

---

## DISSIPAZIONE E COSCIENZA

*Giuseppe Vitiello*

---

### 1. *Verso una scienza della coscienza*

Nel 1994 e nel 1996 si sono tenuti a Tucson in Arizona due Congressi internazionali<sup>1</sup> dedicati al tentativo di inquadrare in un contesto scientifico unitario ricerche e studi sulla coscienza che vengono condotti in settori disciplinari diversi (medicina, psicologia, filosofia, fisica, biologia, neuroscienze *etc.*). In queste note cercherò di illustrare uno dei temi della discussione che ha forse maggiormente attirato l'attenzione dei convenuti, e cioè *l'uso di modelli basati su teorie quantistiche*. A questo scopo introdurrò alcuni concetti della teoria quantistica dei campi applicata alla materia vivente; discuterò delle nozioni di ordine e simmetria; del ruolo del citoscheletro nel codificare informazioni e della relativa proposta di Penrose e di Hameroff. Esaminerò quindi il modello quantistico del cervello di Umezawa e Ricciardi e l'estensione che ne ho proposto per tener conto delle proprietà dissipative. Riporterò infine alcune considerazioni sulla problematica della coscienza. Non parlerò invece dei modelli di reti neurali basati sul formalismo della meccanica statistica<sup>2</sup>.

Nel seguito accennerò solo per grandi linee ai vari punti di vista sulla problematica emersi a Tucson. La diversificazione delle posizioni, talvolta la loro frammentazione, gli sbandamenti e i ripiegamenti, possono essere meglio seguiti su riviste del tipo «Journal of Consciousness Studies»<sup>3</sup> o anche sui diversi «giornali» di Internet dedicati al problema<sup>4</sup>. La mia sensazione è che il dibattito in corso comporti una fluidificazione di convincimenti e posizioni assunte già come ferme (o quasi) in settori disciplinari diversi sul problema coscienza; fluidificazione che potrebbe essere il primo effetto dello spostamento nella direzione del paradigma metodologico scientifico. In questo processo la costruzione stessa di un linguaggio comune diven-

ta "verifica" di concetti, assunti, definizioni adottate in un ambito disciplinare specifico. Ci troveremmo dunque nel pieno di un processo di "spostamento di paradigma"<sup>5</sup>.

Esiste una "circolarità" nelle domande che ci si presentano nel discutere di coscienza, nel senso che questioni su aspetti apparentemente distinti si saldano, evidenziando una sostanziale unità e correlazione nei meccanismi della coscienza. Ad esempio, chiedersi quale sia la natura della coscienza e chiedersi se vi sia una possibilità di comprensione scientifica della stessa, o cosa accada della coscienza quando dormiamo, oppure se sia la coscienza qualcosa di distinto dalle emozioni, e così via, ci rimanda ad un unico sostanziale nodo o nocciolo del problema, di cui intravediamo l'esistenza, ma che non riusciamo nemmeno a circoscrivere. I termini stessi in cui sono poste le questioni inducono non solo a forti perplessità sul loro significato, ma anche al sospetto che siano addirittura privi di senso.

Questi dubbi si riflettono immediatamente sulla reale praticabilità dell'operazione stessa che si vuole intraprendere (fondare una scienza della coscienza), dal momento che un criterio minimale perché possa essere impostato un discorso scientifico è che si possano produrre proposizioni "non prive di senso"<sup>6</sup>, di cui, cioè, sia possibile verificare la veridicità o falsità. Si potrebbe allora adottare (come fa David J. Chalmers, Department of Philosophy, University of California, Santa Cruz) una prima distinzione delle questioni: in facili e difficili, *easy problems* e *hard problems*. Quelle "easy" sono le domande cui si cerca di dare una risposta nei laboratori di neuroscienze; per esempio, come le informazioni e gli stimoli provenienti dal mondo esterno vengono elaborati dal nostro cervello, quali sono i processi neurali che ci fanno riconoscere le forme, calcolare le distanze, orientarci nello spazio, in che modo traduciamo in parole quello che sentiamo, le nostre emozioni e sensazioni. Ovviamente questi problemi non sono per nulla "facili". Tuttavia, le neuroscienze lasciano ben sperare, forse è solo questione di tempo! E le questioni "hard"? In realtà queste si riducono ad un unico difficile problema: Quale è la natura dell'esperienza soggettiva del mondo? In che modo esperienze e stimoli esterni diventano nostre esperienze soggettive ("qualia")?

L'emergere della soggettività sembrerebbe così essere il cuore del

problema coscienza. Non è un caso che fin da quando Cartesio indicò nella "coscienza" il principio stesso del fare filosofia, la coscienza si presenta in buona parte come "auto-coscienza" ("*cogito ergo sum*"), come *Ego* riflesso su se stesso. E qui nascono non poche divergenze. Semplificando molto si potrebbe dire che c'è chi nega che il problema esista (non c'è *hard problem*), chi afferma che sarà risolto prima o poi dall'indagine scientifica (come per i problemi semplici), chi dispera che sarà mai possibile "capire" la coscienza (qui identificata appunto con l'*hard problem*). Patrizia Smith Churchland (Institute of Neural Computation, University of California, La Jolla) propone che la coscienza, come soggettività, emerga come effetto cooperativo di milioni di cellule cerebrali e, contrapponendosi a Roger Penrose, di cui dirò più avanti, che non c'è bisogno di scomodare una nuova fisica. Più radicale è Daniel C. Dennett (Center for Cognitive Studies, Tufts University, Medford, Massachusetts) che nega decisamente che esista un *hard problem*: la coscienza è solo un fenomeno, nulla più che manifestazione dell'elaborazione dell'informazione che è oggetto delle ricerche delle neuroscienze. E su questa strada troviamo chi prefigura la possibile costruzione di *computers* coscienti (...è solo questione di complessità!). Di parere opposto sono quelli che sono stati battezzati "moderni dualisti" tra i quali c'è chi decisamente postula (o vede l'evidenza) di una realtà "altra" da quella studiata (e studiabile) dalla scienza e chi (come Chalmers) vede nella coscienza stessa una "ulteriore" realtà che andrebbe ad aggiungersi alle realtà (quali le forze elettromagnetiche, gravitazionali, etc.) già riconosciute dalla scienza.

Se tuttavia il tentativo vuole essere quello di fondare una scienza della coscienza, esso non può prescindere dal considerare "*the actual material*", la materia stessa coinvolta nei processi di coscienza, sia nel senso di materia neurale e cerebrale in generale, sia nel senso più lato di soggetti "portatori" di coscienza e dunque dell'universo sondato dalla Psicologia, dalla Psichiatria e dalla Medicina. Il discorso si allarga quindi, e di molto.

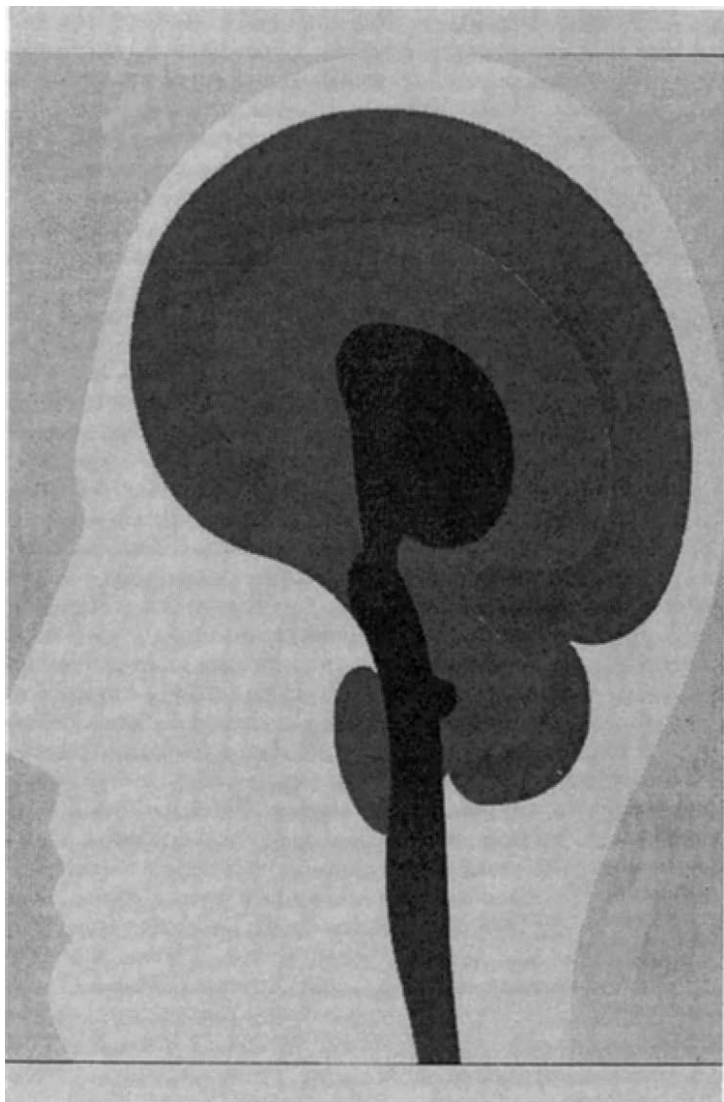
Riprenderò nel prossimo paragrafo la problematica in termini di teorie fisiche sull'attività neurale. Chiudo invece qui questa rapidissima e incompleta presentazione di "punti di vista" riproponendo le questioni alla maniera di John R. Searle (Department of Philosophy,

University of California, Berkeley) che non vede nessuno scandalo nel tentativo di costruire una scienza della coscienza e che a questo scopo nel suo intervento a Tucson '96 delinea il percorso per un tale programma: 1. Il problema della definizione della coscienza. 2. Riconciliare l'obiettività della scienza con la soggettività della coscienza. 3. Il problema della comunicazione e della connessione del mondo "mentale" col mondo "fisico". 4. Il problema dei *qualia*... E così via.

## 2. *La fisica della materia vivente*

La biologia molecolare continua a meravigliarci per i suoi continui successi nella comprensione delle strutture microscopiche, a livello cellulare e subcellulare, dei sistemi biologici, tanto che sembrerebbe non lontano il giorno in cui il catalogo dei "componenti" microscopici dei sistemi biologici risulterà completo. Catalogo che già oggi risulta ricchissimo per ciò che riguarda non solo il numero dei componenti elementari, ma anche la loro diversificazione e specializzazione chimica. Il quadro generale risulta molto complesso a livello biochimico, ma tuttavia "localmente" comprensibile. Utilizzando solo i principi statistici e probabilistici che sottendono la chimica dei processi biologici è tuttavia più difficile rendere conto di fenomeni di ordinamento temporale, quale la stretta concatenazione di reazioni chimiche specifiche, comune materia di studio per gli studenti di medicina, e fenomeni di ordinamento spaziale quale il coordinarsi delle cellule in tessuti (o, al contrario, il loro disgregarsi in tumori), o ancora di coordinamento funzionale come ad esempio nel sistema immunitario. In altre parole la grande sfida, cui la biologia molecolare moderna ancora non sa dare una risposta adeguata, consiste nella comprensione dell'emergere di proprietà funzionali macroscopiche e complesse dall'attività biochimica microscopica regolata dalle leggi probabilistiche della cinetica molecolare.

In qualche misura si ripropone qui una situazione analoga a quella su accennata circa l'esistenza di "*easy problems*" e di "*hard problems*": quelli *easy* sono i problemi affrontati appunto dalla biochimica così come la conosciamo, e che ovviamente sono "facili" nel senso che sono, "prima o poi", risolvibili. Quelli *hard* possono essere riassunti nel problema dell'emergenza di proprietà "sistemiche". Anche



qui c'è chi nega che esista un problema *hard* e si dichiara fiducioso nel fatto che la complessità funzionale e l'ordinamento dei sistemi biologici siano unicamente derivabili dalle leggi probabilistiche della biochimica. E chi propone di fare un passo ulteriore e studiare le leggi dinamiche su cui la fenomenologia biochimica stessa poggia, leggi dinamiche di base che non possono non essere che le stesse che regolano il comportamento e le interazioni atomiche e molecolari nel resto della materia (non vivente). Il dibattito è aperto e lo studio di una dinamica di base di interesse per la materia vivente è attivamente perseguito in molti centri di ricerca.

Da un punto di vista fisico la materia vivente si presenta come un sistema con vari livelli e comparti di ordinamento (spaziale e temporale); è un sistema lontano dall'equilibrio, capace di assumere nel tempo molte configurazioni macroscopiche sotto l'azione di una pompa energetica (il sistema biologico va "alimentato"). Esso è quindi un sistema aperto, in permanente scambio energetico con l'ambiente esterno, per il quale è cruciale (ai fini del suo buono stato di "salute") il pareggio di tale scambio energetico: ad esempio, un flusso di energia verso l'esterno non sufficiente a bilanciare l'energia in ingresso, con conseguente accumulo energetico interno, riduce il sistema in stato di "stress".

Va poi notato che le molecole di praticamente tutte le sostanze che costituiscono la materia vivente, a cominciare da quelle dell'acqua, presente in percentuali elevatissime (fino al 70% e talvolta oltre), sono dotate di momento di dipolo elettrico, presentano cioè una distribuzione spaziale di carica elettrica con un polo di carica positiva ed uno di carica negativa.

Partendo da tali osservazioni Herbert Froehlich formula nel 1968<sup>7</sup> un modello in cui il sistema biologico viene descritto a mezzo di una variabile macroscopica identificata con la densità di polarizzazione elettrica. Si tratta di un modello fondato su concetti e tecniche della teoria dei campi quantistici, che è lo schema teorico attualmente disponibile, e largamente suffragato dalla sperimentazione, che molto dettagliatamente descrive gli atomi, le molecole e le loro interazioni con il campo elettromagnetico. C'è da dire che molti biologi hanno difficoltà ad accettare l'uso di teorie quantistiche nello studio dei sistemi biologici: dovrebbero bastare le leggi della fisica classica!

Bisogna tuttavia notare che la stessa chimica (e biochimica) ha il suo fondamento nella teoria quantistica della materia; cosa del tutto scontata, ma di cui talvolta si dimentica il ricercatore eccessivamente distratto dal segmento di analisi condotte nel suo laboratorio.

Uno degli elementi di maggiore interesse nel modello di Froehlich consiste nella possibilità che fenomeni di "coerenza" emergano come effetti dinamici nel sistema biologico. Questo significa che la dinamica quantistica genera tra i componenti elementari (i dipoli elettrici dell'acqua) correlazioni su grandi distanze (grandi rispetto alle distanze caratteristiche del sistema, e quindi fino ad alcune centinaia di micron): si hanno così moti e oscillazioni "in fase", appunto coerenti. Un tale insieme di componenti assume dunque un comportamento che caratterizza l'"insieme" in quanto tale; un comportamento "collettivo". Siamo così in presenza della transizione dalla scala microscopica, caratterizzata dai componenti elementari e dalle loro proprietà fisiche, alla scala macroscopica caratterizzata da proprietà di coerenza non più attribuibili ai singoli componenti ma al sistema stesso.

La difficoltà su accennata nel rendere conto della transizione a funzioni macroscopiche in termini del paradigma probabilistico intrinseco alla biochimica può forse trovare una soluzione quando si consideri l'origine dinamica (e non puramente cinematica) della transizione stessa, come suggerisce il modello di Froehlich. Questa osservazione, o speranza, ha stimolato molte ricerche in tale direzione portando alla formulazione di un approccio alla fisica della materia vivente che fa pieno uso della teoria dei campi quantistici<sup>8</sup> e che risulta utile nei modelli fisici del cervello.

Per meglio comprendere le implicazioni della proposta di Froehlich e dei suoi sviluppi commenterò nel seguito alcuni aspetti della teoria dei campi quantistici per i sistemi ordinati.

### 3. *Simmetria e ordine*

Esistono sistemi che presentano un certo grado di ordinamento; ad esempio il cristallo, dove gli atomi (o molecole) sono "ordinati" in posizioni ben determinate da una legge di periodicità (quella che individua appunto il reticolo cristallino). Altri esempi di sistemi ordinati sono il magnete, il laser, i superconduttori, *etc.* Comune a tali sistemi è la possibilità di individuare una grandezza che descrive il grado

di ordinamento e che viene appunto detta "parametro d'ordine": nel cristallo il parametro d'ordine è legato alla densità, nel magnete alla magnetizzazione, *etc.* Le proprietà che caratterizzano il sistema nel suo complesso sono a loro volta legate al parametro d'ordine. È utile sottolineare il fatto che tali proprietà non sono proprietà dei componenti elementari, ma del "modo in cui essi sono organizzati" cioè della dinamica che regola le loro interazioni e quindi del sistema in quanto tale: in questo senso si può dire che dalla dinamica microscopica emergono "funzioni" a livello macroscopico: la "funzione magnete", la "funzione cristallo", *etc.* Ovviamente i medesimi componenti microscopici possono essere soggetti a dinamiche diverse con diverse proprietà ("comportamenti" o "funzioni") macroscopiche: ad esempio, se il cristallo viene riscaldato oltre una certa temperatura (temperatura critica) l'ordinamento cristallino si perde e gli atomi costituenti assumono a livello macroscopico le proprietà (le "funzioni") di un solido amorfo o, a temperature superiori, quelle di un gas.

In un sistema ordinato i componenti elementari sono dunque soggetti a determinati vincoli dinamici dai quali emerge l'ordinamento; nel magnete gli elettroni orientano il loro dipolo magnetico prevalentemente in una assegnata direzione, quella lungo la quale punta il vettore magnetizzazione: all'ordinamento del magnete è così associata l'"informazione" di una direzione (a questo serve l'ago magnetico nella bussola!). Come nel caso del cristallo anche per il magnete l'ordinamento si perde al di sopra di una certa temperatura critica: a temperatura sufficientemente alta il magnete si "smagnetizza", cioè ciascuno degli elettroni diventa libero di orientare il proprio dipolo magnetico in una qualsiasi direzione, in modo del tutto scorrelato dagli altri elettroni, e la magnetizzazione si riduce a zero: non è più individuabile una direzione privilegiata. In conclusione, abbiamo perduto l'ordinamento e con esso l'"informazione" della direzione privilegiata, mentre si è ristabilita la "simmetria", cioè l'"indistinguibilità", tra tutte le possibili infinite direzioni; questo mostra che l'ordinamento, e l'informazione ad esso associata, sono "mancanza" o "rottura" di simmetria; rompere la simmetria rotazionale dei dipoli magnetici degli elettroni significa "scegliere" tra tutte le direzioni (equivalenti) una in particolare (quella della magnetizzazione).

Simmetria dunque come indistinguibilità (in una trasformazione



di simmetria le parti o gli elementi "simmetrici" sono interscambiabili senza che il "tutto" cambi, dunque tra di loro "equivalenti", indistinguibili relativamente alla specifica proprietà di simmetria). Ordine e informazione come mancanza o rottura di simmetria.

Un qualsiasi stato di ordinamento tra molti oggetti implica una "relazione d'ordine", una correlazione, tra i vari oggetti "ordinati". Nella teoria quantistica della materia ogni correlazione, e in generale ogni interazione, è mediata da particelle quantistiche che si propagano tra i "correlati" e sono perciò dette quanti di correlazione o di interazione. Tali quanti rappresentano essi stessi la "correlazione". Quanto minore è l'inerzia (la massa) del quanto di correlazione, tanto maggiore è la distanza su cui esso si può propagare e quindi su cui la correlazione, e con essa l'ordinamento, è istituita; a massa zero corrisponde una distanza di propagazione infinita. Come al solito, "zero" ed "infinito" significano, rispettivamente, "del tutto trascurabile" e "molto grande" rispetto alle scale caratteristiche del sistema in esame. Poiché rompere una simmetria significa istituire un ordine su domini estesi, per quanto abbiamo appena detto rompere una simmetria implica la generazione, o come si dice, la condensazione di quanti di correlazione di massa molto bassa (in principio nulla). È questo il contenuto del celebrato teorema di Goldstone<sup>9</sup>. Il quanto di correlazione nel cristallo è chiamato fonone, nel magnete magnone, *etc.*

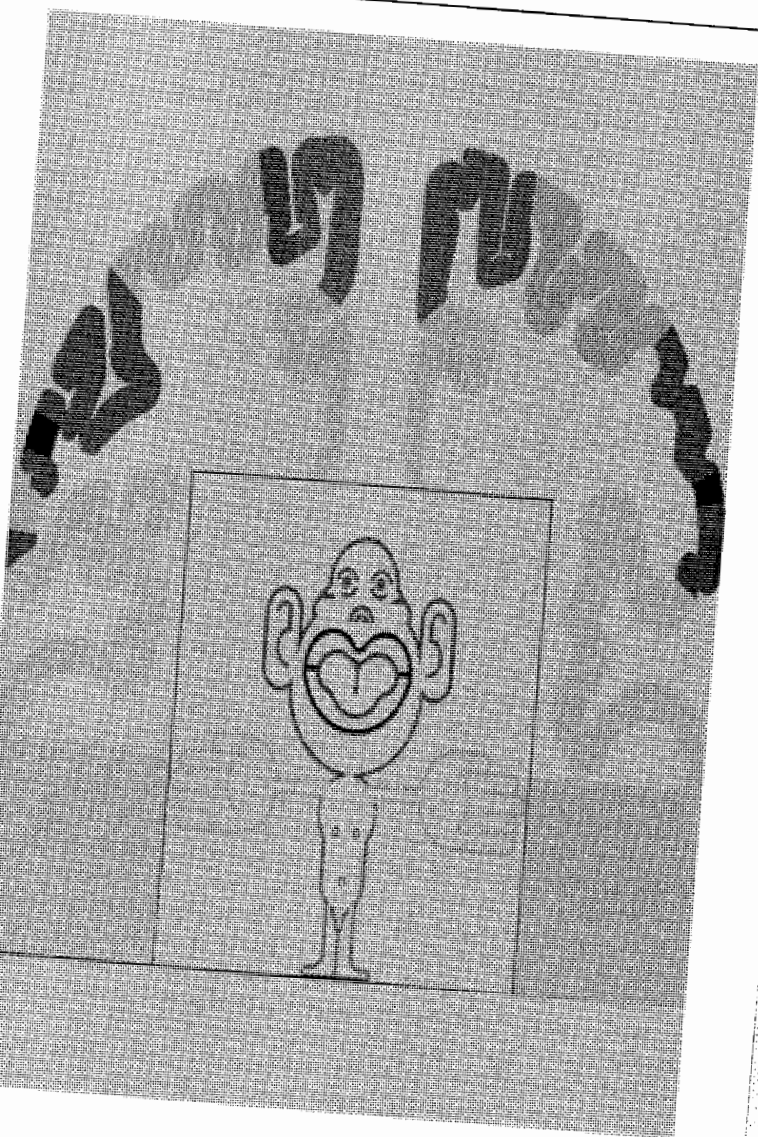
La condensazione dei quanti di correlazione, essendo la loro massa trascurabile, non comporta un aumento dell'energia dello stato del sistema: lo stato in cui è così istituito l'ordinamento resta dunque uno stato di minima energia, e dunque stabile, se tale era prima della rottura della simmetria. Questo spiega la possibilità di avere stati ordinati (quasi-) stabili nella teoria quantistica della materia<sup>10</sup>.

Il quanto di correlazione è una particella reale, osservata con le stesse tecniche con le quali altre particelle vengono osservate (tecniche di diffusione o "scattering" in cui si fa collidere una particella "sonda" - o proiettile - con la particella da osservare - bersaglio - e dagli effetti della collisione si risale alle proprietà del bersaglio). A differenza di altre particelle, il quanto di correlazione non è tuttavia osservabile "al di fuori" del sistema ordinato. Per osservare ad esempio il fonone, occorre avere a disposizione un cristallo: il fonone è confinato nel cristallo.

Quando il cristallo viene distrutto, ad esempio riscaldandolo oltre la temperatura critica, il sistema risultante è costituito dall'insieme degli atomi (già dislocati nei siti del reticolo cristallino prima che il cristallo fosse riscaldato) e solo da questi: non essendo più questi correlati nella funzione cristallo, ne consegue che non ci sono più i quanti della correlazione. Il catalogo dei "componenti strutturali" del cristallo include gli atomi e i fononi. Quello del solido amorfo include solo gli atomi. Il fonone esiste se e solo se esiste la funzione cristallo: è esso stesso identificabile con la funzione cristallo. In questo senso possiamo parlare di identificazione di funzione-struttura (cristallo-fonone)<sup>11</sup>.

Il concetto stesso di "completezza" del catalogo dei componenti elementari diventa così privo di senso: è illusorio cercare "di completare" il catalogo dei componenti elementari senza cercare al tempo stesso le leggi dinamiche responsabili delle funzioni macroscopiche. Il catalogo degli atomi pur essendo "completo" non è tuttavia sufficiente per la descrizione dell'insieme di atomi organizzati in cristallo. Talvolta si crede che la complessità funzionale del sistema possa derivare unicamente dalla "quantità" dei componenti elementari, dalla loro diversificazione e dal "numero" delle loro interconnessioni. Da quanto detto risulta invece che essa appare come manifestazione macroscopica della dinamica microscopica e delle sue proprietà di simmetria (e di rottura della simmetria). Un tale insegnamento non può essere tralasciato nello studio dei sistemi biologici quando ci si ponga il problema della "completezza" del catalogo dei componenti elementari. Tutto sommato l'insegnamento si può ridurre alla banale constatazione su cui tutti sono d'accordo: conoscere l'elenco telefonico di Roma non basta per conoscere Roma.

Lo studio della materia vivente basato sulla teoria dei campi quantistici utilizza lo schema concettuale su delineato ed il relativo apparato matematico (cfr. n. 8). A livello dinamico fondamentale, la materia vivente viene schematizzata come un insieme di dipoli elettrici la cui simmetria rotazionale viene rotta. La conseguente condensazione di quanti di correlazione tra i dipoli produce l'ordinamento macroscopico. Questo è caratterizzato dai moti collettivi (oscillazioni coerenti) dei dipoli elettrici, e misurato dal valore non nullo della densità di polarizzazione. Questa la base dinamica che sottende la fenomenologia biochimica. Ma c'è ancora molta strada da percorrere.



#### 4. *Il citoscheletro*

L'interno della cellula è pervaso da una fitta ed intricata rete di microtubuli formati da proteine ben note; questa rete, detta "citoscheletro", ha un comportamento dinamico complicato, si modifica continuamente, ci sono rami che si formano, altri che si disfano, altri che si protendono in varie direzioni. La maggioranza delle reazioni metaboliche avvengono lungo i rami del citoscheletro, che dunque si rivela una struttura fondamentale per la funzionalità biochimica. Quando la cellula muore, il citoscheletro si disfa. Questo comportamento, caratterizzato da forte dinamismo, è molto difficile da spiegare e da modellare. Tuttavia, esistono numerosi studi, oltre che sulla biochimica coinvolta, anche sulla capacità di trasporto di energia e di cariche sui microtubuli<sup>12</sup>. Molti di questi studi considerano dinamiche non-lineari in grado di sostenere la propagazione di onde di tipo solitonico: cioè onde che dissipando pochissimo (in principio zero), si propagano senza attenuarsi e possono essere responsabili del trasporto non-dissipativo di energia all'interno del sistema. L'energia proveniente da una certa sorgente (ad esempio da reazioni chimiche) non deve infatti essere dissipata all'interno del sistema che in tal modo subirebbe effetti termici dannosi. A.S. Davydov ha proposto la possibilità di propagazione di onde solitoniche su catene proteiche<sup>13</sup>.

Una possibilità di descrizione della formazione del citoscheletro e del suo comportamento dinamico è fornita dall'approccio quantistico alla materia vivente (cfr. n. 8).

Un risultato ben noto in teoria dei campi quantistici è quello relativo alla propagazione per auto-focalizzazione di campi cosiddetti di gauge, ad esempio del campo elettromagnetico (em), in sistemi ordinati. Nelle regioni che presentano ordinamento, quali i domini ordinati dell'acqua nei sistemi biologici, il campo em con intensità comparabile alla correlazione che genera l'ordinamento si propaga "filamentandosi", penetrando cioè il dominio ordinato in sottili canali all'interno dei quali il campo è diverso da zero; all'esterno il campo è zero. Per intensità di campo superiori, la propagazione nel dominio avviene come se non vi fosse ordinamento; il campo invade il dominio completamente. Per intensità minori il campo non riesce a "perforare" il dominio e ne resta escluso. In questo caso, la natura ordinata, coerente del dominio agisce da protezione contro la penetra-

zione del campo em. Nel caso dei sistemi biologici, oltre ai campi em di origine esterna, possono anche esservi campi generati da sorgenti interne al sistema stesso, ad esempio da correnti di ioni.

La variazione del campo sulla superficie laterale dei "filamenti" o canali (zero all'esterno, diverso da zero all'interno) genera forze che agiscono selettivamente sulle molecole circostanti, attirandole o respingendole, secondo una legge di tipo risonante. In questo modo il canale si riveste di una guaina di molecole secondo una successione di frequenze ben definita: il campo filamentandosi causa una polimerizzazione controllata. Il raggio del canale così rivestito risulta dello stesso ordine di grandezza del raggio del citoscheletro (circa 150 Angstrom), (cfr. n. 8). Se le molecole attirate sul canale possono formare legami chimici stabili allora la struttura polimerica persiste anche se il campo scompare; in caso contrario, la stabilità della struttura polimerica è condizionata dalla permanenza del filamento di campo. Il meccanismo di filamentazione potrebbe così essere all'origine della formazione del citoscheletro e del suo dinamismo (cfr. n. 8).

### 5. I microtubuli, Roger Penrose e la gravitazione

Tra le strutture proteiche di cui è costituito il citoscheletro ci sono i microtubuli. Questi, che hanno un ruolo centrale nel processo di mitosi o divisione cellulare, sono formati da 13 catene molecolari di tubulina disposte in modo da formare un tubo o canale nel cui interno è presente acqua. Le catene polimeriche sono costituite da unità dette dimeri perché in esse si distinguono due parti estreme di proteine globulari dette tubulina alfa e tubulina beta. Oltre che per le loro proprietà biochimiche, i dimeri sono interessanti perché assumono due diversi stati di polarizzazione a seconda che un elettrone sia dislocato nella regione alfa o in quella beta. Nei due diversi casi il dimero assume due diverse configurazioni. In generale ad ogni dispositivo in grado di assumere due configurazioni può essere associata una "informazione elementare" (acceso-spento, uno-zero, sì-no, *etc.*); allo stesso modo la struttura dimerica induce ad ipotizzare che informazioni possano essere codificate sui microtubuli. Poiché si osserva che il "network" citoscheletro sostiene il trasporto di energia e di particelle elettricamente cariche, le informazioni codificate sui microtubuli potrebbero giocare un ruolo centrale in tale trasporto energetico e di cariche.

Nel 1987 Stuart Hameroff (Department of Anesthesiology, University of Arizona, Tucson) propone infatti che i microtubuli siano delle strutture molecolari in grado di supportare un'attività di "calcolo"<sup>14</sup>. La proposta di Hameroff ancora una volta richiede che fenomeni di coerenza siano presenti in modo da assicurare stabilità e non località dell'attività di calcolo. Questo ci riporta alla teoria quantistica della materia vivente sopra illustrata. Più recentemente Roger Penrose (Mathematical Institute, University of Oxford) riprende la proposta di Hameroff e ipotizza che la coscienza sia associata all'attività del citoscheletro. Questa ipotesi viene suggerita dal fatto che sostanze anestetiche che provocano la "perdita" della coscienza alterano la normale funzionalità del citoscheletro (anche se non è completamente chiara l'azione chimica degli anestetici). Centrale nell'argomento di Penrose è la dinamica quantistica del citoscheletro<sup>15</sup>. Penrose fa notare che per trovare la soluzione a determinati problemi si debba far ricorso a procedure di calcolo che "non hanno termine" (esempio: trovare un numero che non sia la somma di quattro numeri elevati al quadrato) e che per stabilire se una procedura di calcolo sia del tipo "senza termine" il matematico adotta strategie che "non" rientrano nella definizione generale e rigorosa di "calcolo" (in questo Penrose usa una versione semplificata del teorema di Goedel): la conclusione è che la mente adotta strategie non-computazionali nella risoluzione di determinati problemi. Come dire che la capacità di risoluzione di problemi in generale "non è limitata" alla capacità di adottare specifiche procedure logiche (di "calcolo").

Una caratteristica delle procedure di calcolo è che i vari "passi" o fasi del calcolo sono sempre "ben definiti"; è cioè sempre possibile, in un qualsiasi punto o momento della procedura, descrivere in maniera univoca e definitiva "lo stato" del calcolo. Da questo punto di vista, l'insieme della procedura può essere considerato come un sistema i cui stati siano sempre descrivibili in maniera univoca e definitiva. Un sistema del genere è un sistema "classico" (del tipo di quelli di cui si occupa la fisica classica). Altra è la natura dei sistemi "quantistici". Uno stato di un sistema quantistico è in generale sempre esprimibile in termini di una sovrapposizione di stati indipendenti (tra di loro ortogonali), ciascuno dei quali contribuisce con una certa "probabilità". Va sottolineato il fatto che procedure di calcolo sono certa-



mente praticabili in una teoria quantistica (la risoluzione di problemi quantistici avviene secondo regole di calcolo matematicamente ben definite ed univoche!).

Uno stato quantistico, descritto come sovrapposizione di stati indipendenti, è soggetto al meccanismo di “riduzione” quando sia sottoposto ad una operazione di misura: questa agisce come filtro, nel senso che dei vari stati che entrano nella sovrapposizione ne sopravvive uno solo (determinato dalla specificità dell’operazione di misura), di modo che lo stato iniziale “si riduce” ad uno solo degli stati della sovrapposizione. Questo processo è caratteristico della teoria quantistica: prima della operazione di misura è possibile assegnare solo le probabilità relative alle varie componenti (stati della sovrapposizione) in cui lo stato cui siamo interessati può manifestarsi all’osservatore. Per operazione di misura è da intendersi una qualsiasi interazione dello stato quantistico con un agente esterno (non necessaria-

mente un osservatore "umano") che provochi un effetto a livello classico. È in questa interfaccia quantistico/classico gran parte della problematica (ancora aperta) della "teoria della misura" in meccanica quantistica. In questa interfaccia Penrose individua un carattere non-computazionale. La proposta di Penrose è che la coscienza si manifesti come "riduzione" dello stato (quantistico) del cervello in uno degli stati componenti. Lo stato del cervello è inteso come lo stato collettivo (coerente) della rete di microtubuli e l'"agente" che "misura" è l'interazione col campo gravitazionale. Coscienza dunque come manifestazione univoca di una componente dello stato quantistico.

Per comprendere come la gravità entri in gioco occorre tener conto del fatto che nel microtubulo la sovrapposizione degli stati quantistici comporta la "compresenza" delle configurazioni dei dimeri e quindi dei campi gravitazionali associati alle rispettive distribuzioni di massa; questa compresenza comporta una spesa energetica e la conseguente instabilità del sistema, che quindi decade in uno stato di minore energia. Lo stato quantistico si riduce così ad una sola componente (corrispondente ad una sola configurazione del dimero). Una riduzione "orchestrata" è quella cui concorrono specifiche attività chimiche del microtubulo<sup>16</sup>.

È da notare che la coscienza non è per Penrose soltanto il risultato della complessità del cervello. Bisogna aggiungere l'ulteriore "nuovo ingrediente" del carattere non-computazionale dell'attività cerebrale.

### 6. Memoria e rottura della simmetria

Fin dagli anni cinquanta vengono condotte delle esperienze che indicano il carattere non locale o diffuso della memoria e di altre funzioni cerebrali ad essa associate: in presenza di stimoli esterni punti (neuroni) relativamente distanti della corteccia cerebrale presentano risposta simultanea<sup>17</sup>. In realtà, il cervello presenta attività sia a carattere diffuso che localizzato (cfr. n. 17). Tuttavia l'attività cerebrale appare non strettamente dipendente dall'attività del singolo neurone. L'osservazione sperimentale mostra che danni a regioni relativamente estese o anche la loro asportazione non influenzano sostanzialmente l'attività del cervello.

Nel 1966 Karl Pribram (Brain Center, Radford University,



Radford, Virginia) avanza l'ipotesi che l'attività della rete neurale sia fondata su un fenomeno analogo a quello dell'ologramma nella fisica del laser. Ho già nominato il laser parlando dei sistemi ordinati. Un raggio laser è un fascio di luce monocromatica in cui i fotoni (i quanti della radiazione em) hanno tutti la stessa fase: in questo consiste la coerenza e l'ordinamento del laser. La luce generata da una normale lampada non è coerente: i fotoni hanno fasi arbitrarie. È possibile "fotografare" un oggetto esponendolo a luce laser: si usano due fasci laser identici (emessi dalla stessa sorgente laser); uno di questi viene riflesso dall'oggetto e convogliato sulla "pellicola". L'altro convogliato direttamente sulla pellicola. La figura di interferenza prodotta dalla differenza tra le fasi del raggio riflesso e di quello diretto è l'ologramma. La "memoria" (immagine) dell'oggetto è dunque codificata nella differenza tra le fasi. Questa può essere "ricordata" (decodificata) guardando l'ologramma con luce laser simile a quella usata per la produzione dell'ologramma. La figura di interferenza è completamente determinata dalla differenza di fase e può essere ricostruita anche partendo da una regione limitata dell'ologramma: una distruzione parziale dell'ologramma non comporta la perdita della "memoria". Queste proprietà suggeriscono la possibilità di adottare l'ologramma come modello per la memoria (cfr. n. 17).

Nel 1967, indipendentemente da Pribram (e da Froehlich), Hiroomi Umezawa e Luigi Maria Ricciardi (Ricciardi attualmente al Dipartimento di Matematica, Università di Napoli "Federico II"; Umezawa scomparso nel 1995 a Edmonton, Alberta, Canada) propongono un modello per processi cerebrali non localizzati fondato sulla teoria dei campi quantistici, che è appunto in grado di descrivere strutture coerenti e modi collettivi<sup>18</sup>.

Nel modello viene in particolare proposto che uno stimolo esterno induce la rottura della simmetria della dinamica del sistema e che come conseguenza, secondo quanto illustrato nel paragrafo 3, sono generati dei quanti di correlazione. La condensazione di tali quanti nello stato di minima energia del cervello produce un valore non nullo del corrispondente parametro d'ordine. Questo valore viene assunto come "codice" rappresentativo dell'informazione associata allo stimolo esterno. A valori (codici) diversi corrispondono informazioni diverse. In questo consiste il processo di "memorizzazione" o di "re-

gistrazione dell'informazione". Il processo, coinvolgendo correlazioni su domini estesi, ha carattere diffuso. Inoltre, come nella proposta del "cervello ologramma" di Pribram, un aspetto centrale del modello è nella coerenza che caratterizza la condensazione.

Non essendo possibile trattare i neuroni e le altre cellule come entità quantistiche, Umezawa e Ricciardi postulano l'esistenza di entità fisiche descrivibili in termini di campi quantistici, cui danno il nome di corticoni. Data la complessità del sistema, la dinamica del modello non viene esplicitamente assegnata se non nelle sue proprietà di simmetria; bastano queste infatti per descrivere il meccanismo di condensazione dei quanti di correlazione, chiamati "simmetroni" dagli autori. Una tale strategia è comunemente usata in moltissimi problemi di fisica quando la complessità e la difficoltà matematica precludono "attacchi frontali". Il fatto che i simmetroni condensino nello stato di minima energia assicura che questo, e dunque la registrazione dell'informazione, sia stabile: il modello rende perciò conto della "memoria a lungo termine". La memoria a breve termine è invece spiegata associando l'informazione ad uno stato con energia superiore alla minima (stato "eccitato" nel quale i simmetroni hanno energia cinetica non nulla): questo stato decade con una certa vita media e per mantenere quindi la registrazione dell'informazione (per non dimenticare) occorre "ripassare" cioè sottoporre il cervello a stimoli che riportino lo stato di memoria al suo livello di eccitazione.

Il processo del richiamare ("ricordare") un'informazione precedentemente memorizzata viene schematizzato nel seguente modo: sotto l'azione di uno stimolo esterno "simile" a quello che ha prodotto il processo di memorizzazione, e che quindi indurrebbe una analoga condensazione, il cervello "riconosce" ("*consciously feels*" dicono gli autori) il pre-esistente "codice" (cioè lo stato ordinato corrispondente). Mari Jibu e Kunio Yasue (Research Institute for Informatics and Science, Notre Dame Seishin University, Okayama, Giappone) propongono che il corticone sia identificato con il campo del dipolo elettrico delle molecole coinvolte (dell'acqua innanzitutto), la simmetria con quella rotazionale del dipolo ed il simmetrone con il corrispondente quanto di correlazione<sup>19</sup>. Il modello viene così ricondotto nell'ambito della teoria dei campi quantistici della materia vivente di cui abbiamo già parlato. Essi propongono anche che una possibile

azione delle sostanze anestetiche consista nella interferenza con la condensazione dei quanti di correlazione. In questo modo viene compromessa la capacità di “riconoscimento” del codice (informazione) registrato: viene così compromessa l’attività del “sentire cosciente” che presiede al “ricordare”.

Il modello di Umezawa e Ricciardi, anche nelle sue versioni aggiornate, presenta tuttavia un grosso difetto (peraltro già individuato dagli autori): supponiamo che due stimoli consecutivi (due informazioni in successione) agiscano sul cervello. Poiché la simmetria suscettibile di rottura è unica, i due stimoli consecutivi producono condensazioni in successione: inevitabilmente la registrazione della seconda informazione “cancella” la registrazione della precedente in quanto il valore finale del parametro d’ordine è quello associato alla condensazione avvenuta per ultima in ordine temporale. In questo modello la “capacità di memoria” è dunque molto ridotta, essa permette la “conservazione” di una sola informazione (l’ultima registrata in ordine temporale). Il problema è lo stesso che si presenta quando si vogliono registrare su un nastro magnetico più informazioni di quante il nastro possa contenere: o si posseggono più nastri o ci si arrende all’*overprinting*; cioè si accetta di “cancellare” ad ogni successiva registrazione quanto già registrato in precedenza.

### 7. *La freccia del tempo*

Nel modello di Umezawa e Ricciardi il cervello è un sistema aperto soggetto a stimoli esterni; tuttavia il fatto che il cervello sia in permanente interazione con l’ambiente non viene completamente utilizzato nel modellare la dinamica del sistema. Ho recentemente mostrato che proprio in esso è invece possibile trovare una soluzione al problema della “capacità di memoria”<sup>20</sup>. In Fisica lo studio dei sistemi aperti non è per nulla banale. Il formalismo di cui disponiamo, cosiddetto canonico, è costruito su misura per sistemi “chiusi”, non dissipativi. Una simmetria che ha un ruolo fondamentale nel formalismo canonico è quella relativa all’inversione del segno del tempo, detta “inversione temporale”, che indicherò con  $T$ . Normalmente osserviamo in uno specchio la nostra immagine sotto “inversione spaziale”: l’azione di un normalissimo specchio è quella di produrre una “inversione spaziale” e cioè il cambiamento del verso di orientamento di un asse

perpendicolare allo specchio ("specchio spaziale"). Produrre l'inversione temporale  $T$  è come usare uno "specchio temporale".

Dicevo dunque che non c'è posto nel formalismo canonico per la descrizione di sistemi aperti, ad esempio quelli nei quali viene dissipata energia verso l'esterno. In tali casi cambiare "il segno" del tempo produce un fenomeno ben diverso da quello di partenza: un sistema che cede energia all'ambiente viene trasformato dalla trasformazione  $T$  in un sistema che riceve energia dall'ambiente. I sistemi dissipativi non sono simmetrici rispetto alla simmetria  $T$ ; in essi la simmetria  $T$  è rotta.

La teoria quantistica della materia è fondata sul formalismo canonico e dunque studia solo sistemi chiusi. Come trattare nel formalismo quantistico un sistema aperto? La risposta è ovvia (anche se poi non è banale procedere nella formalizzazione matematica): basta "chiudere" il sistema.

Sia  $A$  il sistema aperto cui siamo interessati; chiudiamo il sistema  $A$  considerando anche l'"ambiente"  $B$  con cui  $A$  interagisce scambiando energia (per semplicità penseremo solo a scambi energetici). Il sistema "chiuso"  $(A,B)$  può essere studiato con il formalismo canonico. Alla fine del nostro studio su  $(A,B)$  cercheremo, per quanto possibile, di "estrarre" informazioni sullo stato del sistema  $A$ . In generale, non è facile chiudere il sistema  $A$  perché le interazioni di  $A$  con l'ambiente  $B$  possono essere complesse o poco note (lo stesso  $B$  può non essere esattamente ben noto o definito) e le difficoltà formali sono infatti notevoli.

Non sempre, tuttavia, si è interessati al dettaglio delle interazioni di  $A$  con  $B$ . In tali casi, tutto ciò che occorre per chiudere il sistema  $A$  è simulare l'ambiente  $B$  in modo da bilanciare esattamente lo scambio energetico: tutta l'energia dissipata da  $A$  deve essere ricevuta da  $B$ , e, viceversa,  $A$  deve ricevere tutta quella dissipata da  $B$ .  $B$  si comporta dunque come "l'immagine di  $A$  sotto inversione temporale". In quanto tale,  $B$  è rappresentabile esattamente come è rappresentato  $A$ , purché si cambi il segno alla variabile tempo nelle formule dove esso compare.  $B$  è una  $T$ -copia di  $A$ .

Per convincersi che non è assolutamente possibile trascurare il fatto che il cervello è un sistema aperto, osserviamo che l'attività della memoria è intrinsecamente irreversibile (cfr. n. 20). Infatti, "il fatto

stesso" di ricevere un'informazione (memorizzare) comporta la rottura della simmetria di inversione temporale: "Ora lo sai!" è l'avvertimento(-minaccia!) che si fa a chi viene a conoscenza di una certa informazione ed il suo chiaro significato è "ora non sei più lo stesso di quando non sapevi...".

Registrare un'informazione individua dunque "di per sé" un verso del tempo, una "freccia del tempo", non più invertibile: il "prima" della registrazione è "definitivamente distinto" dal "dopo" (cfr. n. 20). D'altra parte, molto banalmente, "solo il passato si può ricordare". Il cervello è un sistema dotato di "storia".

Siamo così necessariamente indotti a trattare la dinamica del cervello come una dinamica dissipativa. Questo, come abbiamo visto, comporta necessariamente l'introduzione dell'ambiente  $B$ . E poiché il nostro attuale obiettivo non è quello di studiare i dettagli dell'interazione cervello-ambiente, è sufficiente rappresentare l'ambiente come  $T$ -copia del cervello (sistema  $A$ ):  $B$  è l'immagine speculare nel tempo del cervello. Ricordiamo che il "codice" distintivo di una certa informazione è dato dal numero di quanti di correlazione, diciamo  $N(A)$ , condensati nello stato di minima energia del cervello. Nel sistema chiuso  $(A, B)$  il formalismo matematico richiede il "raddoppio" dei quanti  $N(A)$  attribuibili alla presenza di  $B$ , cioè che ci siano altrettanti quanti di correlazione  $N(B)$ :  $N(B) = N(A)$ . La condizione che impone che  $B$  sia copia (in  $T$ ) di  $A$  richiede così che la differenza  $N(A) - N(B)$  sia sempre zero. Il vincolo  $N(A) - N(B) = 0$  è dunque condizione essenziale nel nostro studio. Osserviamo tuttavia che esso non fissa il valore di  $N(A)$  e di  $N(B)$ ; dice soltanto che questi valori devono essere uguali; valori diversi, diciamo  $N(A)'$  ed  $N(B)'$ , vanno ugualmente bene purché  $N(A)' - N(B)' = 0$  (sto banalmente dicendo che ci sono infiniti modi di scrivere zero in termini di una differenza tra due quantità!). Ma questo implica che c'è una enorme libertà nel fissare  $N(A)$  ed introduce nel modello una grande ricchezza! Infatti, ogni stato di minima energia per il quale sia soddisfatto tale vincolo, "qualunque sia il valore di  $N(A)$ ", è un legittimo stato del sistema (e ve ne sono infiniti). In corrispondenza possiamo ora avere infiniti stati di memoria, uno per ciascuno degli infiniti valori che può assumere  $N(A)$ . RegISTRAZIONI consecutive di informazioni non producono più *overprinting*: il problema della capacità di memoria è così risolto (cfr. n. 20).

Lo "stato del cervello" ad un certo istante di tempo  $t$  è ora rappresentato da tutta la collezione (o sovrapposizione) degli "stati di memoria" al tempo  $t$  (quelli di codice  $N(A)$ ,  $N(A)'$ ,  $N(A)''$ , etc. in ciascuno dei quali è registrata l'informazione di codice corrispondente). "Ricordare" significa "localizzare" (o "ridurre") lo "stato del cervello" nello "stato di memoria" di codice associato all'informazione da richiamare. Il processo del ricordare, come suggerito da Umezawa e Ricciardi, viene indotto da uno stimolo "simile" a quello che aveva prodotto la registrazione di quel codice.

Poiché il valore del parametro d'ordine  $N(A)$  caratterizza lo stato ordinato, stati di memoria di codici diversi sono tra di loro ben distinti e indipendenti gli uni dagli altri (tra di loro ortogonali). Questo garantisce che non si possano avere "interferenze" e "distorsioni" nei processi di registrazione e di richiamo ("confusione di memoria"). Almeno in principio...! L'ortogonalità tra gli stati di memoria è infatti assicurata sotto condizioni che realisticamente non sono in generale soddisfatte (il modello matematico necessariamente trascura, in prima approssimazione, "dettagli" realistici del sistema). Ad esempio, la limitatezza spaziale del sistema può introdurre "effetti di bordo" che modificano leggermente i risultati iniziali. Queste "leggere modifiche" sono quanto mai benvenute nel nostro caso! Gli stati di memoria sono infatti "quasi"-ortogonali per via di tali effetti di bordo. Il che assicura ancora una buona "protezione" contro interferenze e distorsioni nella memorizzazione, ma tuttavia introduce anche la possibilità di "associazioni" di memoria o di "errori" nel ricordare; cose che rientrano nella nostra esperienza quotidiana. E per fortuna; dal momento che tutti riconosciamo i meriti dei cosiddetti "trucchi mnemonici" e di quelle "associazioni" di memoria che ci permettono di "ricostruire" un ricordo, all'"inizio" vago, passando di "memoria in memoria" come per un sentiero mentale, appunto attraverso la "collezione" degli stati di memoria del nostro cervello. Una eccessiva "rigidità" nell'ortogonalità tra tali stati renderebbe certamente meno efficiente la "ricerca" dell'informazione da richiamare, richiederebbe stimoli di richiamo ben più robusti di quanto normalmente sperimentiamo (la ricerca a mezzo *computer* di un numero telefonico è notoriamente un'impresa disperata – e costosa! – quando una banale variazione sia introdotta nel nome dell'utente cercato: "l'utente cer-

cato non figura tra gli abbonati” è la classica risposta. Ben diversa è la situazione nella ricerca “fatta a mano” sull’elenco vecchia maniera che non esclude la considerazione, paziente e giudiziosa, di possibili “distorsioni” del nome cercato).

Un altro vantaggio dell’“imperfezione” del sistema realistico (rispetto all’idealizzazione matematica) consiste nel fatto che gli stati di memoria sono di “quasi”-minima energia (sempre per effetti di bordo): questo, pur assicurando ancora una vita media lunga della memoria, richiede tuttavia la spesa di un’energia non nulla nel registrare e nel richiamare un’informazione, il che ci induce a “selezionare” le informazioni da registrare (che incubo sarebbe essere condannati a “registrare tutto”!) e ci evita di essere travolti da un flusso ininterrotto di ricordi; anche se talvolta ci richiede uno “sforzo” per ricordare.

La dinamica dissipativa infine introduce nel modello in maniera naturale proprietà legate alla temperatura del sistema che qui non commento (cfr. n. 21).

### 8. *Il Sosia e la coscienza*

Il cervello *A* si riflette nello specchio temporale in *B*, che è quindi l’immagine speculare nel tempo di *A* e al tempo stesso rappresenta l’ambiente. Poiché, come abbiamo visto, l’ambiente *B* non può essere eliminato, non è nemmeno possibile dissociare il cervello dalla sua immagine speculare (nel tempo): il cervello e il suo “riflesso” o Sosia *B* sono inseparabili. L’invenzione plautina della “duplicazione” di Sosia nell’Anfitrione con tutti i conseguenti giochi, equivoci, contraddizioni, diciamo, la conseguente dinamica dialogica della commedia, o l’auto-innamoramento di Narciso mediato dal (“attraverso” il) suo riflettersi nella fonte mi inducono ad associare meccanismi della coscienza al rapporto dinamico di *A* con *B*, suo riflesso o Sosia. Coscienza di sé e del mondo al tempo stesso; auto-coscienza “attraverso” il mondo.

L’ambiente *B* è identificato con *A* stesso: le “informazioni” provenienti da *B* sono “immagini” di *B* ma una volta registrate diventano l’“immagine” di *A*. E questo processo, abbiamo visto, implica una “rottura”, una “mancanza” di simmetria: memoria come “negazione” di indistinguibilità, memoria come “non-oblio” (l’*aletheia* dei greci, come ci ricorda Silvano Tagliagambe<sup>21</sup>). Ma come ho già osservato,

per fortuna memorizzare (e ricordare) costa energia e dunque inevitabilmente diventa una "scelta", implica l'attribuzione di un "valore" all'informazione che decidiamo di fare nostra memoria; questa diventa una delle nostre "verità" (*aletheia*, appunto). È qui che la memoria disegna la nostra identità e forse è questo il legame tra memoria e coscienza. O tra "immagini" e psiche<sup>22</sup>.

Forse per questa via, disegnata dal formalismo matematico della teoria dei campi quantistici, si potrebbe tentare un primo avvicinamento all'"*hard question*" che attende risposta: in che modo esperienze e stimoli esterni diventano nostre esperienze soggettive?

È bene ricordare a questo proposito che  $B$  rappresenta l'ambiente per quel che riguarda il bilancio del flusso energetico, e, da questo punto di vista, esso è l'"antagonista" di  $A$  (prende l'energia che  $A$  cede e vice-versa). D'altra parte, nello scambio energetico  $A$  modifica  $B$  e a sua volta è modificato da  $B$ : in questo ciclo, quella di  $B$  diventa una retro-azione, un *feedback* di  $A$  su se stesso; tecnicamente, è una interazione non-lineare di  $A$  con se stesso; appunto una riflessione: nel "vedere"  $B$ ,  $A$  vede se stesso e si "riconosce". Come ho già osservato (par. 7), secondo lo schema dissipativo, lo stato del cervello è la sovrapposizione di stati di memoria, ciascuno di assegnato codice  $N(A) = N(B)$ . Orbene, quando  $A$  "legge" (vede) una specifica rappresentazione di  $B$  di codice  $N(B)$ , si riconosce come  $N(A)$ : si auto-localizza nello stato di memoria di codice  $N(A)$ . Ma questa è la "riduzione" dello stato del cervello in quello specifico stato di memoria. Questo si ricollega alla visione di Penrose della coscienza come riduzione di uno stato quantistico, ma non ai dettagli del modello di Penrose: la "duplicazione" di  $A$  e quanto ne deriva è necessaria conseguenza della dissipazione; è un meccanismo intrinseco alla dinamica del cervello per il semplice fatto che esso "registra delle informazioni".  $B$  è dunque la "rappresentazione che  $A$  si fa dell'ambiente": la memoria "è un attivo punto di vista del mondo"<sup>23</sup>, e quindi porta in sé l'infedeltà del soggettivo; ma è proprio in questa infedeltà che va cercata la mappa dei "valori" che identificano  $A$ . Sarebbe interessante inserire la "necessità fisica" della dissipazione, derivante dall'essere il cervello un sistema aperto, nel contesto di un'analisi non limitata alla fisica del cervello<sup>24</sup>.

Si è visto che la percezione del flusso del tempo è anche essa in-



trinseca all'essere il cervello aperto al mondo. È dunque essa stessa una rappresentazione (soggettiva) del mondo. Questo ci rimanda al mai concluso dibattito "sul tempo", in diverso modo presente in filosofia come in fisica, e sul quale non è il caso qui di soffermarsi. Tuttavia vorrei sottolineare che la successione temporale definita dall'attività stessa del cervello (cervello come orologio) è una successione in cui lo stato del cervello è ad ogni istante uno stato stabile perché di minima energia: istante per istante, o, come si dice, localmente nel tempo, il cervello "è se stesso", "fuori dal divenire" (cfr. n. 23); anche se in una visione retrospettiva si scopre dotato di "storia". Va notato che questa visione retrospettiva si rende possibile solo a patto di "isolare"  $A$ , di dissociarlo (per quanto possibile!) dal Sostegno  $B$ . Solo in tale caso ci si accorge che l'entropia di  $A$  cresce nel tempo (e quindi un processo irreversibile, una storia è in corso). Altrimenti l'entropia totale del sistema chiuso ( $A, B$ ) resta costante (nulla). Ancora una volta, la possibilità dell'affermazione e al tempo stesso del superamento dell'"Identico", la possibilità di coniugare assieme aspetti così contrapposti e contraddittori, deriva dalla "duplicazione" o "raddoppio"  $A-B$ , e quindi in definitiva dal carattere dissipativo (aperto, relazionale<sup>25</sup>) della dinamica. Questi aspetti ci rimandano in qualche misura al "*binding problem*", alla problematica percezione cioè della stabilità e dell'unità dell'essere cosciente contrapposta al fluire del sentire. E a certe conclusioni raggiunte per altra via, del tipo: «La permanenza e la stabilità – proprietà dell'Io – "correlato" di tutte le nostre rappresentazioni – si identificano, così, con la proprietà della stessa forma tempo[...]» (cfr. n. 23).

Un altro aspetto che vale la pena sottolineare è quello della identificazione funzione-struttura (cfr. n. 11) cui ho accennato nel par. 3. Nel caso del cervello è evidente che la funzione memoria e la struttura quantistica delle correlazioni neurali sono inscindibili. Privare il cervello della funzione "memorizzare" significherebbe isolarlo dagli stimoli esterni, chiuderlo al mondo esterno; cioè distruggerlo in quanto cervello; il sistema risultante da tale operazione sarebbe ancora materia vivente, ma certamente non un cervello; e non sopravviverebbe a lungo. Si apre qui un capitolo interessantissimo su fenomeni di isolamento e di auto-isolamento del cervello (varie forme di coma, patologie psichiche e relazionali) su cui molto c'è ancora da impara-

<sup>22</sup>Sul tema della libertà (scelta) nella valutazione soggettiva o del valore soggettivo dell'immagine, non legato quindi necessariamente a "regole" logiche si vedano ad esempio, nell'ambito più ampio della "immaginazione" in rapporto alla realtà psichica, i saggi di PAOLO ATTE, *La visibilità da conquistare: note sull'immaginazione in analisi*, e di MARIA ILENA MAROZZA, *L'immaginazione all'origine della realtà psichica*, «Atque», 12 (1996), p. 47 e p. 63, rispettivamente.

<sup>23</sup>F. DESIDERI, *Al limite del rappresentare. Nota su immaginazione e Coscienza*, «Atque», 12 (1996), p. 135. Si rimanda a questo saggio anche per la problematica dell'infedeltà dell'immaginazione, della sua intima contraddizione valore-negazione, e del suo rapporto con la coscienza nel quadro delle posizioni di J.P. Sartre.

<sup>24</sup>Sarebbe per esempio interessante stu-

diare se è possibile istituire un rapporto, e di quale tipo, ammesso che un rapporto ci sia, tra la necessità fisica della rappresentazione e conseguenza della dissipazione e "il bisogno d'immaginazione" junghiano di cui ci parla la Marozza (cfr. n. 22), oppure, in un contesto diverso, con il carattere fondante dell'immaginazione di cui si occupa Desideri (cfr. n. 23).

<sup>25</sup>Sono a questo proposito sempre illuminanti le elaborazioni di ENZO PACI su irreversibilità e "relazione", e sulla risoluzione dell'"uno" e dell'"identico" nella temporalità necessaria conseguenza della "irreversibilità dell'esperienza", in *Tempo e relazione*, Il Saggiatore, Milano, 1965. Nello stendere queste note riscontro che il senso di "Ora lo sai!" (cfr. par. 7) trova il corrispettivo in "Non si può tornare indietro" con cui Paci inizia a p. 115 il saggio-capitolo "Il significato dell'irreversibile".