Approfondimento

Come l'ordine può derivare dal caos

1

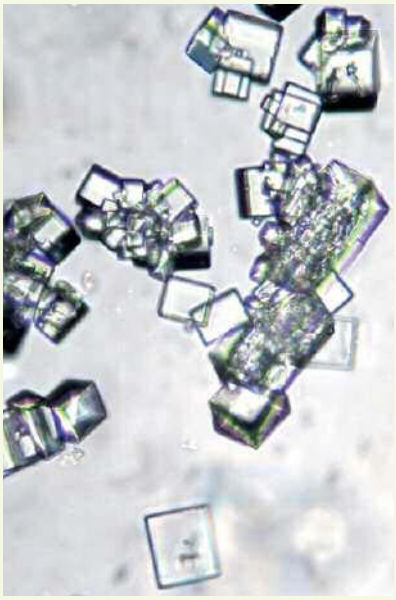


Fig. 1.
Cristalli di sale, in una goccia d'acqua salata in via di prosciugamento, visti al microscopio.

Tutti sappiamo che, se non si pone attenzione, una stanza, un cassetto o uno schedario diventano disordinati in pochi giorni. È facilissimo passare dall'ordine al disordine, mentre il percorso inverso richiede volontà, lavoro e fatica. Sembra che lo stesso succeda anche in natura: in autunno le molecole delle foglie (così bene ordinate a formare il lembo, le nervature e tutte le cellule delle foglie stesse) iniziano a disgregarsi. Le foglie, insomma, marciscono e alla fine diventano terriccio: le loro molecole non scompaiono, ma della loro (ordinata) struttura non rimane più traccia alcuna. L'ordine diventa disordine.

Tutto ciò è facile da capire. Meno facile è la comprensione del fatto che miliardi e miliardi di molecole disordinate siano state capaci, nella primavera precedente, di organizzarsi in modo da formare, appunto, una foglia. Per capire questo fatto bisogna sicuramente conoscere i principali processi chimici e biologici (genetica, evoluzione, biochimica, biologia molecolare), ma anche così rimangono ancora molti punti che la scienza deve chiarire.

Il fatto che certe strutture, viventi ma anche non viventi (per esempio: i cristalli), si formino e si sviluppino "da soli" ha del prodigioso, e infatti fino a uno o due secoli fa anche grandi scienziati davano per scontato che alla base ci fosse un **progetto intelligente**. Ma sempre di più ci si è accorti che molte strutture ordinate possono formarsi, spontaneamente, da punti di partenza completamente disordinati e caotici. Vediamo qualche esempio.

Uno dei casi più semplici è quello della formazione di un cristallo. Ogni cristallo (sale, quarzo, diamante) è costituito da un reticolo estremamente ordinato di atomi raggruppati e legati tra loro secondo regole precise. Nel caso del sale da cucina (cloruro di sodio: NaCl), per esempio, ogni atomo (ione) di sodio è legato a quattro di cloro. Nel contempo ogni ione di cloro è legato a quattro di sodio.

Per poter osservare la formazione dei cristalli di sale basta scioglierne un po' in pochissima acqua; si pone una goccia della soluzione su un vetrino e la si riscalda alla fiamma per quattro o cinque secondi in modo che solo i bordi della goccia comincino ad asciugare (formando i cristalli). Osservando la goccia al microscopio, anche a piccolo ingrandimento, si vedranno numerosi bellissimi cristalli in formazione. Ogni cristallo è una struttura geometricamente perfetta: gli spigoli e le superfici sono assolutamente regolari fino a livello atomico, e gli angoli che formano sono di 90° esatti.

E tutto ciò deriva da ioni vaganti di sodio e di cloro disordinatamente dispersi tra le molecole dell'acqua. Nessuno ha loro ordinato di mettersi in fila e di impacchettarsi ordinatamente per formare un cristallo: il tutto è avvenuto in modo spontaneo, in base alle semplici regole dei legami chimici. I cristalli, insomma, si sono autoassemblati.

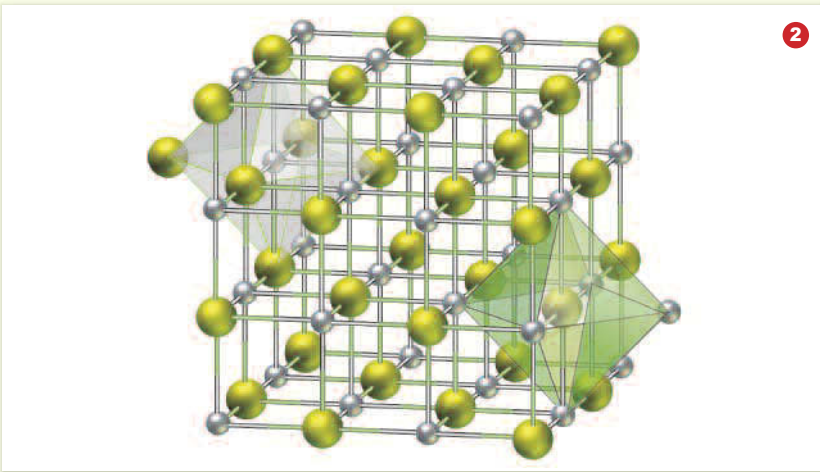


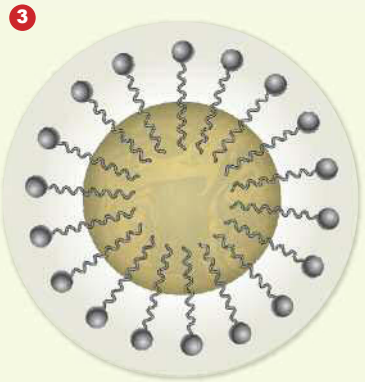
Fig. 2.
Struttura a livello atomico dei cristalli di NaCl. Le sfere piccole (in grigio) rappresentano gli atomi (ioni) di sodio; quelle grandi (in verde) quelli di cloro. I due ottaedri sono stati ottenuti unendo idealmente gli ioni più vicini dello stesso tipo. Come si vede, l'ordine geometrico è perfetto.

© Istituto Italiano Edizioni Atlas

In natura esistono anche casi più complessi, come l'autoassemblaggio molecolare, per cui molecole diverse si dispongono insieme in un modo ben preciso, senza l'aiuto di alcun agente esterno. Un assemblaggio supramolecolare, o "supermolecola", è un insieme di molecole che stanno insieme grazie a legami non covalenti. Ne sono esempio le due eliche della catena del DNA (che, se complementari, tendono a riunirsi spontaneamente) o le differenti molecole proteiche che, unendosi tra loro in modo preciso e ordinato, formano i fili delle tele di ragno.

Aggregati sopramolecolari spontanei ancora più grandi formano i cosiddetti cristalli liquidi, aggregati di materia dalle caratteristiche solide e liquide allo stesso tempo. Le molecole dei cristalli liquidi, in presenza di un campo elettrico, si allineano con esso cambiando così le proprie proprietà ottiche. Pertanto costituiscono la parte essenziale degli schermi piatti (cioè LCD, *liquid crystal display*) di televisori e computer, nonché di display di telefonini e orologi digitali.

3



Tipici aggregati molecolari autoassemblati sono le *micelle* che possono essere lamellari, sferiche o cilindriche. Nella *figura 3* si vede una micella come quelle che si formano, a miliardi, quando laviamo qualcosa con il sapone. La sfera centrale rappresenta lo sporco che, di regola, è un grasso: intorno vi sono numerose molecole lineari costituite da una parte idrofila (teste polari, disegnate come pallini neri), e da una catena idrofobica (che evita l'acqua ma si attacca al grasso). In questo modo le particelle di sporco (grasso), avvolte dalle molecole del detersivo e staccate dal substrato da lavare, si inglobano nella soluzione acquosa e vengono facilmente rimosse. È così che gli indumenti sporchi vengono ripuliti.

Particolarmente importanti sono gli aggregati molecolari formati dai fosfolipidi che si trovano in un mezzo acquoso: in tal caso le loro molecole si dispongono ordinatamente con

le loro parti idrofile rivolte verso l'acqua, e le parti idrofobe a contatto tra loro. In questo modo si possono formare microscopiche vescicole chiuse (liposomi e micelle), come illustrato nella *figura 4*.

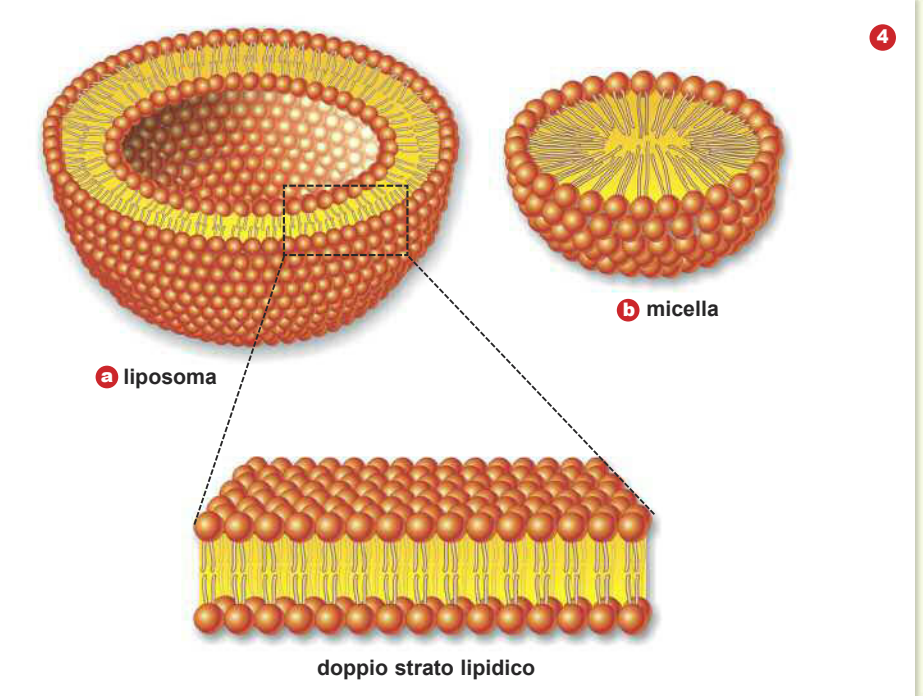


Fig. 4.
A causa della loro struttura chimica, con una coda idrofoba e una testa idrofila, i fosfolipidi tendono spontaneamente ad aggregarsi in modo ordinato. Si possono così formare sfere chiuse da uno strato fosfolipidico (semplice o doppio) che trattengono all'interno una soluzione acquosa (**liposomi**, **a.**) o niente (e allora si dicono **micelle**, **b.**). Si noti che i liposomi hanno la stessa struttura di base.
Tutto ciò è praticamente identico alla struttura delle membrane cellulari. (In arancio le porzioni idrofile; in giallo le catene idrofobe.)

Un altro esempio di struttura che si riordina da sola è fornito dalle proteine che costituiscono l'involucro esterno di un virus. Queste, una volta isolate, possono autoassemblarsi in particelle molecolari (dette virus-simili) che assomigliano a virus, ma non sono infettive essendo prive di materiale genetico (DNA o RNA). Tali particelle vengono anche fabbricate in alcuni laboratori specializzati a scopo di ricerca.

Un caso estremo è dato da alcuni virus che, dopo essere stati "smontati" dall'uomo nei loro componenti molecolari, si sono successivamente riassemblati spontaneamente.

In conclusione, molte strutture ordinate possono formarsi spontaneamente. L'ordine, in questi casi, sorge spontaneamente dal disordine.

© Istituto Italiano Edizioni Atlas