

## leone fronzoni STRUTTURE

Il mondo che ci circonda è caratterizzato da una grande varietà di forme e di comportamenti. Nel primo caso ci riferiamo ad oggetti definiti nello spazio e nel secondo ad eventi definiti nel tempo. Questa suddivisione perde significato se ci riferiamo alle proprietà di ordine e disordine. Un sistema può mostrare un ordine spaziale ed un ordine nell'evoluzione temporale, oppure un disordine negli eventi temporali pur mantenendo un ordine spaziale. Ordine e disordine sono proprietà che prescindono dallo spazio e dal tempo. La linea di demarcazione tra ordine e disordine, spesso, non è così chiara e solo in alcuni casi questa la si può individuare. Se la definizione di disordine comporta molte difficoltà, diversamente, la definizione di ordine è affrontabile con una certa rigosità. Ordine è sinonimo di struttura e d'ora in avanti ci riferiremo a questo termine per esporre ciò che è di moderno ed attuale in questa definizione. Ovviamente ci limiteremo a trattare il concetto di struttura nell'ambito della fisica e, al più, nell'ambito della biologia. Per altre discipline si suppone una naturale generalizzazione dei concetti qui esposti. Più che alla descrizione della struttura siamo interessati ai meccanismi che generano la struttura. L'evolversi di strutture sempre più complesse è alla base dei processi biologici e vitali ma possiamo riferirci a processi evolutivi anche per gli oggetti che si consideravano, tradizionalmente, inanimati. Se si osserva una stella su tempi molto lunghi, questa ci apparirà animata e caratterizzata da un ben definito processo evolutivo.

### Strutture cristalline e strutture multifrattali

L'esempio più semplice di struttura è quella di un cristallo. Il diamante è un cristallo, così anche la grafite. La cosa interessante è che, pur essendo molto diversi, questi sono costituiti dallo stesso elemento chimico, il carbonio.

Figura 1: rappresentazione grafica della struttura del diamante (a) e della grafite (b). I punti rappresentano gli atomi di carbonio. Si osservi la struttura a piani della grafite.

In questi casi la struttura è definita attraverso una base con particolari proprietà di simmetria (vedi fig.1) e poi, ripetuta nello spazio. Esistono strutture che, sempre partendo da una base, vengono ripetute modificando le dimensioni in successione progressiva. In termini tecnici si dice che vengono riscalate le dimensioni della base. In questo caso si parla di strutture frattali ed un esempio suggestivo è dato dalla felce mostrata in figura 2. Se nel meccanismo di riduzione si utilizzano più scale la struttura prodotta è un multifrattale. Multifrattali sono riscontrabili nella geometria dei vortici di un fluido turbolento.

Figura 2: Immagine di una felce (a) e la sua ricostruzione al computer tramite un algoritmo matematico che riproduce un frattale (b).

Strutture periodiche, frattali e multifrattali sono presenti nella nostra realtà ma le domande che ci poniamo sono: come è possibile che si formi una data struttura invece di un'altra? Quali sono i meccanismi che la generano?

A questo punto occorre fare alcune distinzioni:

a- la struttura non si forma dal niente.

b- una struttura può nascere da una struttura precedente.

c- una struttura può comparire da uno stato disordinato.

d- i processi possono avvenire in maniera inversa a quanto detto nei punti precedenti.

Il punto c è particolarmente significativo, e senza complicare eccessivamente il nostro linguaggio diamo un esempio di stato disordinato: l'acqua. Nell'acqua le molecole sono distribuite nello spazio in maniera aleatoria, le loro distanze sono casuali anche se esiste una distanza media. Abbassando la temperatura l'acqua solidifica e diventa ghiaccio. Questo nuovo stato presenta una struttura cristallina. Capire questo processo non è banale anche se intuitivamente possiamo interpretarlo con una continua riduzione dell'agitazione termica delle molecole che facilita l'accomodamento in una posizione che rispetti le simmetrie delle interazioni intermolecolari. Questo fenomeno non è graduale ma caratterizzato da un brusco cambiamento che prende nome di transizione di fase. Quindi al variare della temperatura si passa, bruscamente, da uno stato disordinato ad uno stato ordinato.

Transizione disordine-ordine in ottica: il laser

Per evidenziare la generalità del processo, riportiamo un'altro esempio, il laser. Ci sono vari tipi di laser realizzati con materiale solido o gassoso. Nel caso del laser ad He-Ne le due miscele di gas sono percorse da una corrente elettrica che stimola l'emissione di radiazione luminosa. Possiamo considerare la radiazione come costituita da particelle prive di massa chiamate fotoni. Se la corrente non è sufficiente il laser si comporta come una normale lampadina e i fotoni sono emessi in modo casuale (incoerenti) ma al di sopra di una certa intensità di corrente i fotoni e gli atomi si auto-organizzano in una configurazione ordinata. La radiazione verrà emessa ordinatamente mediante uno stretto fascio luminoso e la coerenza sarà espressa attraverso una ben definita fase e frequenza della radiazione. In questi esempi abbiamo fatto riferimento al concetto di auto-organizzazione. Questo concetto ha assunto un ruolo determinante per la comprensione dei processi evolutivi che sono alla base dei fenomeni biologici.

Transizione disordine-ordine in fluidodinamica: instabilità convettive di Rayleigh-Bénard

C'è un fenomeno che i fisici assumono come esempio paradigmatico per spiegare l'auto-organizzazione. Un fluido riscaldato dal basso, per effetto della forza di Archimede può generare delle strutture ordinate o moti convettivi. In questo esempio la struttura è dinamica ed è caratterizzata da profili di velocità ascensionali e discensionali che generano immagini come mostra la figura 3.

Figura 3. Immagine dall'alto di un recipiente metallico contenente silicone riscaldato dal basso. Il moto del fluido assume una configurazione a cellette esagonali con un moto ascendente al centro della singola celletta e discendente ai bordi.

La struttura nasce in corrispondenza di uno specifico valore del gradiente termico. Da un fluido in condizione di staticità macroscopica ma disordinata a livello microscopico (agitazione termica), nasce una configurazione somigliante ad una struttura biologica. L'aspetto importante dal punto di vista scientifico è la possibilità di poterlo descrivere con modelli matematici e quindi fare delle previsioni sul valore della temperatura della piastra sottostante che determina la formazione della struttura. Inoltre, è possibile prevedere l'insorgere di altre instabilità o la formazione di altre strutture.

**Strutture dinamiche: le reazioni di Belousov-Zhabotinsky**

Se si considera le reazioni chimiche si osserva una suggestiva configurazione spaziale oscillante che appare in una reazione catalitica ottenuta dall'ossidazione di componenti organici da parte di ioni metallici. Nel contenitore compaiono delle spirali che evolvono in fronti. Le immagini sono caratterizzate dal colore diverso dei reagenti rispetto a quello degli ossidanti. In questo caso le strutture non sono stabili ed evolvono dinamicamente. Configurazioni analoghe sono realizzate nel tessuto cardiaco in presenza di fibrillazione miocardica. In questo caso la configurazione spaziale si riferisce al potenziale di membrana delle cellule del tessuto.

Figura 4. Immagine dall'alto della miscela che presenta reazioni che generano configurazioni spaziali a forma di spirale.

**Strutture dinamiche guidate in Cristalli Liquidi**

Un ultimo esempio significativo si ritrova nei cristalli liquidi, sostanza utilizzate nel "display" degli orologi o negli schermi dei computers. Queste sostanze sono costituite da molecole organiche che presentano proprietà fisiche anisotrope come la conducibilità elettrica. Azioni esterne come campi elettrici o magnetici determina la formazione di strutture guidate, ovvero, configurazioni con strutture che dipendono dal valore dei campi applicati. Nelle figure sono riportati tre esempi di campioni di cristallo liquido nematico posto fra due vetri metallizzati corrispondenti a tre valori di potenziale elettrico applicato. Nel primo caso la struttura appare quasi regolare nonostante la presenza di alcuni difetti. Per valori superiori del campo elettrico applicato la struttura si disordina. Nella terza immagine si ha la convivenza di strutture regolari quadrettate e regioni turbolenti. Le immagini sono ottenute attraverso un microscopio polarizzante dato che le dimensioni delle periodicità delle strutture sono dell'ordine di frazioni di millimetro.

Figura 5. Immagini al microscopio polarizzante di celle di cristallo liquido nematico sottoposte a tre valori crescenti di campo elettrico. Le immagini sono prodotte dal moto del fluido che variando l'orientazione molecolare modifica, localmente, la birifrangenza del cristallo liquido.

## BIBLIOGRAFIA RIDOTTA

B.BENOIT MANDELBROT, Gli oggetti frattali: forma, caso e dimensione, Einaudi 1987.

L. LANDAU - E. LIFCHITZ, Mécanique de Fluides, Ellipses 1971.

R.J. FIELD - M.BURGER, Oscillations and Traveling Waves in Chemical Systems, ©John Wiley & Sons, Inc 1985.

P.G. de GENNES, The Physics of liquid Crystals, Oxford University Press 1974.