

## Capitolo 6

# Causalità, retrocausalità e coscienza: alcuni modelli a confronto

Antonella Vannini<sup>1</sup>

### 6.1 Supercausalità e coscienza

In questo paragrafo viene presentato il modello di coscienza proposto da Chris King nell'articolo "*Chaos, Quantum-transactions and Consciousness*" (King, 2003).

Prima di descrivere questo modello è necessario però fornire alcune informazioni preliminari:

1. Come è stato sottolineato dal fisico quantistico Giuseppe Arcidiacono e dal biochimico Salvatore Arcidiacono, l'indeterminatezza che si osserva al livello del microcosmo deriva dal fatto che il sistema quantico è costantemente esposto alla supercausalità, 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 i sistemi quantici indeterminati (Arcidiacono, 1991).
2. 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, si ipotizza che esse siano oggetti

---

<sup>1</sup> [antonella.vannini@gmail.com](mailto:antonella.vannini@gmail.com)

“quantici” sollecitati, di conseguenza, in modo costante dalla causalità e dalla retrocausalità (Arndt, 2005).

3. Questo stato costante di scelta in cui si troverebbero i sistemi viventi porterebbe alla nascita di “dinamiche caotiche”, dinamiche che possono essere studiate unicamente da un punto di vista probabilistico.

Chris King inizia il suo articolo “*Chaos, Quantum-transactions and Consciousness*” mostrando come l’equazione energia-momento-massa di Einstein ponga gli oggetti quantici di fronte a biforcazioni che possono essere superate unicamente operando scelte. King ricorda i lavori di Eccles, Penrose e Hameroff che dimostrano l’esistenza di strutture quantiche nei sistemi viventi e giunge così ad ipotizzare che i sistemi viventi stessi siano, in genere, influenzati non solo dalla causalità classica ma anche 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 porrebbe 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. Dal momento che le unità fondamentali di un organismo biologico 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.

Come si è visto nel capitolo 4, 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 inizia 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 e 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 a comprendere gli assunti e le implicazioni della supercausalità.

Prima di affrontare il problema della coscienza, l'autore 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. Al fine di rendere il discorso meno astratto e più vicino alla nostra esperienza quotidiana è utile, a questo punto, fare un esempio di come queste biforcazioni passato/futuro si manifestano nei nostri vissuti di tutti i giorni. Come si è visto nel capitolo 3, la

retrocausalità, ossia l'informazione che si muove a ritroso nel tempo, agisce sul sistema neurovegetativo, ad esempio aumentando la frequenza cardiaca, la conduttanza cutanea e, più in generale, i vissuti di angoscia o di calore; la causalità, cioè l'informazione che si muove dal passato verso il futuro, agirebbe invece tramite la memoria e, in generale, tramite i processi razionali. Nella nostra quotidianità le biforcazioni passato/futuro assumerebbero perciò la forma della contrapposizione razionalità/emozioni. Si ipotizza perciò che l'essere umano si trova costantemente di fronte a queste biforcazioni razionalità/emozioni che lo obbligano ad operare scelte (anche inconsciamente).

- 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.

E' importante notare, con Sir John Eccles, quanto il libero arbitrio sia centrale 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, come si è visto nel capitolo 4, 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.

## 6.2 Prove empiriche

Il modello della coscienza appena descritto ipotizza che:

1. si debbano osservare strutture biologiche che entrano nel livello quantico della materia, in quanto solo a questo livello si manifestano la supercausalità e le biforcazioni che sono alla base del libero arbitrio;
2. si debbano osservare strutture frattali nell'organizzazione dei vari livelli del sistema neuronale;
3. si debbano osservare dinamiche caotiche nei processi nervosi.

*Prima ipotesi: strutture quantiche*

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, ma sembra sempre più che questo passaggio sia graduale. All'inizio del secolo scorso, invece, Heisenberg, Neumann e Bohr sostenevano l'esistenza di un improvviso passaggio dalle leggi della fisica quantistica a quelle della fisica classica attorno ai 200 Angström (Arndt, 2005).

Già nel 1935 Eddington aveva ipotizzato la possibilità di azioni quanto-meccaniche sui processi dei sistemi viventi in base alla considerazione che la membrana delle vescicole sinaptiche ha una dimensione inferiore ai 200 Angström (Eddington, 1935). Queste considerazioni furono poi riprese nel 1970 da Eccles, il quale giunse ad affermare che le vescicole possono essere considerate come oggetti quantici, che possono perciò essere attivati in modo non-deterministico, seguendo quindi un principio di "libero arbitrio" che porta all'instabilità globale non deterministica di tutto il sistema (Eccles, 1970).

Nel 1987 Hameroff ripropose queste stesse considerazioni partendo dall'osservazione che i microtuboli presentano dimensioni inferiori ai 200 Angström, fatto che implica necessariamente l'esistenza di processi di tipo quantico e non deterministico. Per Hameroff i microtuboli sono perciò oggetti quantici (Hameroff, 1982).

*Seconda ipotesi: strutture frattali*

La seconda ipotesi richiede che il cervello sia organizzato in base ad un modello polifrattale suddiviso su più livelli: quello globale del sistema nervoso, quello cellulare e quello molecolare. La struttura frattale consentirebbe infatti la selezione e l'amplificazione del segnale, il dialogo dei vari livelli tra di loro e la realizzazione di "effetti farfalla" come quelli descritti da Lorenz in meteorologia. In questo modo l'instabilità del livello più alto, neurodinamico, potrebbe essere influenzato dall'instabilità del livello cellulare che a sua volta potrebbe essere influenzato dal livello molecolare e dalla instabilità del livello quantico.

Una ampia ed esaustiva rassegna delle evidenze sperimentali e teoriche che descrivono il cervello, le diramazioni dendritiche, le cellule e le sue componenti come strutture frattali tra

loro comunicanti può essere trovata nella rassegna "*Fractals of brain, fractals of mind*" curata da Mac Cormac e Stamenov (1996). Gli autori di questa rassegna concludono affermando che la struttura frattale dei sistemi viventi, ed in modo particolare del cervello, è oggi ben osservata e confermata da innumerevoli evidenze empiriche. Evidenze empiriche che confermano la seconda ipotesi del modello di King sulla coscienza.

### *Terza ipotesi: dinamiche caotiche*

Con riferimento all'ipotesi circa l'esistenza di processi caotici nel cervello, è importante segnalare il contributo del neuroscienziato americano Walter Freeman, impegnato da oltre trent'anni nello studio delle dinamiche caotiche cerebrali (soprattutto con riferimento alla percezione olfattiva).

In un suo recente libro "*How brains make up their minds*" (Freeman, 2000), Freeman sottolinea che l'enorme complessità del cervello dà ragione dell'inadeguatezza, nello studio delle dinamiche cerebrali, del modello causale lineare, del tipo sensazione/input - elaborazione - output/risposta.

Il cervello deve essere considerato un sistema dinamico altamente complesso: esso contiene svariati miliardi di cellule nervose o neuroni, connessi tra loro in un'intricatissima rete non continua mediante mille miliardi di contatti sinaptici discontinui.

La ricerca di questo scienziato è innovativa già a partire dal metodo d'indagine utilizzato: anziché studiare la risposta delle singole cellule nervose di animali immobilizzati, sottoposti a stimoli esterni, Freeman introdusse alcuni elettrodi nel bulbo olfattivo di conigli liberi di muoversi. Mentre l'animale interagiva liberamente con l'ambiente, annusando alcuni oggetti, Freeman ha misurato, mediante elettroencefalogramma, l'attività neuronale del bulbo olfattivo. Dopo aver analizzato le fasi ottenute da elettroencefalogrammi prima e durante la percezione di un odore noto, ed averle rappresentate nello spazio come forme generate da un modello al computer, Freeman conclude che le forme ottenute, irregolari ma ancora strutturate, rappresentano attrattori caotici (Fig. 1).

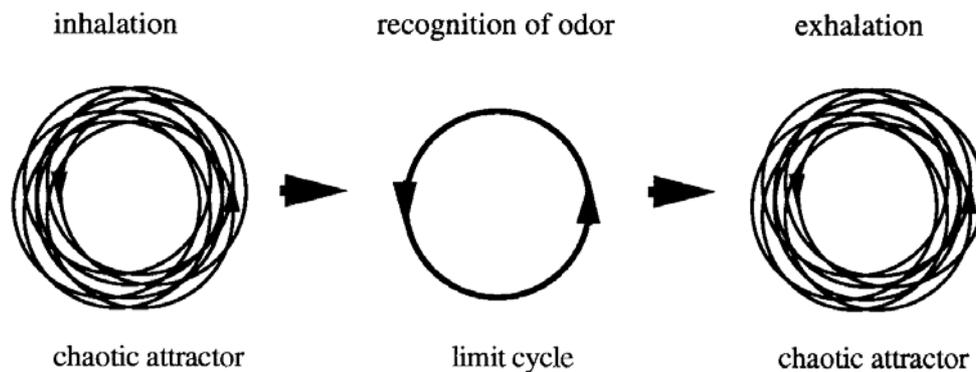


Fig. 1. Illustrazione schematica della dinamica caotica e degli attrattori nel bulbo olfattivo (Skarda e Freeman, 1987).

Freeman mostra che ogni attrattore corrisponde al comportamento assunto dal sistema per effetto di un particolare stimolo, per esempio una sostanza odorosa familiare. Il modello interpreta un atto percettivo come un balzo esplosivo del sistema dinamico dal "bacino" di un attrattore caotico a quello di un altro: in altri termini, in risposta allo stimolo esterno i neuroni danno vita ad un'attività collettiva globale (registrata dall'EEG) "caotica", ma dotata di una certa struttura ordinata, e se lo stimolo muta anche minimamente, i neuroni di colpo generano simultaneamente un'altra configurazione, piuttosto complessa ma pur sempre ordinata. Secondo l'autore, queste stesse dinamiche possono essere dimostrate anche per le altre percezioni, come quella visiva.

In conclusione, Freeman afferma che: *“Un notevole vantaggio che il caos può conferire al cervello è che i sistemi caotici producono continuamente nuovi tipi di attività. A nostro parere, queste attività sono decisive per lo sviluppo di raggruppamenti di neuroni diversi da quelli già stabiliti. Più in generale, la capacità di creare nuovi tipi di attività può essere alla base della capacità del cervello di formulare intuizioni e di risolvere i problemi per tentativi ed errori”*.

### 6.3 Vantaggio evolutivo

I sistemi caotici sono definiti come sensibili e non deterministici (Schuster 1986, Stewart 1989). La caratteristica della sensibilità implica che il sistema è in grado di amplificare anche minime perturbazioni (l'effetto farfalla), trasformando in questo modo un sistema caotico in un sistema reattivo. Allo stesso tempo, un sistema di questo tipo non può essere oggetto di predizioni deterministiche computazionali a causa del libero arbitrio che opera ad ogni livello del sistema stesso. E' quindi impossibile, per un osservatore esterno, poter predire il comportamento di un tale sistema. L'interazione delle proprietà caotiche e delle proprietà frattali ripetute su più livelli (molecolare, cellulare, neuronale fino al sistema nervoso globale) viene indicata da King con il termine di *modello polifrattale*. Questo modello implica che tutte le componenti, dal livello molecolare fino alla globalità del sistema nervoso, siano interconnesse in modo tale da potersi attivare reciprocamente. Inoltre, la natura frattale dei collegamenti neuronali, la sofisticazione dei neuroni e delle giunzioni sinaptiche, consente la formazione di strutture frattali plastiche e modulari.

Secondo King, l'insieme dei processi anticipatori, decisionali e di plasticità modulare che derivano dalla supercausalità giustificano come mai questo modello sia stato selezionato nel corso della evoluzione rispetto ai modelli deterministici. I vantaggi dei processi coscienti in termini di anticipazione, di flessibilità, di autorganizzazione e di apprendimento sono infatti fondamentali per la sopravvivenza stessa dell'organismo e giustificano perciò come mai la coscienza e il libero arbitrio siano emersi nel corso dei processi evolutivi dei sistemi viventi e abbiano superato la prova dell'evoluzione rispetto alla mera computazione.

### 6.4 L'Entanglement

Una delle proprietà più incredibili della fisica quantistica è *l'entanglement o interconnessione*. L'entanglement è la conseguenza della comunicazione istantanea delle particelle per mezzo dello spin che, una volta attivata, consente collegamenti non-locali nello spazio e nel tempo (per maggiori informazioni su che cos'è lo spin è possibile consultare il paragrafo 2.3 che descrive l'esperimento EPR). Questa proprietà delle particelle viene oggi ricondotta alla

soluzione negativa dell'equazione energia-momento-massa. Dalle proprietà dell'entanglement nasce un modello del cervello e della coscienza in cui le interconnessioni non avvengono unicamente sul piano fisico (reti neurali), ma anche sul piano della fisica quantistica.

Il fisico Dean Radin, nel suo libro "*Entangled Minds*" (Radin, 2006) sottolinea che una delle scoperte più sorprendenti della fisica moderna è il fatto che oggetti separati sul piano fisico possano invece non esserlo nel momento in cui vengono osservati sul piano della fisica quantistica. A livello quantico, la separatezza tra gli oggetti che si osserva sul piano macroscopico si dissolve. Tutto ciò che rimane sono le relazioni, il numero incredibile di relazioni che sono state stabilite da coppie di particelle, nello spazio e nel tempo. Queste relazioni erano state predette da Einstein nel suo esperimento EPR e la descrizione della realtà che ne deriva è profondamente innovativa e diversa dalla nostra esperienza quotidiana. Attualmente, si va sempre più verso la dimostrazione che queste proprietà della fisica quantistica non si dissolvono nel passaggio dal livello microscopico al livello macroscopico ma, in modo particolare nei sistemi viventi, esse permangono e le conseguenze di ciò possono essere semplicemente incredibili.

Si è scoperto, ad esempio, che attraverso le strutture frattali, queste proprietà di "entanglement" tipiche del mondo quantico possono emergere fino ad entrare nel nostro mondo macroscopico, influenzando in questo modo l'organizzazione e il funzionamento delle nostre strutture biologiche e neurali e, in definitiva, la nostra vita. Un numero crescente di ricercatori, ed in modo particolare di fisici, sta ipotizzando che il grado di coerenza e di ordine che i sistemi viventi mostrano dipenda in modo rilevante dalle proprietà dell'entanglement. Ad esempio, la coscienza potrebbe essere una proprietà emergente dell'entanglement, come anche il binding, e le altre forme di organizzazione, di cooperazione e sincronizzazione. Queste scoperte avvalorano oggi l'ipotesi che debbano esistere canali di causazione e di retrocausazione che baipassano i canali sensoriali classici finora analizzati nell'ambito delle neuroscienze (il capitolo 3 descrive alcuni esperimenti che dimostrano, in ambito psicologico, l'esistenza di questi canali di causazione e di retrocausazione).