



LECTURE

G. Vitiello



RIASSUNTO

Considerando i sistemi biologici come la realizzazione della *fase vivente* della materia, ne risulta una visione *unitaria* della molteplicità di fasi, inclusa quella *vivente*, in cui la materia ci si presenta.

Sebbene la biologia molecolare continui a meravigliarci per i suoi continui successi nella comprensione, a livello cellulare e subcellulare, delle strutture microscopiche dei sistemi biologici, risulta essere ancora molto difficile, se non impossibile, rendere conto di fenomeni di ordinamento temporale e spaziale osservati nella materia vivente. 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.

Seguendo il suggerimento di Herbert Froehlich, viene proposto che fenomeni di coerenza emergano come effetti dinamici nel sistema biologico. Viene quindi descritto il meccanismo che nella teoria quantistica dei campi presiede alla formazione di strutture coerenti e di domini coerenti. La dinamica quantistica genera tra i componenti elementari correlazioni su grandi distanze. Si hanno così moti e oscillazioni “in fase”, appunto coerenti.

I componenti elementari assumono di conseguenza un comportamento “collettivo” che caratterizza il loro “insieme” in quanto tale; si suggerisce che gli esperimenti di Montagnier possano essere descritti in termini degli effetti dinamici qui descritti.

PAROLE CHIAVE

ROTTURA SPONTANEA DELLA SIMMETRIA, COERENZA, CORRELAZIONE DI FASE, DOMINI COERENTI

SUMMARY: Considering the biological systems as the realization of the *living phase* of matter, it is achieved a unitary vision of the different phases of matter, including the living one. Although molecular biology presents continuous successes in discovering cellular and sub-cellular components, it is still very difficult, if not impossible, to explain time and space ordering in the metabolic activity and tissue formation. The challenge is to account for the emergence of the macroscopic

ATTI DEL XXV CONGRESSO DI MEDICINA BIOLOGICA
– NUOVI ORIZZONTI IN MEDICINA –
Milano, 14 e 15 Maggio 2010
- SESSIONE RICERCA - MESSAGES FROM WATER

STATI COERENTI E DOMINI COERENTI NELLA FISICA DELLA MATERIA VIVENTE

COHERENT STATES AND COHERENT DOMAINS IN THE PHYSICS OF THE LIVING MATTER

Lo studio della struttura della materia mostra che questa può presentarsi in diversi regimi dinamici o *fasi* (ad esempio la fase solida, gassosa, etc.).

Il punto di vista che qui viene adottato è quello di considerare i sistemi biologici come la realizzazione della *fase vivente* della materia.

Ne risulta una visione *unitaria* della molteplicità di fasi, inclusa quella *vivente*, in cui la materia ci si presenta.

Nella mia presentazione seguirò da vicino i lavori (Vitiello 1998a; 2008a,b; 2009), di cui questa relazione può ritenersi un riassunto esteso.

La biologia molecolare continua a me-

ravigliarci per i suoi continui successi nella comprensione delle strutture microscopiche dei sistemi biologici, a livello cellulare e subcellulare, tanto che sembrerebbe non lontano il giorno in cui il catalogo dei “componenti” microscopici dei sistemi biologici risulterà completo. Catalogo che già oggi risulta essere ricchissimo non solo per il numero dei componenti elementari, ma anche per la loro diversificazione e specializzazione chimica. Il quadro generale, anche se “localmente” comprensibile, si presenta molto complesso a livello biochimico. Utilizzando solo i principi statistici e probabilistici che sot-

functional properties out of the microscopic biochemical activity.

Following Froehlich's suggestion, it is proposed that coherence phenomena emerge as dynamical effects in biological systems. It is described the mechanism of spontaneous breakdown of symmetry in quantum field theory, which leads to the formation of ordered patterns and coherent domains. Long range correlations among the system elementary components are formed, with their consequent

in-phase-motion. Collective properties then arise, characterizing the system behaviour at the macroscopic level. It is suggested that Montagnier's recent experiments might find their understanding in the proposed theoretical scheme.

KEY WORDS: SPONTANEOUS BREAKDOWN OF SYMMETRY, COHERENCE, PHASE CORRELATION, COHERENT DOMAINS

tendono la chimica dei processi biologici risulta essere molto difficile, se non impossibile, rendere conto di fenomeni di ordinamento temporale, quale la stretta concatenazione di reazioni chimiche specifiche, 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 che si verifica negli studi sulla coscienza circa l'esistenza di "easy problems" e di "hard problems", problemi semplici e problemi difficili: 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 lon-

tano 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 tutte le sostanze che costituiscono la materia vivente, a cominciare da quelle dell'acqua, presente in percentuali elevatissime (fino al 80% in peso 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. Inoltre, come ogni studente di medicina o di biologia può verificare nelle sue esercitazioni di laboratorio fin dai primi anni del corso di laurea, **tutte le macromolecole diventano biologicamente attive solo se immerse in una matrice acquosa.**

Questo indica il ruolo preminente giocato dall'acqua nella materia vivente.

Partendo da tali osservazioni, Herbert Froehlich formula nel 1968 (Froehlich 1968; 1988) 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.

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 il ricercatore si dimentica, 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 e delle biomolecole) correlazioni su grandi distanze (grandi rispetto alle dimensioni caratteristiche dei componenti stessi, e quindi fino ad alcune centinaia di micron): si hanno così moti ed oscillazioni "in fase", appunto coerenti.

I componenti elementari in tal modo correlati assumono un comportamento "collettivo" che caratterizza il loro "insieme" in quanto tale.

Siamo in presenza della transizione dalla **scala microscopica** dei componenti elementari e delle 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 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 (Del Giudice *et Al.*, 1983-2006; Vitiello, 1992) e che risulta utile anche nella formulazione di modelli matematici del cervello (Freeman *and* Vitiello, 2006, 2008; Vitiello, 1995-2009).

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.

ORDINE GENERATO DALLA ROTTURA DELLA SIMMETRIA

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. È possibile individuare in tali sistemi 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.

Come si è già detto, 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 asso-

ciata 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; essi sono tra di loro "equivalenti", indistinguibili relativamente alla specifica proprietà di simmetria).

Ordine e informazione come mancanza o rottura di simmetria.

FUNZIONE E STRUTTURA

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 può propagar-

si 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.

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 teorema di Goldstone (Itzykson and Zuber, 1980; Umezawa, 1993). 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 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 (Itzykson and Zuber, 1980; Umezawa, 1993).

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" (*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 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 vi

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 e struttura (cristallo e fonone) (Vitiello, 1998b).

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 (Del Giudice et Al., 1983-2006; Vitiello, 1992). Al 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.

La fenomenologia biochimica appare dunque essere la manifestazione di tale dinamica microscopica.

È interessante considerare, ad esempio, come in tale schema dinamico possa essere descritto il **citochescheletro**.

L'ESEMPIO DEL CITOSCHELETRO

L'interno della cellula è pervaso da una fitta ed intricata rete di microtubuli formati da ben note proteine; questa rete, detta **citochescheletro**, 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 citochescheletro, che dunque si rivela una struttura fondamentale per la funzionalità biochimica. Quando la cellula muore il citochescheletro si disfa. Questo comportamento, caratterizzato da forte dinamismo, è molto difficile da spiegare e da modellare. Esistono numerosi studi, oltre che sulla biochimica coinvolta, anche sulla capacità di trasporto di energia e di cariche sui microtubuli (Davydov, 1982 e bibliografia ivi riportata). Molti di questi studi considerano dinamiche nonlineari in grado di sostenere la propagazione di onde di tipo *solitonico*, 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.

Davydov ha proposto che il trasporto energetico non-dissipativo sia reso possibile nei sistemi biologici grazie alla propagazione di onde solitoniche sulle

catene proteiche (Davydov, 1979, 1982). Tale proposta si fonda sul concetto di coerenza tra i componenti elementari della catena proteica ed apre la strada alla descrizione della formazione del citochescheletro e del suo comportamento dinamico nell'approccio quantistico alla materia vivente (Del Giudice et Al., 1986).

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, in sistemi ordinati. Nelle regioni che presentano ordinamento, quali i domini ordinati dell'acqua nei sistemi biologici, il campo elettromagnetico 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 penetrazione del campo elettromagnetico.

Nel caso dei sistemi biologici, oltre ai campi elettromagnetici 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 ci-

toscheletro (circa 150 Angstrom) (Del Giudice *et Al.*, 1986).

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, del suo dinamismo e della possibilità che su di esso possano propagarsi onde solitoniche responsabili della **elevata rapidità ed efficienza** dell'attività metabolica e del trasporto non-dissipativo di energia attraverso distanze considerevoli rispetto a quelle caratteristiche delle componenti molecolari (Del Giudice *et Al.*, 1986).

STATI COERENTI E DOMINI COERENTI

Abbiamo visto come il meccanismo della rottura della simmetria generi l'ordinamento dei componenti elementari del sistema istituendo tra di essi una correlazione. Questa è mediata, resa cioè possibile, dalla propagazione del quanto di Goldstone e si manifesta nel comportamento collettivo (coerente) dei componenti elementari: si passa in tal modo dalla scala microscopica a quella macroscopica del sistema nel suo complesso.

Poiché il regime dinamico microscopico responsabile di tale cambiamento di scala è di natura quantistica (quantistica è infatti la natura dei componenti elementari), vediamo che il sistema che ne risulta con le sue proprietà macroscopiche è un *sistema quantistico macroscopico*.

Va qui notato che il concetto di *emergenza*, cui in diversi contesti viene fatto riferimento in termini più o meno vaghi, acquista nella teoria quantistica dei campi una connotazione molto precisa e quantitativamente ben determinata: **l'emergenza delle proprietà macroscopiche è caratterizzata dal processo**

dinamico che regola la formazione dell'ordinamento nel sistema.

Come si è già detto, la massa del quanto di correlazione (di Goldstone) è nulla. In realtà questo accade quando il volume del sistema sia considerato grande (in principio infinito) rispetto alle dimensioni dei componenti.

Vediamo cosa accade in situazioni realistiche in cui sono presenti effetti dovuti al volume finito del sistema.

Consideriamo più da vicino la natura della correlazione tra i componenti elementari.

Essa risulta essere una *correlazione di fase* tra le oscillazioni dei componenti. Questi oscillano in fase e il ruolo del quanto di Goldstone è infatti quello di "mettere in fase" le oscillazioni elementari. In tale oscillare in fase risiede il concetto di coerenza.

In situazioni realistiche la coerenza (l'ordinamento) non si instaura su regioni che coprono tutto il sistema.

Si osserva piuttosto una "frammentazione" dell'ordinamento in "domini coerenti" (o domini di coerenza) di dimensioni finite. Nell'analisi del processo di formazione di tali domini coerenti, lo studio delle fasi delle oscillazioni mostra che esse sono strettamente controllate dal campo elettromagnetico radiativo associato ai componenti elementari. Il quanto di correlazione entra quindi in competizione col campo elettromagnetico e l'ordinamento nasce in definitiva dall'equilibrio dinamico che possibilmente si instaura tra di essi.

La dimensione lineare della regione su cui l'ordinamento si estende è controllata dalla lunghezza d'onda del campo elettromagnetico. Il dominio coerente risultante è, quindi, il risultato del "bloccaggio della fase" (*phase locking*) del campo elettromagnetico radiativo e delle oscillazioni dei componenti "materiali" del sistema (Del Giudice *et Al.*, 1988; Arani *et Al.*, 1995; Del Giudice *and Vitiello*, 2006).

La situazione che frequentemente si osserva è, dunque, quella di una configurazione del sistema in cui domini coerenti sono "immersi" in regioni non

ordinate. A causa della origine dinamica della coerenza, le dimensioni lineari dei domini possono fluttuare e non è esclusa la possibilità che parametri rilevanti, quali la temperatura, la densità dei componenti elementari, la densità e le fluttuazioni della carica elettrica, siano tali da favorire il fondersi di più domini in un unico più esteso dominio, in un processo talvolta detto di *supercoerenza*, o, al contrario, in una ulteriore frammentazione dei domini esistenti fino alla scomparsa di ogni ordine e quindi al recupero della simmetria (*symmetry restoration*).

Lo schema teorico fin qui illustrato trova piena conferma negli esperimenti sulla struttura della materia e dà ragione della robustezza delle strutture coerenti comunemente osservate, quali i ferromagneti, i cristalli, i superconduttori. Infatti lo stato coerente del sistema o dei domini di coerenza ha energia (quasi-) uguale a quella dello stato fondamentale della fase non coerente.

Questo significa che lo stato coerente è stabile così come lo è quello non coerente. A conferma di ciò, si osserva che in molti sistemi il regime dinamico della coerenza persiste anche a temperature non necessariamente molto basse. Ad esempio, per molti cristalli e magneti le temperature di dissolvimento (di fusione) della struttura ordinata (coerente) del reticolo cristallino o dei magnetini elementari sono di centinaia o migliaia di gradi centigradi; il diamante fonde a 3.545° C, il cristallo del cloruro di sodio (il sale da cucina) fonde a 804° C; nel ferro la coerenza tra i magnetini elementari che si manifesta nella magnetizzazione si perde a 770° C, nel cobalto a 1.075° C.

Nei superconduttori le temperature critiche sono molto basse, non superiori a circa -252° C per alcuni composti del niobio, e fino a poco più di -153° C per alcuni ossidi di rame contenenti bismuto.

Le temperature critiche per il fenomeno della coerenza possono, dunque, essere molto basse o molto alte (rispetto alla temperatura ambiente) in dipendenza di specifiche condizioni e pro-

prietà dinamiche caratteristiche del sistema considerato (Vitiello, 2009).

Nel caso dell'acqua l'approccio qui brevemente presentato è in grado di prevedere con accettabile accuratezza le bande di frequenza per l'assorbimento di radiazione elettromagnetica. Quelle previste dalla teoria sono centrate attorno alle frequenze 1.600, 750 e 400 1/cm, da paragonarsi a quelle osservate in laboratorio che sono centrate intorno a 1.640, 580 e 180 1/cm (Del Giudice *et Al.*, 1988).

– Anche le recenti osservazioni di laboratorio di Montagnier (Montagnier *et Al.*, 2009a, 2009b) possono trovare una plausibile giustificazione teorica nello schema teorico qui descritto.

Negli esperimenti del gruppo di Montagnier, i segmenti di DNA batterico che, opportunamente eccitati, emettono radiazione elettromagnetica, inducono presumibilmente un **ordinamento nell'acqua in cui sono immersi** e in quella in loro prossimità, sebbene non immediatamente con essi in contatto, **secondo il meccanismo della rottura spontanea della simmetria**.

Le correlazioni che si instaurano nei domini coerenti che vengono in tal modo creati sono caratterizzate da frequenze che dipendono dal mezzo (l'acqua) e da quelle che hanno indotto l'ordinamento (oltre che da altri parametri rilevanti, come la temperatura e il grado di purezza dell'acqua).

Pertanto esse simulano a tutti gli effetti la presenza di segmenti di DNA, anche lì dove questi sono assenti, rendendo quindi possibile, quando siano introdotti in tale bagno di frequenze opportuni reagenti biochimici, la stessa attività di polimerizzazione osservata in presenza dei segmenti di DNA.

Sebbene il quadro teorico e sperimentale appaia abbastanza ben definito nelle sue linee generali, occorre, tuttavia,

ancora molto lavoro nella comprensione di numerosi aspetti specifici dei fenomeni osservati.

Possiamo comunque affermare che siamo ad una svolta nella comprensione di aspetti strutturali che regolano la dinamica dei sistemi biologici.

L'orizzonte delle applicazioni che ne seguono appare molto ampio e promettente. ■

Bibliografia

1. Arani R., Bono I., Del Giudice E., Preparata G. – QED Coherence and the thermodynamics of water. *Inter. Journal of Modern Physics B9*, 813; **1995**.
2. Davydov A. S. – Solitons in molecular systems. *Physica Scripta* 20, 387; **1979**.
3. Davydov A. S. – *Biology and quantum mechanics*, Pergamon, Oxford; **1982**.
4. Del Giudice E., Doglia S., Milani M. and Vitiello G. – Spontaneous symmetry breakdown and boson condensation in biology. *Phys. Lett.* 95A, 508; **1983**.
5. Del Giudice E., Doglia S., Milani M. and Vitiello G. – A quantum field theoretical approach to the collective behavior of biological systems. *Nucl. Phys. B251 (FS 13)*, 375; **1985**.
6. Del Giudice E., Doglia S., Milani M. and Vitiello G. – Electromagnetic field and spontaneous symmetry breakdown in biological matter. *Nucl. Phys. B275 (FS 17)*, 185; **1986**.
7. Del Giudice E., Preparata G. and Vitiello G. – Water as a free electron laser. *Phys. Rev. Lett.* 61, 1085; **1988**.
8. Del Giudice E. and Vitiello G. – The role of the electromagnetic field in the formation of domains in the process of symmetry breaking phase transitions. *Phys. Rev. A74*, 022105; **2006**.
9. Froehlich, H. – Long range coherence and energy storage in biological systems, *Intern. J. Quantum Chemistry* 2, 641; **1968**.
10. Froehlich, H. (*a cura di*) – *Biological coherence and response to external stimuli*, Springer-Verlag, Berlino; **1988**.
11. Freeman W.J. and Vitiello G. – Nonlinear brain dynamics as macroscopic manifestation of underlying many-body dynamics. *Phys. of Life Reviews* 3, 93; **2006**.
12. Freeman W.J. and Vitiello G. – Dissipation, spontaneous breakdown of symmetry and brain dynamics. *J.Phys. A: Math. Theor.* 41, 304042; **2008**.
13. Itzykson C. and Zuber J. – *Quantum field theory*. McGraw-Hill, New York; **1980**.
14. Montagnier L., Aissa J., Ferris S., Montagnier L.-L., and Lavallee C. – Electromagnetic signals are produced by aqueous nanostructures derived from bacterial DNA. *Interdiscip. Sci. Comput. Life Sci.* 1(2), 81; **2009a**.
15. Montagnier L., Aissa J., Lavallee C. *et Al.* – Electromagnetic detection of HIV DNA in the blood of AIDS patients treated by antiretroviral therapy. *Interdiscip. Sci. Comput. Life Sci.* 1(4), 245; **2009b**.

16. Umezawa H. – *Advanced field theory: micro, macro and thermal concepts*. New York: American Institute of Physics, New York; **1993**.
17. Vitiello G. – Coherence and electromagnetic field in living matter, *Nanobiology* 1, 221; **1992**.
18. Vitiello G. – Dissipation and memory capacity in the quantum brain model. *Int. J. Mod. Phys. B9*, 973; **1995**.
19. Vitiello G. – Dissipazione e Coscienza. *Atque* 16, 171, Nov 1997- Aprile 1998; **1998a**.
20. Vitiello G. – Structure and function, *in Towards a Science of Consciousness II*, a cura di S.R. Hameroff, A. Kaszniak, A. Scott, MIT Press, Cambridge MA, p. 191; **1998b**.
21. Vitiello G. – *My Double Unveiled*. John Benjamins, Amsterdam; **2001**.
22. Vitiello G. – Oggetto, percezione e astrazione in fisica, in F. Desideri, E G. Matteucci eds. *Dall'oggetto estetico all'oggetto artistico*. p. 11. University Press, Firenze; **2006**.
23. Vitiello G. – Essere nel mondo: Io e il mio Doppio. *Atque* vol 5 N.S., 155; **2008a**.
24. Vitiello G. – Campo dei fiori, in *Scienza e Società, a cura di Patrice Poinssotte*. Prefazione di Margherita Hack. Aracne, Roma. p. 79; **2008b**.
25. Vitiello G. – Io e il mio Doppio: la dinamica coerente del cervello e l'emergere della coscienza. *La Med.Biol.*, **2009/4**; 9-15.

Riferimento bibliografico

VITIELLO G. – Stati coerenti e domini coerenti nella fisica della materia vivente. *La Med. Biol.*, **2010/4**; 13-18.

Indirizzo dell'autore

Prof. Giuseppe Vitiello

– Dipartimento di Matematica e Informatica – Facoltà di Scienze, Università di Salerno
– Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Gruppo Collegato di Salerno

Via Ponte don Melillo
c/o BIC Città della Scienza
I – 84084 Fisciano (Salerno)