metallo non emette elettroni;
- sopra la soglia emette elettroni la cui energia resta la stessa;
- l'energia degli elettroni cresce solo se si aumenta la frequenza della luce.

La teoria classica della luce non era in grado di spiegare questi fenomeni, ad esempio:

- perché l'intensità della luce non aumentava l'energia degli elettroni emessi dal metallo?
- perché la frequenza ne influenzava invece l'energia?
- perché non venivano emessi elettroni sotto una determinata soglia?

Nel 1905 Einstein rispose a queste domande utilizzando la costante di Planck e ipotizzando che la luce, precedentemente considerata solo come onda elettromagnetica, potesse essere descritta in termini di quanti, ovvero pacchetti discreti di energia, particelle che oggi chiamiamo fotoni. La spiegazione fornita da Einstein ebbe un ruolo chiave nella storia dello sviluppo della fisica quantistica, giacché trattava la luce in termini di fasci di particelle, invece che in termini di onde, aprendo così la strada alla dualità onda-particella.

La validità dell'ipotesi di Einstein fu dimostrata sperimentalmente nel 1915 da Robert Millikan che, per ironia, era motivato dall'intento opposto, cioè di dimostrare l'erroneità dell'ipotesi di Einstein. Millikan dedicò una decina d'anni all'esame delle spiegazioni di Einstein sull'effetto fotoelettrico, sperimentando con sempre maggiore accuratezza. Scopri così che le teorie alternative fallivano, mentre l'interpretazione di Einstein si rivelava corretta. Diversi anni dopo, lo stesso Millikan commentò: *“Ho dedicato dieci anni della mia vita ad esaminare quell'equazione del 1905 di Einstein, e contrariamente ad ogni mia aspettativa nel 1915 sono stato costretto ad ammettere la sua netta validità, nonostante la sua illogicità!”*

Nel 1923 le ricerche di Arthur Compton dimostrarono che i quanti elettromagnetici si comportano esattamente come particelle, scambiandosi oltre all'energia anche il momento durante la collisione con gli elettroni.

2.1.4 L'esperimento della doppia fenditura: la dualità onda-particelle

L'esatto equivalente dell'esperimento di Young può oggi essere condotto servendosi di un fascio di elettroni.

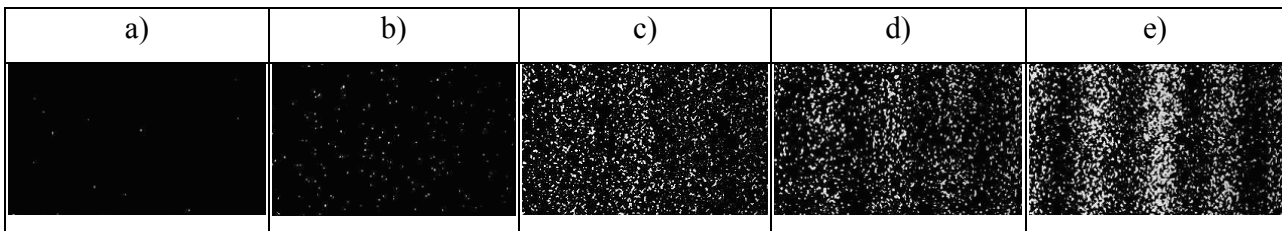


Fig. 3 – *Esperimento della doppia fenditura realizzato con elettroni*
 a) dopo 10 elettroni; b) dopo 100 elettroni; c) dopo 3.000 elettroni; d) dopo 20.000; e) dopo 70.000.

Gli elettroni lanciati in un esperimento della doppia fenditura producono una figura d'interferenza sullo schermo rivelatore (in questo caso uno schermo simile a quello di un televisore) e devono quindi muoversi sotto forme d'onde. Tuttavia, all'arrivo, generano un solo punto di luce, comportandosi quindi come particelle. Si è quindi portati a concludere che gli elettroni viaggino come onde, ma giungono come particelle!

Se l'elettrone fosse una particella potremmo dedurre che ogni particella passa attraverso uno o l'altro dei due fori presenti nell'esperimento; tuttavia, la figura d'interferenza che si genera sullo schermo dimostra che si tratta di onde che attraversano i due fori contemporaneamente. Le entità quantistiche si dimostrano quindi capaci di passare attraverso le due fenditure nello stesso istante; non solo, hanno anche una sorta di consapevolezza del passato e del futuro, cosicché ognuna di esse può scegliere di dare il suo contributo alla figura d'interferenza nel punto corretto, quello che contribuisce alla creazione della figura, anziché alla sua distruzione.

Secondo le parole di Richard Feynman nell'esperimento della doppia fenditura è racchiuso il “mistero centrale” della meccanica quantistica. Si tratta di un fenomeno “*in cui è impossibile, assolutamente impossibile, trovare una spiegazione classica, e che ben rappresenta il nucleo della meccanica quantistica. In realtà, racchiude l'unico mistero... Le peculiarità fondamentali di tutta la meccanica quantistica*” (Feynman, 1977)

2.1.5 Interpretazione di Copenhagen

Tra il 1930 ed il 1980 ha dominato, tra le spiegazioni del mondo quantistico, l'Interpretazione di Copenhagen (CI: Copenhagen Interpretation), secondo la quale la coscienza, tramite l'esercizio dell'osservazione, determina almeno in parte la realtà.

L'interpretazione di Copenhagen fu formulata da Niels Bohr e Werner Heisenberg durante la loro collaborazione a Copenhagen nel 1927. Bohr e Heisenberg ipotizzarono un collegamento diretto tra coscienza e proprietà della Meccanica Quantistica riconoscendo alla coscienza (tramite l'esercizio dell'osservazione o misurazione del sistema), la capacità di far collassare la funzione d'onda determinando, in questo modo, la manifestazione della realtà stessa. Secondo questa interpretazione, la coscienza sarebbe una proprietà immanente della realtà che precede e determina, attraverso l'osservazione ed il conseguente collasso della funzione d'onda, tutta la realtà esistente.

L'esperimento della doppia fenditura viene spiegato nel modo seguente:

- l'elettrone lascia il cannone elettronico come particella;
- si dissolve immediatamente in una serie di onde di probabilità sovrapposte, ovvero una sovrapposizione di stati;
- le onde passano attraverso ambedue le fenditure e interferiscono reciprocamente fino a creare una nuova sovrapposizione di stati;
- lo schermo rivelatore, compiendo una misurazione del sistema quantistico, fa collassare la funzione d'onda in una particella, in un punto ben definito dello schermo;
- l'elettrone comincia ancora una volta a dissolversi in una nuova sovrapposizione di onde subito dopo la misurazione.

Componenti essenziali dell'interpretazione di Copenhagen sono:

- Il principio di indeterminazione di Heisenberg, secondo il quale un'entità quantistica non ha un preciso momento e una precisa posizione nello stesso istante.
- Il concetto di complementarità, ovvero il modo in cui le particelle quantiche hanno contemporaneamente gli attributi della particella e dell'onda.
- L'equazione d'onda di Schrödinger, reinterpretata, come descrizione matematica della probabilità che l'elettrone (o qualsiasi altra entità) sia in un particolare stato.
- La sovrapposizione degli stati, cioè tutte le possibili funzioni d'onda sono miscelate assieme finché la misurazione non ha luogo.
- Il collasso della funzione d'onda che consegue all'atto della misurazione.

Secondo l'interpretazione di Copenhagen l'esistenza oggettiva di un elettrone in un certo punto dello spazio, per esempio in una delle due fenditure, non ha alcun senso indipendentemente da una osservazione concreta. L'elettrone sembra manifestare un'effettiva esistenza solo quando l'osserviamo. La realtà viene creata, almeno in parte, dall'osservatore.

Quando Erwin Schrödinger si rese conto del modo in cui la sua funzione d'onda era stata reinterpretata, fino a diventare un'onda di probabilità dai connotati quasi mistici, commentò: *“Non mi piace, e non avrei mai voluto avere a che fare con qualcosa del genere!”*. Einstein prese subito le distanze dall'interpretazione di Copenhagen affermando che il ricorso alla coscienza e alla probabilità erano prove della incompletezza di tale interpretazione. Secondo Einstein ogni teoria scientifica doveva far uso della causalità. Einstein era solito sottolineare questa sua convinzione affermando che *“Dio non gioca a dadi!”*

2.1.6 L'EPR

Einstein non se la sentì mai di accettare che il caso avesse un posto entro le leggi della natura. Era convinto che la meccanica quantistica fosse corretta nell'assegnare le probabilità ai possibili esiti di un esperimento; ma riteneva pure che l'esigenza di ricorrere alle probabilità fosse dovuta solo alla nostra ignoranza di un livello più profondo della teoria, livello che doveva essere descrivibile da una fisica deterministica (priva cioè di struttura probabilistica). Einstein fu un critico feroce della teoria dei quanti proprio perché non riusciva ad accettare che la natura funzionasse in modo probabilistico: *“Dio decreta; Dio non gioca a dadi”*. Einstein si era convinto che mancasse qualcosa alla teoria dei quanti, che esistessero delle “variabili” nascoste. In aggiunta, Einstein aveva a cuore altre nozioni che considerava “intuitive”, di buon senso, così come lo sono, di fatto, per la maggioranza delle persone. Ad esempio, la nozione di località, secondo la quale ciò che accade in un luogo non può influenzare qualcosa che stia accadendo in un luogo molto distante, a meno che, ovviamente, non venga spedito in questa regione distante un segnale che possa influenzare ciò che sta succedendo in quella regione dello spazio.

Per tutta la vita Einstein tenne fede a tre principi che riteneva dovessero far parte di qualsiasi buona descrizione della natura:

- Il livello di base della natura dovrebbe essere descritto, per principio, da una teoria deterministica, anche se alcune lacune nella umana conoscenza delle condizioni iniziali e delle condizioni al contorno potrebbero costringere gli esseri umani a ricorrere alla probabilità per poter effettuare predizioni sui risultati delle osservazioni.
- La teoria dovrebbe includere tutti gli elementi della realtà.
- La teoria dovrebbe essere locale: quello che accade qui dipende da elementi della realtà che sono localizzati qui.

Nel 1924 Pauli aveva scoperto che gli elettroni hanno uno spin, ossia girano su se stessi come una “trottola”, e che un'orbita può essere occupata solo da due elettroni con spin opposto, uno che gira in senso orario e l'altro che gira in senso antiorario (principio di esclusione di Pauli). Secondo questo

principio, ogni coppia di elettroni che ha condiviso una stessa orbita rimane legata (entangled) continuando ad assumere spin opposti, indipendentemente dalla distanza che li separa.

Nel 1934 Einstein formulò un esperimento mentale che prese il nome di esperimento EPR (Einstein-Podolsky-Rosen) e che rimase irrisolto fino agli anni '80. In pratica Einstein si chiedeva: *“Supponiamo che due particelle siano entangled. Consideriamo ora un osservatore che si occupi di una delle due particelle in una zona molto distante dal punto in cui hanno interagito e che misuri la quantità di moto; allora, questo osservatore sarà ovviamente in grado di dedurre anche la quantità di moto dell'altra particella. Se, viceversa, egli scegliesse di misurare la posizione della prima particella, sarebbe comunque in grado di dire dove si trova esattamente l'altra. Come può lo stato finale della seconda particella venire influenzato da una misurazione effettuata sulla prima, dopo che ogni interazione fisica tra le due è cessata?”*

2.1.7 L'esperimento di Aspect

L'EPR era stato presentato come un “esperimento mentale”, inteso a dimostrare l'assurdità della fisica quantistica ponendo una contraddizione logica; in realtà, nessuno chiedeva che l'esperimento venisse realmente eseguito. Ma nel 1952 David Bohm propose una variazione dell'EPR che riguardava il comportamento dei fotoni, e nel 1964 John Bell dimostrò che la variazione di Bohm poneva le basi, in linea di principio, per un autentico esperimento.

A quell'epoca, in realtà, neppure lo stesso Bell riteneva che quel esperimento potesse davvero essere eseguito. Ma gli sperimentatori accettarono quasi subito la sfida. Nel giro di vent'anni diversi gruppi erano arrivati vicini all'esecuzione delle misurazioni richieste con la precisione richiesta; è comunemente accettato che sia stato proprio il risultato ottenuto dall'équipe di Aspect, pubblicato nel 1982, a sancire definitivamente che Einstein (e con lui il comune buonsenso) dovevano arrendersi alla realtà del mondo quantistico ed alla non-località delle sue regole.

La proprietà quantistica misurata da Aspect è la polarizzazione del fotone, che può essere immaginata come una freccia che punti o verso l'alto o verso il basso. E' possibile stimolare un atomo in modo che

produca simultaneamente due fotoni, i quali si dirigono in due direzioni diverse. Nel complesso, le polarizzazioni dei due fotoni devono cancellarsi: se la freccia del primo è su, l'altra deve essere giù. Ogni fotone nasce con una polarizzazione definita, e il suo partner con la polarizzazione opposta, ed entrambi mantengono tale caratteristica originaria nel loro viaggio nello spazio. Tuttavia, secondo l'interpretazione di Copenhagen, qualsiasi entità quantistica che abbia la possibilità di una scelta del genere esiste in una condizione di sovrapposizione di stati, ovvero una miscela delle due possibilità, finché (in questo caso) la sua polarizzazione non viene misurata. A quel punto, e solo a quel punto, vi è ciò che viene definito "collasso della funzione d'onda", in seguito al quale viene fissata una delle due possibilità.

Tuttavia, la controparte del fotone che viene misurato deve anch'essa trovarsi in una sovrapposizione di stati, almeno fino al momento della misurazione. Poi, nel preciso istante in cui la misurazione del fotone A causa il collasso della funzione d'onda, la funzione d'onda del fotone B (che potrebbe, in linea di principio, trovarsi ormai dall'altra parte dell'universo) deve collassare nello stato opposto. La risposta istantanea del fotone B a ciò che accade al fotone A è proprio ciò che Einstein definì "azione fantasma a distanza".

L'effettivo esperimento realizzato da Aspect misura la polarizzazione in base ad un angolo, che può essere variato, rispetto alle frecce all'insù e all'ingiù. La probabilità che un fotone con una certa polarizzazione passi attraverso un filtro disposto con un certo angolo dipende dalla sua stessa polarizzazione e dall'angolo tra la sua polarizzazione ed il filtro. In una realtà non-locale mutare l'angolo con il quale si sceglie di misurare la polarizzazione del fotone A finirebbe per alterare la probabilità che il fotone B passi attraverso un filtro polarizzatore sistemato con un angolo diverso. Inoltre, l'esperimento non riguarda soltanto due fotoni, ma interi fasci di fotoni, ovvero serie di coppie correlate che sfrecciano attraverso l'apparecchiatura una dopo l'altra.

Bell aveva mostrato che se Einstein aveva ragione il numero di fotoni che passano attraverso il filtro polarizzatore B doveva essere inferiore a quello che passa attraverso il filtro A. Ciò prende il nome di disuguaglianza di Bell. Tuttavia, l'esperimento di Aspect dimostra l'esatto contrario, che il primo valore (A) è in realtà sempre inferiore al secondo valore (B). Per dirla altrimenti, la disuguaglianza di Bell viene violata e il comune buonsenso incarnato da Einstein perde la sfida.

Sebbene l'esperimento di Aspect sia stato motivato proprio dalla teoria quantistica, il teorema di Bell ha implicazioni molto più vaste e la combinazione del teorema di Bell e dei risultati sperimentali rivela una delle verità fondamentali dell'universo, ovvero che ci sono rapporti di correlazione che hanno luogo istantaneamente, indipendentemente dal grado di separazione tra gli oggetti implicati, e che sembrano esistere segnali che possono viaggiare a velocità superiore a quella della luce.

2.1.8 Esperimento della scelta ritardata e retrocausalità

Il fisico John Wheeler propose l'esperimento della *scelta ritardata* partendo dagli esperimenti che mostrano che quando si colloca un rivelatore sulle fenditure e si analizza da quale fenditura passa il fotone la figura d'interferenza scompare. Nell'esperimento della scelta ritardata, il rivelatore viene collocato in un punto intermedio tra le due fenditure ed il rivelatore finale, in modo da osservare quale traiettoria viene assunta da ogni singolo fotone dopo il passaggio tra le due fenditure, ma prima di giungere al rivelatore finale. La teoria quantistica dice che se si spegne il rivelatore intermedio e non si analizzano le traiettorie dei fotoni, questi formeranno una figura d'interferenza. Se però si osservano i fotoni per determinare da che fenditura sono passati, anche se l'osservazione è compiuta dopo che l'hanno attraversata, non ci sarà figura d'interferenza. La "scelta ritardata" entra in gioco appunto perché è possibile decidere se analizzare il fotone (oppure la decisione può essere effettuata casualmente da un computer) dopo che il fotone è passato attraverso la/le fenditura/e. La decisione, secondo la teoria quantistica, sembra influenzare il modo in cui il fotone si comporta nel momento in cui passa per la/le fenditura/e, ovvero una frazione infinitesimale di tempo prima dell'osservazione.

Due esperimenti indipendenti compiuti all'Università del Maryland e all'Università di Monaco di Baviera, intorno alla metà degli anni '80, hanno confermato che ciò accade realmente. Il comportamento dei fotoni in entrambi gli esperimenti è stato influenzato dall'apparato sperimentale, anche se tale apparato subiva mutazioni mentre i fotoni erano già in viaggio; ciò implica che i fotoni hanno una sorta di precognizione della futura struttura dell'apparato, prima ancora di attraversarlo nel loro breve percorso.

La scala di tempo implicata è infinitesimale: solo qualche miliardesimo di secondo. Tuttavia, come lo stesso Wheeler aveva fatto notare, è possibile immaginare un esperimento analogo su scala addirittura cosmica. Ad esempio, utilizzando la luce proveniente da un oggetto molto distante (un quasar) che raggiunge la Terra passando per due diversi percorsi, essendo stata curvata attorno a una grande galassia che si trovava sul tragitto, per via del fenomeno conosciuto come lente gravitazionale. In linea di principio, sarebbe possibile combinare la luce delle due immagini del quasar fino a creare una figura d'interferenza, dimostrando così che ha viaggiato nell'universo come un'onda, seguendo entrambi i possibili percorsi. Oppure si potrebbero monitorare i singoli fotoni, cercando di capire attraverso quale percorso siano arrivati, ma in tal caso non si formerebbe alcuna figura d'interferenza. Dal momento che il quasar in questione potrebbe trovarsi a 10 miliardi di anni luce di distanza, si deduce che la nostra scelta sul metodo di misurazione influenza il modo in cui la luce si è messa in movimento 10 miliardi di anni fa, ovvero 5 miliardi di anni prima della nascita del nostro sistema solare. Se questa versione dell'esperimento della scelta ritardata potesse mai essere portata a termine, costituirebbe la prova più significativa che il mondo quantistico è influenzato da connessioni retrocausali, che operano a ritroso nel tempo.

2.1.9 Interpretazione transazionale e retrocausalità

L'interpretazione transazionale della meccanica quantistica è stata presentata nel 1986 da John Cramer dell'Università di Washington. Le previsioni sugli esiti degli esperimenti rimangono esattamente analoghe a quelle delle altre interpretazioni quantistiche, ma ciò che caratterizza questo modello è una diversa prospettiva su quanto sta accadendo, che molti trovano più semplice rispetto, per esempio, all'interpretazione di Copenhagen o alle altre interpretazioni della meccanica quantistica.

Cramer si è ispirato alla teoria assorbitore-emettitore di Wheeler-Feynman. La versione originale della teoria di Wheeler-Feynman era, a rigor di termini, una teoria classica, giacché non prendeva in considerazione i processi quantistici. Per poter applicare tali idee alla meccanica quantistica, c'era bisogno di un'equazione con una doppia soluzione, come quella di Maxwell, in cui una soluzione, relativa ad onde ritardate, individua energia che fluisce dal passato verso il futuro, mentre l'altra soluzione, relativa ad onde anticipate, individua energia che fluisce a ritroso dal futuro verso il passato.

A prima vista, la famosa equazione d'onda di Schrödinger non era adatta, perché descrive il flusso in un'unica direzione, dal passato al futuro. Tuttavia, come ogni fisico apprende all'università (per poi dimenticarlo subito dopo), tale equazione non è completa in quanto non prende in considerazione i requisiti della teoria della relatività. L'equazione d'onda completa (equazione di Klein-Gordon) comporta, invece, due soluzioni, una corrispondente alla semplice e più familiare equazione di Schrödinger, l'altra paragonabile a una sorta di immagine speculare dell'equazione di Schrödinger, che descrivere la propagazione a ritroso delle onde anticipate: dal futuro verso il passato.

La stessa equazione probabilistica fondamentale, sviluppata da Max Born nel lontano 1926, contiene un riferimento esplicito alla natura del tempo e ai due possibili tipi di equazione di Schrödinger, una che descrive le onde anticipate e l'altra che descrive le onde ritardate. C'è un fatto importante: a partire dal 1926, ogni volta che i fisici hanno preso l'equazione di Schrödinger per calcolare le probabilità quantistiche, hanno di fatto preso in considerazione la soluzione delle onde anticipate, quindi l'influsso delle onde che viaggiano a ritroso nel tempo, senza neppure rendersene conto. Nell'interpretazione di Cramer la matematica, a partire dall'equazione di Schrödinger, è esattamente la stessa dell'interpretazione di Copenhagen. La differenza sta, esclusivamente, nell'interpretazione. L'interpretazione di Cramer riesce nel "miracolo" di risolvere tutti i misteri e gli enigmi della fisica quantistica, rendendola, inoltre, compatibile con i presupposti della relatività ristretta (Fig 4).

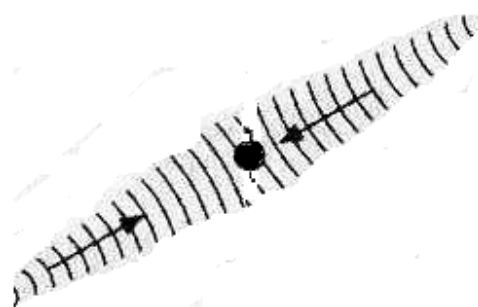


Fig. 4 – Interpretazione Transazionale

La transazione tra onde ritardate, provenienti dal passato, e onde anticipate, provenienti dal futuro, dà luogo ad una entità quantistica con proprietà duali onda/particella. La proprietà delle onde è conseguenza dell'interferenza delle onde ritardate e anticipate e la proprietà della particella è dovuta alla localizzazione della transazione.

Questo miracolo si ottiene però al prezzo di accettare che l'onda quantistica possa realmente viaggiare a ritroso nel tempo. A prima vista, ciò è in aperto contrasto con la logica comune, che ci dice che le cause devono sempre precedere l'evento causato, ma il modo in cui l'interpretazione transazionale considera il tempo differisce dalla logica comune, giacché l'interpretazione transazionale include esplicitamente gli effetti della teoria della relatività. L'interpretazione di Copenhagen tratta, invece, il tempo in modo classico, potremmo dire "newtoniano", e ciò è all'origine delle incongruenze che si manifestano ogni qualvolta si prova a spiegare i risultati di esperimenti come quello di Aspect e della doppia fenditura. Cramer, in pratica, ha scoperto un legame molto profondo tra relatività e meccanica quantistica e ciò rappresenta il nocciolo della sua interpretazione.

2.1.10 Altre interpretazioni della Meccanica Quantistica

Nel corso del tempo, sono nate varie interpretazioni del formalismo matematico della Meccanica Quantistica. Abbiamo già descritto l'interpretazione di Copenhagen (CI) e l'Interpretazione Transazionale di Cramer (TI). Altre interpretazioni sono, ad esempio:

HVT (Hidden Variable Theories): è una "famiglia" di interpretazioni basate sul presupposto che tutte le versioni abituali della Meccanica Quantistica siano incomplete, e che ci sia un livello di realtà sottostante (una sorta di mondo sub-quantistico) contenente informazioni addizionali sulla natura della realtà. Tali informazioni addizionali sono appunto presenti nella forma di variabili nascoste. Se i fisici conoscessero i valori delle variabili nascoste potrebbero prevedere con precisione i risultati di determinate misurazioni, e non dovrebbero accontentarsi della "probabilità" di ottenere certi risultati.

De Broglie-Bohm GWI (Guide Wave Interpretation): in questa interpretazione, proposta originariamente da L. De Broglie e poi migliorata e sostenuta da D. Bohm, ad ogni tipo di particella può essere associata un'onda che guida il moto della particella stessa, come un radar guida una nave. Da qui il termine *teoria delle onde pilota*. Matematicamente, tale onda pilota è descritta dalla classica funzione d'onda di Schrödinger della meccanica quantistica corretta però aggiungendo un fattore che rende conto dell'influenza pilotante sul moto delle particelle. A differenza dell'Interpretazione di

Copenhagen, tale onda pilota è reale e permea tutto l'universo, guidando qualsiasi particella reale (come un fotone o un elettrone).

MWI (Many Worlds Interpretation): proposta da Everett agli inizi degli anni '50 e sostenuta da Wheeler, tale teoria consiste nell'idea che ogni qualvolta il mondo deve affrontare una scelta a livello quantistico (ad esempio, se un elettrone può scegliere in quale fenditura passare nel noto esperimento della doppia fenditura), l'universo si divide in due (ovvero in tante parti quante sono le scelte possibili), di modo che vengano realizzate tutte le possibili opzioni (nell'esperimento di cui sopra, in un mondo l'elettrone passa attraverso la fenditura A, nell'altro attraverso la fenditura B).

2.2 Modelli quantistici della coscienza

La rassegna cronologica dei modelli quantistici della coscienza rinvenuta in letteratura è stata pubblicata nell'articolo *Quantum Models of Consciousness* sulla rivista *Quantum Biosystems* (Vannini 2008).

I modelli della coscienza rinvenuti in questa rassegna possono essere suddivisi in tre grandi categorie:

4. modelli che collocano la coscienza nella posizione di un principio primo dal quale discende la realtà;
5. modelli che fanno discendere la coscienza dalle proprietà indeterministiche e probabilistiche del mondo quantistico;
6. modelli che individuano nella MQ un principio d'ordine dal quale discendono e si organizzano le proprietà della coscienza.

La tabella n. 1 mostra in quale categoria rientra ciascun modello. Analizzando i modelli quantistici della coscienza qui descritti, è possibile rinvenire una tendenza alla "deriva mistica" principalmente nei modelli che rientrano nella prima categoria e che si rifanno, in modo più o meno esplicito, all'interpretazione di Copenhagen. Tali modelli sfuggono, per definizione, alla verifica sperimentale, in quanto fanno discendere i loro assunti dal fatto che la coscienza stessa si pone a monte della realtà

osservata e la determina. In questo senso, i modelli che rientrano nella prima categoria potrebbero essere considerati non tanto dei modelli della coscienza, quanto piuttosto dei modelli che cercano di spiegare l'emergere della realtà osservabile da processi panpsichisti. Non a caso, gli stessi autori di questi modelli fanno esplicito riferimento al concetto di *panpsichismo*.

1) La coscienza crea la realtà	2) Determinismo vs indeterminismo	3) L'ordine crea la coscienza
1930 - Bohr 1987 - Herbert 1989 - Penrose Hameroff 1993 - Stapp 2004 - Järvilehto 2007 - Mender	1925 - Lotka 1963 - Culbertson 1970 - Walker 1980 - Bohm 1989 - Lockwood 1990 - Pitkänen 1992 - Kaivarainen 1998 - Bondi	1941 - Fantappiè 1967 - Umezawa Ricciardi 1968 - Fröhlich 1971 - Pribram 1986 - Eccles 1989 - Marshall 1989 - King 1995 - Yasue 1995 - Vitiello 2003 - Flanagan 2003 - Pereira 2005 - Hu 2005 - Baaquie and Martine 2008 - Hari

Tabella 1: classificazione dei modelli quantistici della coscienza

Per quanto riguarda la seconda categoria di modelli, anch'essi si pongono al di là della falsificabilità, in quanto partono dall'assunto che la coscienza risieda in un dominio non osservabile con le attuali tecnologie della ricerca, come ad esempio i processi che avvengono a scale di misura al di sotto della costante di Planck.

Infine, i modelli che rientrano nella terza categoria e che si basano sulla ricerca, in natura, di un principio di ordine che possa giustificare le proprietà della coscienza, si richiamano prevalentemente a principi e fenomeni che hanno già portato alla realizzazione di interessanti applicazioni in campo fisico (come, ad esempio, i condensati di Bose-Einstein, i superconduttori e il laser). Questo fa in modo che tali modelli possano essere più facilmente tradotti in ipotesi operative da verificare in campo sperimentale.

Al criterio della falsificabilità scientifica, appena discusso, va aggiunto, però, un secondo criterio relativo alla compatibilità del modello con le caratteristiche tipiche dei sistemi biologici. Ciò in quanto i principi di ordine rinvenuti nella terza categoria propongono soluzioni spesso palesemente incompatibili con le caratteristiche dei sistemi biologici, come, ad esempio, i condensati di Bose-Einstein che richiedono, per manifestarsi, temperature prossime allo zero assoluto (-273 C°). Applicando questo secondo criterio di selezione vengono progressivamente esclusi tutti i modelli, ad eccezione di quelli proposti da Luigi Fantappiè e Chris King. A tal proposito è necessario sottolineare che il modello proposto da Fantappiè ed il modello proposto da King possono essere considerati degli “ibridi” tra meccanica quantistica e relatività ristretta, in quanto partono dall’unione dell’equazione di Schrödinger (meccanica quantistica) con l’equazione energia, momento, massa (relatività ristretta).

Si giunge così alla conclusione che tutti i modelli della coscienza proposti nell’ambito della meccanica quantistica non sono traducibili in proposte sperimentali perché sono o incompatibili con il criterio della falsificabilità e/o incompatibili con le caratteristiche dei sistemi biologici. Gli unici due modelli che superano il vaglio di questa rassegna sono quelli che uniscono la meccanica quantistica con la relatività ristretta.

3. La coscienza secondo la duplice soluzione della funzione d’onda

Nell’interpretazione di Copenhagen della meccanica quantistica il collasso della funzione d’onda (collasso dell’onda in una particella) avviene nello stesso istante in tutti i punti dello spazio. Ciò richiede una propagazione istantanea dell’informazione, violando in questo modo il limite della velocità della luce che Einstein aveva individuato come velocità massima di propagazione dell’informazione. Analizzando questo paradosso, Schrödinger giunse alla conclusione che il problema era riconducibile al modo in cui il tempo viene utilizzato nella meccanica quantistica. Infatti, la funzione d’onda (ψ) di Schrödinger, che era al centro di buona parte della discussione, non è relativistica in quanto tratta il tempo nel modo classico, con un ben definito prima e dopo il collasso della funzione d’onda. La versione relativistica della funzione d’onda (ψ) fu prodotta nel 1926 da

Klein e Gordon, quando vi inserirono la relazione energia/momento/massa della relatività ristretta di Einstein:

$$E^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2$$

in cui E è l'energia dell'oggetto, m la sua massa e p il suo momento.

ottenendo quindi l'equazione:

$$E\psi = \sqrt{p^2 + m^2} \psi$$

Come si vede, la soluzione dell'equazione di Klein e Gordon dipende da una radice quadrata che porta sempre ad una duplice soluzione: una positiva, che descrive onde che si propagano dal passato verso il futuro (causalità), e una negativa, che descrive onde che divergono a ritroso nel tempo, dal futuro verso il passato (retrocausalità).

3.1 Il modello della supercausalità di Chris King

Chris King inizia il suo articolo "*Chaos, Quantum-transactions and Consciousness*" (King, 2003) mostrando come l'unione dell'equazione energia-momento-massa di Einstein con la funzione d'onda di Schrödinger ponga gli oggetti quantici di fronte a biforcazioni che possono essere superate unicamente operando scelte.

Anche se la questione in merito a quando una qualsiasi struttura passi dalle leggi del microcosmo (fisica quantistica) a quelle del macrocosmo è ancora oggi una questione aperta, sembra che tale passaggio avvenga gradualmente attorno ai 200 Angström (una unità di misura pari a 0,1 nanometri; ad esempio, l'atomo di idrogeno misura 0,25 Angström). Poiché le strutture biologiche minimali, come le vescicole sinaptiche e i microtuboli, hanno dimensioni inferiori ai 200 Angström, King ipotizza che esse siano oggetti "quantici" sollecitati, di conseguenza, in modo costante dalla causalità e dalla retrocausalità.

Secondo l'autore, da questo punto di partenza nasce una descrizione, innovativa e originale, del rapporto mente-cervello. Tutte le strutture dei sistemi viventi si troverebbero, infatti, di fronte a biforcazioni che obbligano il sistema ad esercitare scelte. Questo stato costante di scelta obbligherebbe i sistemi viventi in una condizione di libero arbitrio che, secondo King, è una caratteristica comune a tutti i livelli dell'organizzazione biologica, dalle molecole fino alle macrostrutture. Dall'esercizio del libero arbitrio, secondo King, emergerebbe la coscienza.

L'indeterminatezza che si osserva a livello biologico deriverebbe quindi dal fatto che il sistema è costantemente esposto a biforcazioni, cioè in ogni istante il sistema è obbligato ad operare una scelta tra cause collocate nel passato (onde divergenti) e cause collocate nel futuro (onde convergenti); l'esito di queste scelte non può essere determinato a priori, rendendo perciò il sistema indeterminato.

Dal momento che le unità fondamentali dei sistemi biologici agirebbero ognuna in base al libero arbitrio, e dal momento che gli esiti di questo libero processo di scelta non sono determinabili a priori, il sistema stesso dovrebbe manifestare costantemente dinamiche caotiche e sfuggire così ad un approccio di studio puramente deterministico-computazionale.

King osserva che se in un sistema caotico si inseriscono degli attrattori si ottengono due effetti:

- da una parte, si generano delle strutture ordinate che prendono la forma di strutture frattali;
- dall'altra, una piccola perturbazione locale può essere amplificata fino a diventare un evento che coinvolge tutto il sistema. L'esempio classico è quello degli attrattori di Lorenz, osservati in meteorologia, rispetto ai quali si giunge fino al punto di ipotizzare che il battito d'ali di una farfalla in Amazzonia possa causare un uragano negli Stati Uniti.

Partendo da queste considerazioni, King prosegue il suo articolo individuando due livelli di spiegazione della coscienza. Nel primo livello, l'informazione si trasferisce dalla mente al cervello, attraverso le scelte operate esercitando il libero arbitrio; nel secondo livello, l'informazione passa dal cervello alla

mente, grazie alla selezione e all'amplificazione dei segnali (ad esempio i segnali sensoriali ricevuti dai recettori periferici, ma anche i segnali interni) operata dalle strutture frattali del cervello. Nella descrizione di King la mente è quindi un'entità immateriale associata alle proprietà coesive (ad esempio l'entanglement ed il campo unificato) che nascono dalla soluzione negativa dell'energia e che si esprimono al livello della fisica quantistica.

King sottolinea che, in genere, le teorie sulla coscienza cercano di spiegare la mente unicamente considerando come essa possa emergere dai processi biologici e sensoriali di base. Si omette però, quasi sempre, di trattare il problema inverso, quello del libero arbitrio, cioè di come la mente possa modificare le reazioni del cervello. L'autore afferma che per comprendere il problema della coscienza è necessario partire dal primo livello, cioè il livello del libero arbitrio, in quanto questo livello elimina una volta per tutte la pretesa di poter descrivere la coscienza in termini computazionali e meccanicisti. Il libero arbitrio, infatti, per definizione, è irrisolvibile in termini di casualità classica e di determinismo. L'autore aggiunge che, al fine di affrontare correttamente il tema della coscienza, è attualmente necessario accettare il superamento della causalità classica estendendo i modelli agli assunti e alle implicazioni della supercausalità.

Prima di affrontare il problema della coscienza, King ritiene utile partire da una definizione precisa dei due livelli prima accennati.

- Il libero arbitrio è definito come la capacità della mente di agire sulle funzioni del cervello, attraverso la volontà e l'intenzionalità. Il libero arbitrio sarebbe quindi la conseguenza diretta delle biforcazioni e della supercausalità che obbligano il sistema ad effettuare costantemente delle scelte, attuandole per mezzo della volontà e della intenzionalità.
- La capacità inversa, invece, cioè la capacità del cervello di agire sulla mente, è comunemente chiamata coscienza e parte dalle proprietà caotiche e frattali del cervello che selezionano e amplificano le percezioni sensoriali, portandole così al livello della mente.

King concorda con Sir John Eccles sulla centralità del libero arbitrio nei processi cognitivi di tutte le persone. Come è noto, tutti noi riteniamo di avere l'abilità di controllare e modificare le nostre azioni per mezzo della volontà e dell'intenzionalità, e nella vita tutte le persone sane assumono di avere

questa abilità. Tuttavia, questa premessa, che definisce la natura del libero arbitrio ed è alla base di tutte le azioni degli esseri umani, contraddice la causalità classica e il determinismo fisico (Hooper e Teresi, 1986). King sostiene che, nel momento in cui si affronta la questione della coscienza partendo dal libero arbitrio non è più possibile sostenere quei modelli, seppur utili per altri motivi, secondo i quali la coscienza derivi esclusivamente dai processi computazionali del cervello e che descrivono il cervello come macchina computazionale deterministica.

Dalla duplice causalità passato/futuro e dallo stato costante di scelta in cui si trovano i sistemi quantici e i sistemi viventi, nascono le dinamiche caotiche che si trasformano in strutture frattali nel momento in cui si inseriscono degli attrattori. Gli attrattori e le dinamiche caotiche sono infatti alla base della geometria frattale e della teoria delle biforcazioni, che mostrano come queste strutture si uniscano e comunichino tra di loro per mezzo della geometria frattale, passando così da forme di caos a forme di ordine.

In sintesi, la coscienza soggettiva secondo King sarebbe quindi composta da due aspetti:

- uno caratterizzato da atti di volontà, di intenzionalità e da processi di scelta che nascono dal libero arbitrio e che, agendo sul cervello, consentono poi di modificare il mondo fisico circostante attraverso i comportamenti agiti dal soggetto;
- l'altro caratterizzato dalla percezione dei segnali provenienti dall'ambiente (sia esterno che interno al soggetto). Questi segnali vengono selezionati e amplificati dalle dinamiche caotiche (attrattori e frattali); questo processo di selezione e amplificazione, a sua volta, raggiungendo il livello della mente, conduce a percepire e rappresentare l'ambiente come esperienza soggettiva.

Secondo King, la supercausalità è l'elemento nuovo che consente oggi di superare le difficoltà incontrate da tutte le teorie sulla coscienza nel tentativo di spiegare la relazione mente-cervello e la coscienza soggettiva.

3.2 Il modello della sintropia di Luigi Fantappiè

Nel luglio del 1942 Luigi Fantappiè presentò presso la Pontificia Accademia delle Scienze i “*Principi di una teoria unitaria del mondo fisico e biologico fondata sulla meccanica ondulatoria e relativistica*” in cui mostrava che le onde ritardate (onde divergenti), le cui cause sono poste nel passato, corrispondono ai fenomeni chimici e fisici soggetti al principio dell’*entropia*, mentre le onde anticipate (onde convergenti), le cui cause sono poste nel futuro, corrispondono ad una nuova categoria di fenomeni soggetti ad un principio simmetrico a quello dell’*entropia*, principio che Fantappiè stesso denominò *sintropia*. Analizzando le proprietà matematiche delle onde anticipate Fantappiè giunse alla conclusione che queste coincidono con le qualità dei sistemi viventi: finalità, differenziazione, ordine e organizzazione.

Il secondo principio della termodinamica afferma che in ogni trasformazione di energia (ad esempio trasformando il calore in lavoro), una parte di energia si libera nell’ambiente. L’*entropia* è la grandezza con cui si misura la quantità di energia che si è liberata nell’ambiente. Quando l’energia liberata è distribuita in modo uniforme (ad esempio non vi sono più variazioni di calore), si raggiunge uno stato di equilibrio e non è più possibile trasformare l’energia in lavoro. L’*entropia* misura quanto un sistema sia vicino allo stato di equilibrio e quale sia quindi il grado di disordine del sistema stesso. I fenomeni entropici presentano quindi le seguenti caratteristiche principali (Fantappiè 1942):

- 1) *causalità*: le onde divergenti non potrebbero esistere in assenza della causa che le ha generate;
- 2) *tendenza all’omogeneità o principio dell’entropia*: i fenomeni entropici tendono ad un livellamento generale, nel senso che procedono dal differenziato verso l’omogeneo, dal complesso verso il semplice. Con il passare del tempo cresce sempre più l’omogeneità e l’uniformità del sistema, ossia l’*entropia* del sistema stesso. L’*entropia*, come espressa dal secondo principio della termodinamica è, quindi, una caratteristica tipica delle onde divergenti.

Le qualità distintive dei fenomeni sintropici sono invece:

- 1) l'entropia diminuisce;
- 2) i fenomeni sintropici sono di tipo antidispersivo e attrattivo, perché l'intensità delle onde convergenti, col passare del tempo, si concentra in spazi sempre più piccoli, con conseguente concentrazione di materia ed energia;
- 3) nei fenomeni sintropici abbiamo uno scambio materiale ed energetico. Infatti, in questi fenomeni si presenta un costante aumento di concentrazione materiale ed energetica. Tuttavia, siccome questa concentrazione non può aumentare indefinitamente, si osservano fenomeni entropici che compensano quelli sintropici e, di conseguenza, uno scambio di materia e di energia con l'ambiente esterno;
- 4) i fenomeni sintropici sono generati da "cause finali", attrattori, che assorbono le onde convergenti. Queste "cause finali" sono strettamente connesse all'esistenza stessa del fenomeno: in questo modo è possibile introdurre il concetto di un "finalismo scientifico", dove la parola finalismo è analoga a "causa finale".

E' importante ricordare che nel macrocosmo, come conseguenza del fatto che l'universo è in espansione, la legge dell'entropia prevale obbligando il tempo a fluire dal passato verso il futuro (Eddington, 1927) e le cause ad essere di tipo classico (causa → effetto). Al contrario, nel microcosmo le forze espansive (entropia) e coesive (sintropia) sono in equilibrio; il tempo fluisce perciò in entrambi i versi (tempo unitario) e le cause sono simmetriche (causa → effetto ← causa), la famosa *Übercausalität* di Einstein, o supercausalità, dando così origine a processi di tipo sintropico.

La legge dell'entropia implica che i sistemi possano evolvere solo verso il disordine e la disorganizzazione; per questo motivo numerosi biologi (Monod, 1974) sono giunti alla conclusione che le proprietà della vita non possono originare dalle leggi del macrocosmo in quanto queste, governate dall'entropia, prevedono l'evoluzione del sistema unicamente nella direzione della morte termica e dell'annullamento di ogni forma di organizzazione e ordine, negando in questo modo la possibilità stessa della vita. La supercausalità ed in modo particolare la sintropia, che governano il microcosmo, implicano invece le proprietà di ordine, organizzazione e crescita tipiche dei sistemi viventi.

Fantappiè ipotizza perciò che la vita origina al livello della meccanica quantistica, livello nel quale entropia e sintropia sono bilanciate e possono aver luogo processi sintropici. Ma, non appena cresce al di là del livello del microcosmo entra in conflitto con la legge dell'entropia, che domina nel macrocosmo e tende a distruggere ogni forma di organizzazione e di struttura. Inizia così il conflitto con la legge dell'entropia e la "lotta" per la sopravvivenza.

Il conflitto tra la vita e l'entropia è ben documentato ed è continuamente dibattuto da biologi e fisici. Schrödinger, rispondendo alla domanda su che cosa permetta alla vita di contrastare l'entropia, rispondeva che la vita si alimenta di *entropia negativa* (Schrödinger, 1988). Alla stessa conclusione giunse Albert Szent-Györgyi quando utilizzò il termine sintropia al fine di descrivere le qualità di entropia negativa come proprietà fondamentali dei sistemi viventi (Szent-Györgyi, 1977). Albert Szent-Györgyi affermava che "*è impossibile spiegare le qualità di organizzazione e di ordine dei sistemi viventi partendo dalle leggi entropiche del macrocosmo*". Questo è uno dei paradossi della biologia moderna: le proprietà dei sistemi viventi si contrappongono alla legge dell'entropia che governa il macrocosmo.

L'ipotesi di un conflitto fondamentale tra vita (sintropia) e ambiente (entropia) porta alla conclusione che i sistemi viventi devono soddisfare alcune condizioni vitali, ad esempio: acquisire sintropia dal microcosmo e combattere gli effetti dissipativi e distruttivi dell'entropia.

Al fine di combattere gli effetti dissipativi dell'entropia, i sistemi viventi devono, secondo questo modello, acquisire energia dal mondo esterno, proteggersi dagli effetti dissipativi dell'entropia ed eliminare i residui della distruzione delle strutture ad opera dell'entropia. Queste condizioni sono generalmente indicate come *bisogni materiali* o *bisogni primari* ed includono:

- *contrastare gli effetti dissipativi dell'entropia*, ad esempio: acquisire energia dal mondo esterno tramite il cibo; ridurre la dissipazione di energia con un rifugio (una casa) e il vestiario.
- *contrastare la continua produzione di scarti*, ad esempio: condizioni igieniche e sanitarie e l'eliminazione dei rifiuti.

La soddisfazione totale di questi bisogni porta ad uno stato di benessere caratterizzato dall'assenza di sofferenza. La soddisfazione parziale, invece, porta a sperimentare sofferenza nelle forme della fame, della sete e della malattia. L'insoddisfazione totale, infine, porta alla morte.

Soddisfare i bisogni materiali non impedisce però all'entropia di distruggere le strutture del sistema vivente. Ad esempio, le cellule vengono distrutte e devono essere rimpiazzate. Per riparare i danni causati dall'entropia, il sistema vivente deve attingere alle proprietà della sintropia che consentono di creare ordine, strutture e organizzazione e di contrapporsi agli effetti distruttivi dell'entropia.

Fantappiè ipotizza perciò l'esistenza di una struttura deputata ad alimentare di sintropia i processi vitali dell'organismo e ravvede nel sistema nervoso autonomo (SNA) tale struttura. Il SNA acquisirebbe sintropia dal microcosmo, alimentando in questo modo i processi rigenerativi dei sistemi viventi. Poiché la sintropia si comporta come un assorbitore/concentratore di energia ipotizza che (Fantappiè, 1955a):

- quando si acquisisce sintropia si avvertono anche sensazioni di calore (concentrazione di energia) associate a vissuti di benessere, soprattutto nell'area toracica (tipica del SNA).
- quando non si acquisisce sintropia si avverirebbero sensazioni di freddo e di vuoto nell'area toracica, associate a dolore, sofferenza e malessere.

Secondo questo modello, quando il bisogno di alimentarci di sintropia non è soddisfatto si sperimentano vissuti di vuoto, di freddo e di dolore, nell'area toracica. Quando questo bisogno è totalmente insoddisfatto i sistemi viventi non sarebbero in grado di alimentare i processi rigenerativi e i danni prodotti dall'entropia non verrebbero riparati, conducendo così il sistema alla morte.

Da questo modello nasce l'ipotesi che i parametri del SNA debbano mostrare comportamenti di anticipazione in quanto la funzione del SNA è quella di alimentare l'organismo di sintropia al fine di sostenere le funzioni vitali del sistema vivente.

In sintesi, gli elementi fondamentali di tale modello (Fantappiè, 1942, 1955a):

- L’equazione di Klein-Gordon implica che il tempo sia unitario, cioè che passato, presente e futuro coesistano, almeno al livello della fisica subatomica.
- A livello del macrocosmo, l’espansione dell’Universo (Frautschi, 1981) implica che la legge dell’entropia prevalga su quella della sintropia, e che il tempo si muova in avanti, nel verso a noi familiare dal passato al futuro.
- La legge dell’entropia, che tende per definizione al livellamento ed alla distruzione delle strutture, si contrappone alla vita.
- Vista l’incompatibilità della vita con la legge dell’entropia, cioè con la legge che governa il macrocosmo, Fantappiè suggerisce che la vita possa originare nel microcosmo, al livello della meccanica quantistica, dove la sintropia può prevalere sull’entropia consentendo così la creazione di ordine e strutture.
- La sintropia porta alla formazione di strutture e di forme d’ordine che crescono rapidamente oltre il livello del microcosmo per entrare nel livello del macrocosmo. Nel macrocosmo prevale però la legge dell’entropia che distrugge qualunque struttura e forma di organizzazione.
- Di conseguenza, per sopravvivere, per contrastare l’effetto mortale dell’entropia, Fantappiè ipotizza che i sistemi sintropici (i sistemi viventi) debbano alimentarsi continuamente di sintropia (energia che si muove a ritroso nel tempo, dal futuro verso il passato). A tal fine, l’autore ipotizza l’esistenza di strutture che fungono da ponte tra il microcosmo ed il macrocosmo. E’ da notare che queste strutture-ponte tra micro e macrocosmo sono state ipotizzate e proposte da molti altri studiosi, tra i quali Eccles (1989), Penrose (1994), Bondi (2005) e Hameroff (2007).
- Fantappiè ipotizza l’esistenza di una struttura deputata ad “alimentare” di sintropia i processi vitali e rigenerativi dell’organismo, individuando tale struttura nel Sistema Nervoso Autonomo (SNA).
- Fantappiè giunge ad ipotizzare che i parametri psicofisiologici del SNA (in particolare conduttanza cutanea e frequenza cardiaca) debbano mostrare comportamenti di anticipazione, dal momento che il SNA si alimenterebbe di energia e di onde che si muovono a ritroso nel tempo per sostenere le funzioni vitali.

4. Alcune verifiche empiriche

Nella letteratura scientifica è possibile rinvenire studi che mettono in risalto il ruolo del sistema neurovegetativo nelle risposte anticipate prestimolo. Questi studi danno sostegno all'ipotesi formulata da Luigi Fantappiè. Ad esempio:

1. *Risposta anticipata prestimolo nella frequenza cardiaca.* Nell'articolo "Heart Rate Differences between Targets and Nontargets in Intuitive Tasks" Tressoldi e collaboratori descrivono esperimenti da loro effettuati che mostrano come la frequenza del battito cardiaco reagisca allo stimolo prima che lo stimolo stesso venga determinato (Tressoldi e coll., 2005).
2. *Risposte elettrofisiologiche.* McCarty, Atkinson e Bradely in "Electrophysiological Evidence of Intuition" evidenziano forti risposte anticipatorie a stimoli futuri dei parametri elettrofisiologici del cuore (McCarty, Atkinson e Bradely, 2004).
3. *Risposta anticipata prestimolo nella conduttanza cutanea.* Nel 2003 Spottiswoode e May, nell'ambito del programma di ricerca del Cognitive Science Laboratory, hanno replicato gli esperimenti di Bierman e Radin (Bierman e Radin, 1997) che mostrano un aumento statisticamente significativo della conduttanza cutanea 2-3 secondi prima della presentazione di stimoli a contenuto emotigeno. Spottiswoode e May hanno confermato questi effetti anticipati osservando una significatività statistica con probabilità di errore inferiore a 0,0005 (Spottiswoode e May, 2003).

L'effetto retrocausale emergente dagli studi appena descritti, tuttora oggetto di verifica, si manifesta in modo costante e con elevati indici di significatività statistica; se confermato, esso potrebbe rappresentare una prima verifica in psicologia sperimentale dell'ipotesi avanzata da Luigi Fantappiè, secondo la quale nei sistemi viventi si manifesterebbero risposte anticipate, in quanto tali sistemi sono collegati, per il loro sostentamento ed evoluzione, ad attrattori (cause) collocati nel futuro.

Nello studio realizzato nel 2005, Tressoldi e collaboratori dell'Università di Padova hanno condotto due esperimenti utilizzando un paradigma di *guessing task*. In ciascun esperimento, a 12 soggetti fu chiesto di tentare di indovinare quale, tra 4 immagini (paesaggi, monumenti, ecc.) presentate in serie su un monitor di computer, sarebbe stata poi estratta come immagine target dal computer stesso. Ogni

soggetto fu sottoposto a 20 trial. In ciascun trial, dopo la scelta operata dal soggetto, l'immagine target veniva estratta dal computer attraverso un algoritmo random. La frequenza cardiaca del soggetto veniva registrata durante la presentazione delle 4 immagini. Nel primo esperimento, si osservò un incremento statisticamente significativo della frequenza cardiaca associata alle immagini target, rispetto alle immagini non target. Questi risultati furono successivamente confermati in un secondo esperimento condotto reclutando altri 12 soggetti.

Sono stati realizzati 4 esperimenti condotti che si basano sul disegno sperimentale proposto da Tressoldi, che è composto da 3 fasi (vedi tabella 1):

1. *Fase di presentazione*: vengono presentati in sequenza, sul monitor del computer, 4 colori a tutto schermo (blu, verde, rosso e giallo). Ogni colore viene presentato per 4 secondi. Il soggetto deve semplicemente guardare i colori e, durante la loro presentazione, la sua frequenza cardiaca viene rilevata ad intervalli fissi di 1 secondo. Per ogni colore si hanno così 4 rilevazioni: una per ogni secondo. La presentazione del colore viene sincronizzata al millesimo di secondo con la rilevazione della frequenza cardiaca. Questa sincronizzazione si effettua facendo precedere l'inizio della sequenza, quando necessario, da una schermata bianca, per il tempo strettamente necessario al fine di realizzare la sincronizzazione. Ogni colore viene, in questo modo, presentato esattamente allo scoccare del secondo.
2. *Fase di scelta*: alla fine della presentazione dei 4 colori viene presentata un'unica immagine formata da 4 barre colorate (blu, verde, rosso e giallo), al centro delle quali è presente un pulsante. Il soggetto deve cliccare il pulsante corrispondente al colore che ritiene sarà successivamente scelto dal computer. Si chiede cioè al soggetto di indovinare il *target*, cioè il colore che verrà successivamente selezionato dal computer.
3. *Fase di selezione e presentazione del target*: non appena il soggetto ha operato la propria scelta, il computer effettua, grazie ad una procedura perfettamente random (e quindi imprevedibile), l'estrazione del colore target e lo visualizza, a tutto schermo, sul monitor del computer (*feedback*). La presentazione del target agisce da feedback per il soggetto, che viene in questo modo informato circa l'esito del proprio tentativo di indovinare il target.






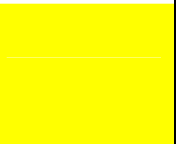
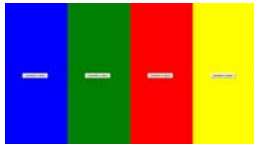

FASE 1 <i>Presentazione dei colori e misurazione della frequenza cardiaca</i>				FASE 2 <i>Scelta</i> 	FASE 3 <i>Selezione Random</i> 
Blu	Verde	Rosso	Giallo	Blu/Verde/Rosso/Giallo	Target: rosso
					
<i>4 secondi</i> <small>HR01 HR02 HR03 HR04</small>	<i>4 secondi</i> <small>HR01 HR02 HR03 HR04</small>	<i>4 secondi</i> <small>HR01 HR02 HR03 HR04</small>	<i>4 secondi</i> <small>HR01 HR02 HR03 HR04</small>		<i>Feedback</i>

Tabella 1 - Fasi di un trial sperimentale

Secondo l'ipotesi di ricerca, in presenza di retrocausalità si dovrebbe osservare, nella fase di presentazione degli stimoli (fase 1), una differenza statisticamente significativa tra le frequenze cardiache durante la presentazione di stimoli target (quelli che verranno successivamente estratti dal computer nella fase 3) rispetto agli stimoli non target (cioè quelli che non verranno successivamente estratti dal computer).

In sintesi:

1. Il primo esperimento ha coinvolto 24 soggetti. Per ogni soggetto il trial veniva ripetuto 60 volte. I risultati hanno mostrato forti differenze, statisticamente significative, tra le frequenze cardiache misurate nella fase 1 quando il colore era target rispetto a quando non era target. L'effetto era particolarmente evidente sui colori blu e verde.
2. Nel secondo esperimento si è voluto rispondere alle seguenti domande, emerse dalle evidenze del primo esperimento:
 - a. l'effetto retrocausale si osserva solo sui colori blu e verde?
 - b. L'effetto retrocausale si osserva solo sui colori?
 - c. L'effetto retrocausale si osserva solo quando il computer visualizza il feedback?

Allo scopo di meglio chiarire i punti appena menzionati, il secondo esperimento è stato organizzato in base a 5 diversi trial: in tre trial la sequenza di presentazione dei colori veniva variata, al fine di rispondere alla prima domanda e indagare se l'effetto si osserva solo sui colori blu e verde; nel quarto trial non veniva visualizzato il feedback, al fine di rispondere alla terza domanda, e quindi indagare se l'effetto retrocausale si osserva solo quando il computer visualizza il feedback; infine, nel quinto trial al posto dei colori venivano utilizzati i numeri in bianco e nero da 1 a 4, al fine di rispondere alla seconda domanda, e cioè indagare se l'effetto si osserva solo sui colori o anche su altri tipi di stimoli. Il secondo esperimento ha visto il reclutamento di 23 soggetti, ed ogni blocco di 5 trial è stato ripetuto 20 volte per ciascun soggetto. I risultati hanno mostrato che: l'effetto non si osserva unicamente sul blu e il verde, ma anche sugli altri colori; l'effetto si osserva anche quando si utilizzano i numeri, e quindi esso può essere veicolato anche da stimoli diversi dai colori; l'effetto è assente quando il computer, pur scegliendo il colore, non lo mostra al soggetto (il feedback viene sostituito da una schermata grigia); infine, l'effetto è più marcato in prossimità del feedback (*effetto posizione*), cioè quando il colore che sarà poi selezionato come target è collocato nella fase 1 nelle ultime posizioni. In questo secondo esperimento, al fine di verificare l'eventuale esistenza di artefatti statistici sono stati generati, in fase di analisi dei dati, una serie di target non correlati con le scelte reali operate dal computer nella fase 3. Non sono state osservate differenze significative in associazione a tali target, e ciò conferma che i valori di significatività statistica osservati non si sarebbero potuti ottenere come effetto del puro caso.

3. L'assenza di feedback (schermata grigia) nel secondo esperimento compariva sempre nel quarto trial e ciò poteva costituire un artefatto. Nel terzo esperimento si è quindi deciso di utilizzare sempre la stessa sequenza dei colori in fase 1, randomizzando però la condizione di presenza/assenza del feedback. I risultati mostrano che l'effetto retrocausale della frequenza cardiaca emerge unicamente nelle condizioni in cui viene visualizzato il feedback. Il feedback del computer, cioè la visualizzazione a monitor del colore scelto dal computer nella fase 3 (*target*), si dimostra perciò essere la causa dell'effetto retrocausale osservabile sulle frequenze cardiache misurate nella fase 1.

Tressoldi e collaboratori (Tressoldi et al, 2005) suggeriscono che l'ipotesi dei marcatori somatici (MS)

così come proposta e descritta da Damasio (Damasio, 1994), possa spiegare le reazioni prestimolo che si osservano in questi disegni sperimentali. Tressoldi sostiene il modello di Damasio del doppio sistema di elaborazione delle informazioni alla base dei processi decisionali:

- il sistema conscio, o dichiarativo, che utilizza i processi verbali e del ragionamento per giungere alla formulazione di una decisione;
- il sistema emozionale, inconscio, non dichiarativo, che utilizza un diverso network neurofisiologico in cui i marcatori somatici, misurabili attraverso la conduttanza cutanea e la frequenza cardiaca, sembrano giocare un ruolo fondamentale.

Tressoldi estende il modello di Damasio introducendo l'ipotesi che i marcatori somatici (segnali emozionali) possano dipendere non solo dall'apprendimento, ma anche da flussi a ritroso dell'informazione.

Damasio non aveva preso in considerazione il fatto che nel *gambling task* la reazione anticipata, osservata tramite la conduttanza cutanea, potesse essere frutto di una vera e propria *anticipazione* e non solo di un apprendimento. Il disegno dei suoi esperimenti si basa infatti sempre su regole implicite che impediscono di verificare se la reazione anticipata della conduttanza cutanea sia dovuta a vera e propria anticipazione o ad un effetto apprendimento.

Il disegno sperimentale utilizzato nel quarto esperimento consente di distinguere in modo preciso l'effetto retrocausale di anticipazione da quello di apprendimento. Infatti, quando si osservano differenze nelle frequenze cardiache (nella fase 1) in associazione alla scelta random (impredicibile) del computer che viene effettuata nella fase 3, queste possono essere attribuite unicamente ad un effetto retrocausale; mentre, quando si osservano differenze nelle frequenze cardiache (fase 1) in associazione alla scelta (fortunata/sfortunata) operata dal soggetto nella fase 2, queste possono essere interpretate come effetti di apprendimento.

Il quarto esperimento ha utilizzato, in fase 1, la stessa sequenza di colori del primo esperimento, ma nella terza fase un colore ha una probabilità del 35% di essere estratto (*colore fortunato*), un altro

colore ha una probabilità di essere estratto del 15% (*colore sfortunato*) e gli ultimi due colori hanno una probabilità di estrazione del 25% ciascuno (*colori neutri*). L'obiettivo dei soggetti sperimentali è quello di cercare di indovinare il più possibile il target che sarà estratto dal computer. I soggetti non sono stati informati del fatto che i colori hanno diverse probabilità di essere estratti. L'esperimento ha coinvolto 30 soggetti, ogni sessione comprendeva 100 trial ed in ogni trial 16 frequenze cardiache venivano misurate ad intervalli fissi di un secondo nella fase 1. Le ipotesi di ricerca del quarto esperimento sono:

1. si ipotizza nuovamente l'effetto retrocausale sulla frequenza cardiaca in fase 1 in associazione alla scelta imprevedibile operata dal computer in fase 3;
2. si ipotizza un effetto apprendimento della frequenza cardiaca in fase 1 in associazione alla scelta che il soggetto opera in fase 2;
3. si vuole studiare se esiste un effetto di interazione tra i due effetti precedenti, in quanto entrambi agiscono sul parametro di frequenza cardiaca.

I risultati del quarto esperimento mostrano:

1. un forte effetto retrocausale su tutti i colori: blu (Chi Quadro 117,63 $p < 1/10^{27}$), verde (Chi Quadro 51,99), rosso (Chi Quadro 55,48) e giallo (Chi Quadro 47,48);
2. uno sbilanciamento dell'effetto retrocausale associato al colore blu ($p=0,0000000000000040$) e verde ($p=0,00000055$);
3. un forte effetto retrocausale sin dai primi 33 trial, come atteso dall'ipotesi retrocausale;
4. un effetto apprendimento della frequenza cardiaca ($p=0,000000000023$). L'effetto è stato valutato come differenza tra frequenze cardiache (misurate nella fase 1) a seconda della scelta operata dal soggetto nella fase 2. È importante sottolineare che questo effetto si osserva in modo estremamente forte nel terzo e ultimo blocco dell'esperimento, come atteso trattandosi di un effetto apprendimento;
5. un'interazione tra effetto apprendimento ed effetto retrocausale nella fase centrale dell'esperimento, nella quale entrambi gli effetti si annullano per poi risalire nell'ultima fase dell'esperimento ($p=0,0000000000000076$).

5. Discussione

I risultati appena descritti supportano l'ipotesi formulata da Luigi Fantappiè sulle qualità di anticipazione tipiche dei sistemi viventi e avvalorano l'ipotesi di effetti retrocausali associati al sistema neurovegetativo. I modelli della coscienza proposti da Fantappiè e King, che nascono dalla duplice soluzione dell'equazione di Klein-Gordon (causalità/retrocausalità), pur sovrapponibili per molti aspetti, si differenziano per alcuni elementi significativi.

9.2.1 Modello di Fantappiè

Fantappiè afferma che l'essenza stessa dei sistemi viventi è la sintropia, cioè le onde anticipate, la soluzione negativa dell'energia che descrive onde ed energia che si muovono a ritroso nel tempo, dal futuro verso il passato (Fantappiè, 1942).

Secondo Fantappiè, il sentimento di vita è una proprietà intrinseca della sintropia in quanto le onde anticipate sono convergenti e portano ad assorbire energia ed informazione. Per Fantappiè le onde anticipate agirebbero innanzitutto tramite il sistema nervoso autonomo e prenderebbero la forma di sentimenti ed emozioni (Fantappiè, 1955).

Sviluppando queste considerazioni, il modello di Fantappiè potrebbe risultare non solo compatibile con il modello proposto da Damasio, ma addirittura rappresentarne una ulteriore specificazione. In questo senso, il *sentimento di fondo* ipotizzato da Damasio coinciderebbe con il sentimento di vita che, secondo Fantappiè, si manifesterebbe nella forma di emozioni e sentimenti, la cui collocazione fisica coinciderebbe con il SNA. L'unica differenza rispetto alle ipotesi di Damasio è che, applicando il modello di Fantappiè, le emozioni e i sentimenti sarebbero, almeno in parte, anche il risultato di *stati futuri*. Nelle sue osservazioni cliniche, Damasio ha costantemente riscontrato l'importanza del futuro: “i ricordi del futuro, previsti per un momento che potrebbe arrivare, hanno in ogni istante un grande peso nel sé autobiografico. I ricordi degli scenari che concepiamo come desideri, obiettivi e obblighi esercitano in ogni momento una pressione sul sé” (Damasio, 1999); “I soggetti colpiti da deficit

nell'attività decisoria mostrano un comportamento che si potrebbe descrivere come miopia rispetto al futuro" (Damasio, 1994).

9.2.2 Modello di King

Chris King (1996), come Fantappiè, parte dalla duplice soluzione dell'equazione di Klein-Gordon. Secondo King, ogni cellula e processo biologico sarebbero obbligati a scegliere tra informazioni che vengono dal passato (onde divergenti, emettitori-entropia) e informazioni che vengono dal futuro (onde convergenti, assorbitori-sintropia).

Ad esempio, il metabolismo si distingue in:

- processi sintropici: *anabolismo* che comprende tutto l'insieme dei processi di sintesi o bioformazione delle molecole organiche (biomolecole) più complesse da quelle più semplici o dalle sostanze nutritive;
- processi entropici: *catabolismo* che comprende i processi che hanno come prodotti sostanze strutturalmente più semplici e povere di energia, liberando quella in eccesso sotto forma di energia chimica (ATP) ed energia termica.

Come conseguenza di tutto ciò, il modello suggerisce che a livello macroscopico, proprio a causa di questi processi costanti di scelta, i sistemi biologici debbano presentare costantemente caratteristiche *caotiche*.

Nel 1963 il meteorologo E. Lorenz scoprì l'esistenza di sistemi caotici sensibili, in ogni punto del loro moto, a piccole variazioni. Ad esempio, studiando al computer un semplice modello matematico dei fenomeni meteorologici, si accorse che con una piccola variazione delle condizioni iniziali si produceva uno "stato caotico" che si amplificava e che rendeva impossibile ogni previsione. Analizzando questo sistema che si comportava in modo così imprevedibile, Lorenz scoprì l'esistenza di un attrattore che venne poi chiamato "attrattore caotico di Lorenz": questo

attrattore porta le perturbazioni microscopiche ad essere enormemente amplificate e ad interferire con il comportamento macroscopico del sistema. Lorenz stesso descrisse questa situazione con la celebre frase: “*il battito d’ali di una farfalla in Amazzonia può provocare un uragano negli Stati Uniti*”.

Secondo King, di questo apparente caos si alimentano i processi della coscienza che sono fondamentalmente di tipo sintropico e quindi non riproducibili in laboratorio o grazie a tecniche computazionali.

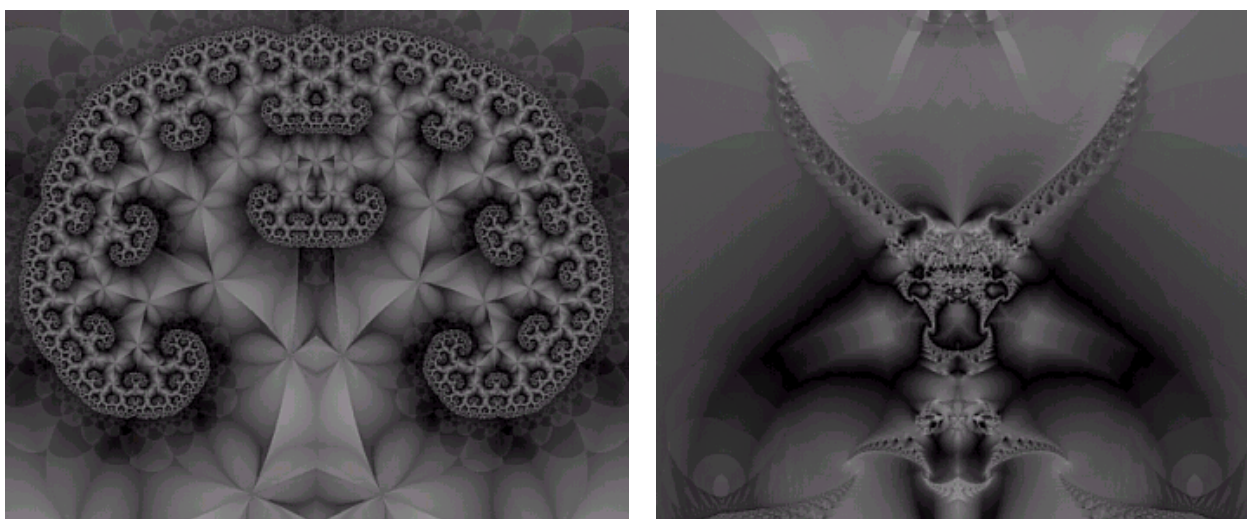


Fig. 2 - Immagini tratte dal sito: <http://fractalarts.com/>. E' notevole la somiglianza di queste immagini frattali con le strutture cerebrali.

Inserendo nei sistemi “caotici” degli attrattori (sintropia) si generano, come mostrato da Mandelbrot, figure complesse e allo stesso tempo ordinate note come *frattali*. La geometria frattale sta affascinando molti ricercatori a causa della similarità che alcune di queste figure hanno con l’organizzazione dei sistemi viventi. Infatti, in natura moltissime strutture richiamano la geometria frattale: il profilo delle foglie, lo sviluppo dei coralli, la forma del cervello e le diramazioni dendritiche (Fig.2).

E' straordinaria la quantità di strutture frattali osservabili all'interno del corpo umano, ad esempio:

1. le arterie e le vene coronariche presentano ramificazioni di tipo frattale. I vasi principali si ramificano in una serie di vasi più piccoli che, a loro volta, si ramificano in vasi di calibro ancora più ridotto. Sembra, inoltre, che queste strutture frattali abbiano un ruolo vitale nella meccanica della contrazione e nella conduzione dello stimolo elettrico eccitatorio: l'analisi spettrale della frequenza cardiaca mostra che il battito normale è caratterizzato da un ampio spettro che ricorda una situazione caotica;
2. anche i neuroni presentano strutture simili ai frattali: se si esaminano a basso ingrandimento si possono osservare ramificazioni asimmetriche (i dendriti) connesse con i corpi cellulari, a ingrandimento leggermente superiore si osservano ramificazioni più piccole a partire da quelle più grandi e così via;
3. le vie aeree polmonari ricordano i frattali. Bronchi e bronchioli formano un albero con ramificazioni multiple, la cui configurazione si presenta simile sia ad alto che a basso ingrandimento. Misurando i diametri dei diversi ordini di ramificazione, si è appurato che l'albero bronchiale può essere descritto con la geometria frattale.

Queste osservazioni hanno portato ad ipotizzare che l'organizzazione e l'evoluzione dei sistemi viventi (tessuti, sistema nervoso, ecc.) possa essere guidata da una serie di attrattori, in modo analogo a quanto avviene nella geometria frattale.

L'esistenza di processi non-locali è una delle qualità base dell'inversione della freccia del tempo e, se il modello della sintropia è corretto, deve essere intesa come una qualità base dei sistemi viventi. Di conseguenza, sarebbe inevitabile concludere che la non-località debba essere una qualità dei processi biologici in quanto tali. In quest'ottica, i processi cerebrali dovrebbero presentare la co-presenza di caos e ordine (caratteristiche tipiche dei processi non-locali e degli attrattori/sintropia): il caos nasce dal fatto che si attiverebbero processi non meccanici, indeterminati, mentre l'ordine nascerebbe dal fatto che i sistemi sintropici, attraverso l'azione degli attrattori, andrebbero inevitabilmente verso una riduzione dell'entropia e un aumento della differenziazione e dell'organizzazione. Questo fatto è particolarmente evidente nei processi cerebrali, processi nei quali coesistono caos, complessità e ordine. A questo proposito King afferma che *“l'interazione tra*

cause che non sono tra loro contigue si manifesta sotto forma di un'apparente situazione caotica che può quindi essere studiata solo da un punto di vista probabilistico. In altre parole, i processi caotici che si osservano nel sistema nervoso possono essere il risultato di un comportamento apparentemente casuale di tipo probabilistico, in quanto non è locale sia nello spazio come nel tempo stesso. Ciò potrebbe, ad esempio, consentire ad una rete neurale di connettersi a livello sub-quantico con situazioni non-locali nello spazio e nel tempo, e quindi spiegare il motivo per cui i comportamenti risultino attualmente non determinabili per mezzo delle tecniche classiche computazionali. L'interazione quantica renderebbe le reti neurali analoghe ad assorbitori e trasmettitori di particelle e di anti-particelle.” (King, 1996a).

9.2.3 Differenziazione dai modelli computazionali

Secondo Fantappiè, il “sentimento di vita” è una proprietà delle onde anticipate; secondo King, la coscienza emerge dall'esercizio del libero arbitrio, cioè dalla necessità di dover scegliere tra informazioni provenienti dal passato e informazioni provenienti dal futuro. In entrambi i casi, il sentimento di vita e la coscienza discendono dall'allargamento del modello alla soluzione negativa dell'energia. Secondo questo approccio, nessun modello che sia basato nelle sue spiegazioni unicamente sulla soluzione positiva dell'energia, come ad esempio i sistemi computazionali o meccanici, potrà mai dar ragione dell'esperienza soggettiva del sentimento di vita e, in generale, dei cosiddetti *qualia*, cioè degli aspetti qualitativi delle esperienze coscienti.

La legge della sintropia, con le sue proprietà coesive e unitarie, oltre ad offrire un modello interessante per tentare una spiegazione del sentimento di vita, della coscienza e delle esperienze soggettive, consente di intravedere possibili spiegazioni anche in campi quali il binding, l'integrazione percettiva, l'intuizione ed, in generale, il comportamento umano (inteso come lotta contro gli effetti della legge dell'entropia), contribuendo alla comprensione di fenomeni attualmente rimasti inesplicati applicando un approccio computazionale. Ad esempio:

- Eliano Pessa, astrofisico, professore di psicologia generale presso l'Università di Pavia: *“come è possibile che i processi di percezione visiva negli essere umani siano così rapidi se ognuno di essi*

implica un così gran numero di operazioni e fasi differenti? Come è possibile che, salvo casi particolari, gli esseri umani effettuino riconoscimenti corretti, nonostante l'elevata probabilità che, in una catena di elaborazioni così complessa, in cui ogni fase dipende in modo cruciale dai risultati ottenuti nella precedente, si verifichi un errore che fatalmente comprometterebbe il funzionamento corretto dell'intero processo? L'approccio computazionale non offre risposte a queste domande" (Pessa, 1992).

- Gigerenzer, ricercatore in scienze cognitive del Max Planck Institut: *“quando un giocatore di baseball prende una palla dovrebbe, secondo l'approccio computazionale, risolvere un problema complesso di equazioni differenziali: calcolare la traiettoria della palla, la parabola, stimare la distanza iniziale, la velocità iniziale, l'angolo di lancio, la velocità e la direzione del vento in ogni punto, ed effettuare tutti questi calcoli in pochi secondi da quando la palla è stata lanciata. Il cervello si comporta come se avesse risolto in pochi istanti un insieme di equazioni differenziali, di cui non conosce parte delle informazioni, ma questo senza inficiare la sua abilità nel gioco. Se si chiede ad un professionista di baseball come fa a prendere una palla al volo in genere dirà di non averci mai pensato.”* Gli allenatori sanno che le scelte migliori vengono operate in modo intuitivo e che quando si chiede ai giocatori di utilizzare procedure cognitive inevitabilmente sbagliano (Gigerenzer, 2009).
- Il biologo Rosen, nel suo libro *“Anticipatory systems”* individua, come caratteristica fondamentale del mondo biologico, la *capacità di anticipare gli eventi*: *“E' evidente che la caratteristica più peculiare dei sistemi viventi è la dipendenza da stati futuri e non solo da stati passati”* e giunge alla conclusione che questa capacità, che tutti i biologi rinvennero, non può essere ricondotta a processi computazionali o a modelli predittivi (Rosen, 1985).
- Damasio, nell'*Errore di Cartesio*, evidenzia il ruolo delle emozioni nei processi decisionali e il fatto che nel momento in cui i vissuti emozionali non vengono percepiti, ad esempio a causa di lesioni cerebrali, la persona sviluppa deficit decisionali. Damasio utilizza l'espressione *“miopia rispetto al futuro”* per descrivere i deficit decisionali che emergono nel momento in cui la persona non è in grado di percepire i propri vissuti emozionali. Esiste oggi una letteratura ampia che collega le sensazioni viscerali ai processi decisionali e che evidenzia come alcune delle migliori decisioni vengano guidate proprio dalle sensazioni viscerali.

La legge della sintropia amplia il concetto di causalità, aggiungendo alle cause classiche che provengono dal passato anche cause che fluiscono a ritroso nel tempo, dal futuro verso il passato. Se la legge della sintropia è reale, come suggerito dai dati empirici emersi da questo lavoro di ricerca e che altri ricercatori hanno già replicato in modo indipendente, le conseguenze sono, come direbbe Fantappiè, “tremende” non solo nel campo della fisica, ma anche della biologia, della psicologia e delle scienze sociali.

Bibliografia

- Amir D. Aczel (2004) *Entanglement: il più grande mistero della fisica*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2004;
- Anderson C.D. (1932) *The apparent existence of easily deflectable positives*, Science, 76:238 (1932);
- Arcidiacono G. ed S. (1991) *Entropia, Sintropia ed Informazione*, Di Renzo Editore, Roma 1991;
- Armour J.A. (2004) *Cardiac neuronal hierarchy in health and disease*, American journal of physiology, regulatory, integrative and comparative physiology. Aug. 2004; 287 (2), p. 262-71;
- Arndt M. e Zeilinger A. (2005) *Probing the limits of the quantum world*, PhysicsWorld, Marzo 2005, p. 35-42;
- Arntz W., Chasse B. e Vincente M. (2006) *Bleep*, Macro Edizioni, Cesena 2006;
- Aspect A. (1982) *Experimental Realization of Einteinstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedanken-experiment*, Physical Review Letters, vol. 49, 91, 1982;
- Atmanspacher H., Bishop R. (2002) *Between Chance and Choice*, Imprint Academic, UK, p. 92.
- Baaquie B., Martin F. (2005) *Quantum Psyche. Quantum Field Theory of the Human Psyche*, NeuroQuantology, Vol 3(1): 7-42;
- Baggott J. (2003) *Beyond measure*, Oxford University Press, p. 171;
- Bechara A., Tranel D., Damasio H. e Damasio A.R. (1996) *Failure to Respond to Anticipated Future Outcomes Following Damage to Prefrontal Cortex*, Cerebral Cortex, 1996, vol. 6, no. 2, p. 215;
- Bechara A., Damasio H., Tranel D. e Damasio A.R. (1997) *Deciding Advantageously before Knowing the Advantageous Strategy*, Science, 1997, vol. 275, p. 1293;
- Bechara A., Damasio H., Tranel D. e Damasio A.R. (2005) *The Iowa Gambling Task and the somatic marker hypothesis: some questions and answers*, Trends in Cognitive Sciences, vol. 9: 4, April 2005;

- Bierman D.J. e Radin D.I. (1997) *Anomalous anticipatory response on randomized future conditions*. Perceptual and Motor Skills, 84, 689-690;
- Blanchard E.B., Wulfert E., Freidenberg B.M., et al. (2000) *Psychophysiological Assessment of Compulsive Gamblers' Arousal to Gambling Cues: A Pilot Study*, Appl. Psychophysiol. Biofeedback, 2000, vol. 25, no. 3, p. 155;
- Bohm D. (1980) *Wholeness and the implicate order*, Routledge, Oxford 1980;
- Bohm D. e Hiley B.J. (1993), *The Undivided Universe*, Routledge, London, p. 275-276;
- Bondi M. (1998) *The role of synaptic junctions in the identification of human consciousness*. Biology Forum, Vol. 91: 329-334;
- Bondi M. (2005) *Quantum Electrodynamics and Unified Synaptic Channel in the identification of Consciousness*, NeuroQuantology, Vol. 3(2): 119-133;
- Chalmers D. (1995) *Facing up to the Problem of Consciousness*, in *Journal of Consciousness Studies*, 1995, 2, 3, pag. 201;
- Chalmers D. (1996) *La mente cosciente*, McGraw-Hill Italia, Milano 1996;
- Cramer J.G. (1986) *The Transactional Interpretation of Quantum Mechanics*, Reviews of Modern Physics, Vol. 58: 647-688;
- Cramer J.G. (2006) *What's done is done... or is it?*, New Scientist, 30 September 2006, pp. 6-10;
- Culbertson J. (1963) *The minds of robots*, University of Illinois Press 1963;
- Culbertson J. (1976) *Sensations, memories and the flow of time*, Cromwell Press, Trowbridge, UK 1976;
- Damasio A.R. (1994) *L'errore di Cartesio*, Adelphi, Milano 1994;
- Damasio A.R. (1999) *Emozione e Coscienza*, Adelphi, Milano 1999;
- De Beauregard O. (1953) *Comptes Rendus* 236, 1632-1634;
- De Beauregard O.C. (1957), *Théorie synthétique de la relatività restrinta et des quanta*, Gauthier – Villars, Paris 1957 ;
- De Beauregard C. (1977) *Time Symmetry and the Einstein Paradox*, Il Nuovo Cimento (42B);
- Dummett M. (1954) *Can an Effect Precede its Cause*, Proceedings of the Aristotelian Society (Supp. 28);
- Eccles J.C. (1970), *Facing reality*, Springer, New York 1970;
- Eccles J.C. (1989) *Evolution of the brain*, Routledge, Oxford 1989;
- Eccles J.C. (1994) *The self and its brain*, Springer, Berlin, Germany 1994;

- Eddington A. (1927) *The Nature of the Physical world*, Ann Arbor Paperbacks, University of Michigan Press, Ann Arbor 1958;
- Eddington A. (1935) *New Pathways in Science*. Cambridge Univ. Press 1935;
- Edelman G.M. e Tononi G (2000) *Un universo di coscienza*, Einaudi, Torino, 2000;
- Einstein A. (1916) *Relatività, esposizione divulgativa*, Universale Bollati Boringhieri, Torino 1967;
- Fantappiè L. (1942) *Sull'interpretazione dei potenziali anticipati della meccanica ondulatoria e su un principio di finalità che ne discende*. Rend. Acc. D'Italia, n. 7, vol 4;
- Fantappiè L. (1943) *Teoria unitaria de la causalidad y finalidad en los fenomenos fisicos y biologicos, fundada en la mecanica ondulatoria y relativista*. Rev. Mat. Hispano-Americana, s. 4, t. 3;
- Fantappiè L. (1944a) *Principi di una teoria unitaria del mondo fisico e biologico*. Humanitas Nova, Roma 1944;
- Fantappiè L. (1944b) *Principi di una teoria unitaria del mondo fisico e biologico*, Di Renzo Editore, Roma 1991;
- Fantappiè L. (1945) *La nuova teoria unitaria dei fenomeni naturali*. Orientamenti culturali, Roma, vol. I, f. 6, 1945;
- Fantappiè L. (1947a) *Visione unitaria del mondo e della vita. Conferenza*, ed. Studium Christi, Roma 1947;
- Fantappiè L. (1947b) *Una nuova teoria unitaria*, Rec. Responsabilità del Sapere, anno I, f. 1-2, Roma 1947;
- Fantappiè L. (1948) *Il problema sociale alla luce della nuova teoria unitaria*. Responsabilità del Sapere, anno II, f. 9, Roma, 1948;
- Fantappiè L. (1955a) *Conferenze scelte*, Di Renzo Editore, Roma 1993;
- Fantappiè L. (1955b) *L'eterno nel tempo*, Pro Civitate Christiana, Assisi 1955;
- Faye J., Scheffler U. e Urchs M. (1994). *Logic and Causal Reasoning*. Wiley-VCH. ISBN 3050025999;
- Feynman R. (1949) *The Theory of Positrons*, Physical Review 76: 749;
- Feynman R. (2001) *Meccanica Quantistica*, in *La fisica di Feynman*, Vol.III, Zanichelli, Bologna 2001;
- Flanagan B.J. (2003) *Multi-Scaling, Quantum Theory, and the Foundations of Perception*, NeuroQuantology, Vol. 1(4): 404-427;

- Frautschi S. (1982) *Entropy in an expanding universe*, Science, vol. 217, Aug. 13, 1982, 593-599;
- Freeman W. (2000) *Come pensa il cervello*, Einaudi, Milano 2000;
- Fröhlich H. (1968) *Long range coherence and energy storage in biological systems*, Int. J. Quantum Chemistry, Vol2: 641-649;
- Galileo Galilei (1979) *Il Saggiatore*, a cura di Libero Sosio, Feltrinelli, Milano 1979;
- Gamow G. (1990) *Trent'anni che sconvolsero la fisica*, Zanichelli, Bologna 1990;
- Ghirardi G.C. (2003) *Un'occhiata alle carte di Dio*, Il Saggiatore, Milano 2003;
- Gigerenzer G (2009) *Decisioni Intuitive*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2009;
- Gribbin J. (2004) *Q come Quanto: dizionario enciclopedico illustrato di fisica quantistica*, Macro Edizioni, Cesena 2004;
- Hameroff, S.R. (1982) e Watt R.C., *Information processing in microtubules*, J. Theor. Biol., 98:549-561;
- Hameroff S.R., Penrose R. (1995) *Orchestrated reduction of quantum coherence in brain microtubules: A model for consciousness*. Neural Network World, Vol. 5(5): 793-804;
- Hameroff S. (1998) *Quantum computation in brain microtubules: the Penrose-Hameroff model of consciousness*, Phil. Trans. R. Soc. Lond Vol. 356: 1869-1896;
- Hameroff S. (1998) *Consciousness, the brain and spacetime geometry*, in The Annals of the New York Accademy of Sciences, Special Issue Cajal and Consciousness;
- Hameroff S., Penrose R. (2003) *Conscious events as orchestrated space-time selections*, NeuroQuantology, Vol. 1(1): 10-35;
- Hameroff S. (2007) *Orchestrated reduction of quantum coherence in brain microtubules*, NeuroQuantology, Vol. 5(1): 1-8;
- Hari S. (2008) *Eccles's Psychons Could be Zero-Energy Tachyons*, NeuroQuantology, Vol. 6(2): 152-160;
- Herbert N. (1987) *Quantum Reality: Beyond the New Physics*, American Journal of Physics, Vol. 55(5): 478-479;
- Herzog T. J. et al. (1995) *Complementarity and the Quantum Eraser*, Physics Review Letters 75 (17): 3034-3037;
- Hu H. e Wu M. (2004) *Spin as Primordial Self-Referential Process Driving Quantum mechanics, Spacetime Dynamics and Consciousness*, NeuroQuantology, Vol. 2 (1): 41-49;

- Ioannidis J.P.A. (2005), *Contradicted and Initially Stronger Effects in Highly Cited Clinical Research*, JAMA. 2005; 294: 218-228;
- Jahn R. e Dunne B. (1997) *Science of Subjective*, Journal of Scientific Exploration, Vol. 11, No. 2, pp. 201–224, 1997;
- James S., Spottiswoode P. e May C. (2003) *Skin Conductance Prestimulus Response: Analyses, Artifacts and a Pilot Study*, Journal of Scientific Exploration, Vol. 17, No. 4, pp. 617-641;
- Janis I.L. e Mann L. (1977) *Decision-making: a psychological analysis of conflict, choice, and commitment*, New York: Free Press 1977;
- Järvilehto T. (2004) *Consciousness and the Ultimate Essence of Matter*, NeuroQuantology, Vol. 2(3): 210-218;
- Jibu M. e Yasue K. (1995) *Quantum brain dynamics and consciousness*, in *Advances in Consciousness Research*, Vol.3, John Benjamins Publishing Company, Amsterdam;
- Kaivarainen A. (1992) *Mesoscopic theory of matter and its interaction with light. Principles of self-organization in ice, water and biosystems*, Finland: University of Turku;
- Kaivarainen A. (2005) *Hierarchic Model of Consciousness*, NeuroQuantology, Vol. 3(3): 180-219;
- King C.C. (1989) *Dual-Time Supercausality*, Physics Essays, Vol. 2(2): 128-151;
- King C.C. (1990) *Did Membrane Electrochemistry Precede Translation? Origins of Life & Evolution of the Biosphere* Vol. 20: 15-25;
- King C.C. (1991) *Fractal and Chaotic Dynamics in the Brain*, Prog Neurobiol, Vol. 36: 279-308;
- King C.C. (1996a) *Fractal neurodynamics and quantum chaos: Resolving the mind-brain paradox through novel biophysics*, In E. Mac Cormac and M. Stamenov (Eds.), *Fractals of brain, fractals of mind*, *Advances in Consciousness Research*, 7, John Benjamin Publishing Company, Amsterdam;
- King C.C. (1996b) *Quantum Mechanics, Chaos and the Conscious Brain*, J Mind and Behavior, Vol. 18: 155-170;
- King C.C. (2003) *Chaos, Quantum-transactions and Consciousness*, NeuroQuantology, Vol. 1(1): 129-162;
- Kuhn T. (1978) *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino, 1978;
- Laplace P.S. (1795), *A philosophical Essay on Probabilities*, Springer-Verlag, New York, 1995;
- LeDoux J. (1996) *The emotional brain: the mysterious underpinnings of emotional life*, New York: Simon and Schuster 1996;
- Lockwood M. (1989) *Mind, brain and the quantum*, Basil Blackwell, Oxford 1989;

- Lorenz E. (1963) *Deterministic Nonperiodic Flow*, Journal of the Atmospheric Sciences, 1963, Vol.20, No.2, pp.130-140;
- Lotka A.J. (1925) *Elements of Physical Biology*, Williams & Wilkins Co, Baltimore, reprinted in 1956 as *Elements of Mathematical Biology*, Dover Publications, New York;
- Luisi Pier Luigi (2003) *Autopoiesis: a review and a reappraisal*, Naturwissenschaften, 90:49–59;
- Mac Cormac E.R. e Stamenov M.I. (1996) *Fractals of Brain, fractals of mind*, in *Advances in consciousness research*, Vol.7, John Benjamins Publishing Company, Amsterdam 1996;
- Mandelbrot B.B. (1987) *Gli oggetti frattali*, Einaudi, Torino 1987;
- Mann L. (1992) *Stress, affect, and risk taking*, in *Risk-taking behaviour* (Frank YJ, ed.), pp. 202-230. Chichester: John Wiley & Sons 1992;
- Marshall, I.N. (1989) *Consciousness and Bose-Einstein Condensates*, New Ideas in Psychology, Vol. 7 : 73–85;
- Marshall I.N., Zohar D. (1994) *Quantum Society*, William Morrow, New York 1994;
- Maturana H. e Varela F. (1980) *Autopoiesi e cognizione: la realizzazione del vivente*, Marsilio Editore, Venezia 1985;
- Maturana H e Varela F. (1984) *L'albero della conoscenza*, Garzanti Editore, Milano 1987;
- McCratly R., Atkinson M. e Bradely R.T. (2004) *Electrophysiological Evidence of Intuition: Part 1*, Journal of Alternative and Complementary Medicine; 10(1): 133-143;
- McCratly R., Atkinson M. e Bradely R.T. (2004) *Electrophysiological Evidence of Intuition: Part 2*, Journal of Alternative and Complementary Medicine; 10(2):325-336;
- Mender D. (2007) *Decentering the subject of physics*, NeuroQuantology, Vol. 5(1): 175-181;
- Monod J. (1974) *Il caso e la necessità*, Oscar Mondadori, Milano 1974;
- Nambu Y. (1950) *The Use of the Proper Time in Quantum Electrodynamics*, Progress in Theoretical Physics (5);
- Newton I. (1686), *Principi matematici della filosofia naturale*, a cura di A. Pala, UTET, Torino, 1965;
- Newton I. (1704), *Scritti di ottica*, a cura di A. Pala, UTET, Torino 1978;
- Olivetti Belardinelli M. (1991) *La costruzione della realtà*, Bollati Boringhieri Editore, Torino 1991;
- Peijnenburg J. (1999) *Shaping Your Own Life*, Metaphilosophy vol. 37;
- Penrose R. e Isham C. (1989) *Quantum Concepts in Space & Time*, Oxford University Press.1989;
- Penrose R. (1989b) *The Emperor's New Mind*, Oxford Univ. Press 1989;
- Penrose R. (1994) *Ombre della mente*, Rizzoli, Milano 1994;

- Penrose R. (1999) *The Large, the Small and the Human Mind*, Cambridge University Press, 1999, Cambridge, UK, p. 132;
- Penrose R. (2005) *Il grande, il piccolo e la mente umana*, Cortina Editore, Milano 2005;
- Penrose R. (2005b) *La strada che porta alla realtà: le leggi fondamentali dell'universo*, Rizzoli, Milano 2005;
- Pereira A. (2003) *The Quantum Mind/Classical Brain Problem*, NeuroQuantology, Vol. 1(1): 94-118;
- Pessa E. (1992) *Intelligenza Artificiale*, Bollati Boringhieri, Torino 1992;
- Pitkänen M. (1990) *Topological Geometro Dynamics*. Internal Report, HU-TFT-IR-90-4 (Helsinki University);
- Pitkänen M. (2003) *TGD (Topological Geometro Dynamics) Inspired Theory of Consciousness*, NeuroQuantology, Vol. 1(1): 68-93;
- Poli M. (1994) E. Prato Previde, *Apprendere per sopravvivere*, Raffaello Cortina Editore, Milano 1994;
- Poincaré H (1908) *Le raisonnement mathématique*, in *Scienze et méthode*, Flammarion, Paris;
- Pribram K. (1971) *Languages of the Brain*, Prentice Hall, New Jersey 1971;
- Pribram K. (1990) *Brain and Perception*, Lawrence Erlbaum, Oxford 1990;
- Prigatano G.P. (2003), *Challenging dogma in neuropsychology and related disciplines*, Archives of Clinical Neuropsychology 18 (2003) 811-825;
- Prigogine I. (1979), *La nuova alleanza*, Longanesi Editore, Milano 1979;
- Radin D. (2006), *Entangled Minds*, Paraview Books, New York 2006;
- Reber, A.S. (1989) *Implicit Learning and Tacit knowledge*, Journal of Experimental Psychology: General, 118, 219-235;
- Ricciardi L.M. e Umezawa H. (1967) *Brain and physics of many body problems*, Biological Cybernetics, Springer, Berlin, Vol. 4(2): 44-48;
- Rifkin J. (1982) *Entropia*, Mondadori, Milano 1982;
- Rosen R. (1985) *Anticipatory Systems*, Pergamon Press, USA 1985;
- Rudfrau D., Lutz A., Cosmelli D., Lachaux J.P. e Le VanQuyen M. (2003) *From autopoiesis to neurophenomenology: Francisco Varela's exploration of the biophysics of being*, Biol Res 36: 27-65, 2003
- Sartori L. (2004) Martinelli M., Massaccesi S. e Tressoldi P. E., *Psychological correlates of ESP: heart rate differences between targets and non targets in clairvoyance and precognition forced choice tasks*, atti della Convention 2004 della Parapsychological Association, p. 407-412;

- Schrödinger E. (1988) *Che cos'è la vita*, Sansoni, Firenze 1988;
- Sharpe L., TARRIER N., Schotte D. e Spence S.H. (1995) *The Role of Autonomic Arousal in Problem Gambling*, *Addiction*, 1995, vol. 90, p. 1529;
- Skarda C.A. e Freeman W.J. (1987) *How brains make chaos in order to make sense of the world*, *Behav. Brain. Sc.*, vol. 10, pp. 161--195, 1987. Stuart Mill J. (1943), *A System of Logic*, Sistema di logica deduttiva e induttiva, UTET, Torino 1988.
- Slater J.C. (1980) *Teoria Quantistica della materia*, Zanichelli, Bologna 1980;
- Spottiswoode P. e May E. (2003), *Skin Conductance Prestimulus Response: Analyses, Artifacts and a Pilot Study*, *Journal of Scientific Exploration*, Vol. 17, No. 4, 617-641;
- Stapp H.P. (1993) *Mind Matter and Quantum Mechanics*, Springer-Verlag, Berlin 1993;
- Stapp H.P. (1999) *Attention, intention, and will in quantum physics*, *Journal of Consciousness Studies*, Vol. 6(8/9): 143-164;
- Szent-Gyorgyi, A. (1977) *Drive in Living Matter to Perfect Itself*, *Synthesis 1*, Vol. 1, No. 1, 14-26;
- Taylor J. (2001), *Hidden Unity in Nature Laws*, Cambridge University Press, 2001, Cambridge, UK, p. 337;
- Szillard L. (1992) in W. Lanouette, *Genius in the Shadows*, Charles Scribner's Sons, New York;
- Tressoldi P. E. (2005) Martinelli M., Massaccesi S., e Sartori L., *Heart Rate Differences between Targets and Nontargets in Intuitive Tasks*, *Human Physiology*, Vol. 31, No. 6, 2005, pp. 646–650;
- Varela F. (1996) *Neurophenomenology: A methodological remedy for the hard problem*, in *Journal of Consciousness Studies*, 3(4): 330-349;
- Varela F., Thompson E e Rosch E. (1992) *The embodied Mind*, The MIT Press, Cambridge, Mass, USA;
- Vannini A. (2005) *Entropy and Syntropy. From Mechanical to Life Science*, *NeuroQuantology*, vol. 3, n.2, pp. 88-110;
- Vannini A. (2008) *Quantum Models of Consciousness*, *Quantum Biosystems*, 2008, 2, pp. 165-184;
- Vannini A. e Di Corpo U. (2009) *A Retrocausal Model of Life*, in *Filters and Reflections. Perspective on Reality*, ICRL Press, Princeton, NJ, USA, pp. 231-244;
- Vitiello G. (2003) *Quantum Dissipation and Information. A route to consciousness modelling*, *NeuroQuantology*, Vol. 1(2): 266-279;
- Vitiello G. (2001) *My Double Unveiled – The dissipative quantum model of brain* – Benjamins Publishing Co., Amsterdam 2001;

- Walker E. (1970) *The Nature of Consciousness*, Mathematical BioSciences Vol. 7: 131—178;
- Wheeler J. e Feynman R. (1945) *Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation*, Review of Modern Physics (17);
- Wheeler J.A. e Feynman R.P. (1949) *Classical Electrodynamics in Terms of Direct Interparticle Action*. Reviews of Modern Physics 21 (July): 425-433;
- Wheeler J.A. e Tegmark M. (2001) *100 years of the quantum*, Scientific American, Febbraio 2001, pp. 68-75;
- Zajonc R.B. (1984) *One the primacy of affect*. Am Psychol 39:117-123.