

La candela

Riprendiamo finalmente il discorso sulla simmetria, cominciando da alcune brevi risposte, precisazioni e correzioni. Anzitutto il quiz: avete scoperto qual è l'oggetto di uso comune che ha una vite sinistra? È la bicicletta, o più esattamente il pedale destro, come vi confermerà qualunque meccanico ciclista. Il pedale destro è avvitato sulla pedivella con una vite sinistra per evitare che il movimento del pedalare, che causa una rotazione *in senso antiorario* rispetto alla pedivella, lo faccia svitare. Il problema non sussiste per il pedale sinistro, che ruota in senso orario.

Perché Draco e Doradus (non Dorado, come un lapsus mi ha fatto scrivere)? Perché in quelle costellazioni si trovano i poli dell'eclittica. La stella polare (α dell'Orsa Minore) è vicina al polo Nord celeste, che individua l'asse di rotazione della Terra; ma parlando di sistema solare è più importante il piano dell'orbita, che coincide più o meno con quelli delle orbite degli altri pianeti: soltanto Mercurio e più ancora Plutone se ne scostano significativamente. Com'è noto, tra i due poli ci sono oltre 23° .

Ringrazio Montagnoli per aver accolto l'invito a spiegare meglio ciò che io ho saputo solo sfiorare, a proposito di talidomide, zucchero levogiro, ecc. Il libro dove ho trovato lo zucchero "privo di calorie" è *L'onere della prova* di Scott Turow. Sulla questione delle zero calorie, e sul perché, a differenza di Montagnoli, a me un'espressione del genere suoni un po' stonata, tornerò forse in un'altra occasione.

Vengo ora alle due questioni più serie che avevo poste: quella dello specchio, e quella dell'ago magnetico. In tal modo potrò anche rispondere al dr. Mansani, che sta aspettando da un bel po'. Per l'ago, precisiamo anzitutto la disposizione sperimentale, e quello che si vede. Se il filo, disposto in direzione S–N, è percorso da corrente che va da S a N, e se l'ago sta *sopra* al filo, il polo N dell'ago si sposta *a destra* (per chi guarda dall'alto). Se invece l'ago sta *sotto* al filo, il polo N si sposta *a sinistra*. In una situazione del genere ci sono due strade aperte: *a*) l'invarianza per inversioni spaziali (il "principio di Curie" di Mansani) non vale in quell'ambito di fenomeni; *b*) l'invarianza sussiste ancora, ma la stiamo applicando erroneamente.

Apro una breve parentesi per ricordare che in fondo non c'è niente di nuovo: quando scopriamo che in presenza di effetti dissipativi l'energia meccanica (cinetica + potenziale) non si conserva, abbiamo lo stesso dilemma: o buttar via una legge di conservazione, o cercare di salvarla facendo entrare in ballo altre forme di energia. Che non si tratti di un trucco, di un aggiustamento *ad hoc*, sarà dimostrato *a posteriori* dalla generalità e fecondità dei risultati che otterremo. Poiché è spiacevole rinunciare a qualche spiegazione semplice e generale, il fisico

prova di regola a seguire la seconda strada. Il tentativo non riesce sempre, ma molte volte sì.

Dunque anche per il caso dell'ago magnetico proviamo a mantenere l'invarianza, ossia il principio di Curie: allora se la situazione iniziale fosse simmetrica non potrebbe trasformarsi in una palesemente asimmetrica. Ne segue una sola conclusione possibile: la disposizione iniziale *non è simmetrica come sembra*. Questo può apparire insensato: dopo tutto la simmetria è evidente a vista! Ma proprio qui è l'errore: non è affatto detto che possa bastare quello che si vede per decidere se c'è o no simmetria. Una simmetria *geometrica*, che appare all'occhio, può nascondere un'asimmetria di qualcosa che non è visibile, e che solo un'indagine più approfondita, con altri strumenti che la sola vista, potrà rivelare.

Un indizio ci è fornito dal “principio di equivalenza” di Ampère: un ago magnetico è in tutto e per tutto equivalente a un solenoide percorso da corrente, con l'asse diretto come l'ago, e la corrente che gira nelle spire, *attorno* all'asse. In che verso? Ce lo dicono le famose “regole del cavatappi,” o simili: vista dal polo N dell'ago la corrente gira in senso *antiorario*. Sostituiamo allora il solenoide (opportunamente sospeso, in modo che sia libero di ruotare) all'ago, e l'esperimento ci darà lo stesso risultato; solo che questa volta non c'è da meravigliarsi, perché il solenoide *non è affatto simmetrico*. Se infatti pensiamo a una riflessione rispetto a un piano verticale passante per l'asse del solenoide, la corrente che gira in senso antiorario si trasformerà in una che gira in senso orario, e quindi *il polo N diventerà S*, e viceversa.

Siamo quindi costretti a supporre che lo stesso accada all'ago: una riflessione muta il polo N in polo S e viceversa. Dunque veramente la disposizione non è simmetrica, e non c'è niente di strano in una deviazione preferenziale a destra o a sinistra.

Ai tempi di Ampère si riteneva che in realtà il magnetismo dell'ago fosse prodotto da “correnti molecolari,” che quindi si comportavano come quella del solenoide. Oggi sappiamo che non è così: la magnetizzazione di una sostanza ferromagnetica nasce dall'allineamento degli spin degli elettroni e dal fatto che allo spin è associato un momento magnetico, senza che — per quanto ne sappiamo — questo momento magnetico si possa far derivare da una corrente interna alla struttura dell'elettrone. Ma qui non posso andare più a fondo.

Il punto cruciale è il seguente: la *legge di trasformazione* di poli e campi magnetici per riflessioni è *opposta* a quella che un “buon senso geometrico” suggerirebbe. Noi siamo soliti esprimere questo fatto con la frase “il campo magnetico è uno pseudovettore,” ma si tratta solo di gergo: il contenuto è quello che ho spiegato.

Questa piccola storia dell'ago di Mach ci ha insegnato una grande lezione: le simmetrie sono uno strumento prezioso, ma bisogna saperle usare. In particolare, non ha senso parlare di simmetria se non si sa quale sia la *legge di*

trasformazione delle grandezze in gioco. Non posso fare a meno di ricordare, anche se ci porta in tutt'altro territorio, che la relatività di Einstein parte dalla stessa idea: occorre sapere come si trasformano spazio e tempo quando si cambia sistema di riferimento. Per esempio, non è vero che il tempo sia invariante. . .

È giustissima l'osservazione di Mansani: la simmetria non può diminuire, ma può aumentare. Mi vengono in mente due esempi. Il primo è semplicissimo. Faccio partire un pendolo lasciandolo andare da una posizione scostata da quella di equilibrio, e ne seguo il moto. Alla fine il pendolo si ferma nella posizione di equilibrio: era dunque partito da una posizione non simmetrica, ed è arrivato a una simmetrica. Il secondo esempio è l'anello di Fourier: si tratta di un anello metallico che è stato inizialmente riscaldato in modo asimmetrico, per esempio esponendolo a una fiamma in un solo punto. Basta aspettare, e alla fine la temperatura sarà la stessa in tutto l'anello: di nuovo una situazione asimmetrica è divenuta simmetrica. Non vi sarà sfuggito che tutti e tre gli esempi (quello di Mansani del gas che diffonde, e i miei) hanno in comune una cosa: l'irreversibilità. Come mai?

Tralascio il paradosso delle entropie di formazione, anch'esso sollevato da Mansani, per ragioni di spazio; spero che mi capiti l'occasione di ritornarci. E vengo invece allo specchio.

La mia risposta — che, sono pronto a scommettere, non soddisferà tutti — parte da un'osservazione fatta anche da Mansani: occorre ragionare in tre dimensioni, e non in due. Si vede allora che l'immagine virtuale prodotta da uno specchio piano differisce dall'oggetto riflesso per un solo aspetto: è invertita la direzione normale allo specchio, come si vede molto bene pensando a un sistema di assi cartesiani (la matematica!). Di conseguenza se io mi guardo allo specchio non mi vedo di spalle, ma di faccia, e interpreto quello che vedo come una persona che sta al di là dello specchio. Poiché le persone che incontro stanno coi piedi per terra e la testa . . . nelle nuvole, direte voi . . . ma io volevo dire “in alto,” l'immagine è normale da questo punto di vista. Se però alzo il braccio destro, l'immagine che mi sta di fronte alza il braccio “immagine,” che io vedo ancora a destra, ma che riferito a una persona che mi fronteggia interpreto come braccio sinistro, perché così sono abituato.

Volete una controprova? Sappiamo tutti che i bambini fino a 5 o 6 anni hanno difficoltà con destra e sinistra: se a un bambino che mi sta di fronte io dico “alza questo braccio” e sollevo il destro, lui alza il braccio *dalla stessa parte*, cioè il suo sinistro. Solo quando è più grande si rende conto che la mia frase può voler dire due cose diverse.

Altra controprova: se mi guardo in uno specchio verticale stando sdraiato su di un fianco, non mi verrà più fatto di dire che lo specchio mantiene alto e basso ma scambia destra e sinistra: infatti l'alto e basso della stanza mi sembreranno conservati anche nell'immagine; solo che se io sto coricato sul fianco destro,

l'immagine mi apparirà coricata sul fianco sinistro. Mi fermo qui, e lascio a chi legge di divertirsi con le lenti di varia foggia proposte da Mansani.

Concludo l'argomento con un'altra domanda. Che ne pensate del seguente problema (l'avrete incontrato chissà quante volte!): come facciamo a vedere diritto, se le immagini sulla retina sono capovolte?

L'ultima puntata dedicata alla simmetria, ormai un anno fa, si chiudeva con un problema di ben altra dimensione: quello sull'assoluta dominanza, nella chimica dei viventi, di uno dei due enantiomeri delle molecole chirali (per es. gli aminoacidi), sebbene l'evoluzione abbia avuto inizio da un mondo che non doveva avere "preferenze" fra destra e sinistra.

Tanto per non smentire il mio gusto per la polemica, anticipo due possibili obiezioni. La prima è che se crediamo in un atto di creazione il problema non si pone: il Creatore può benissimo creare aminoacidi tutti L. La seconda è che la formulazione del problema è esplicitamente riduzionista: assume che l'evoluzione degli organismi viventi debba dedursi da leggi elementari a livello molecolare o addirittura atomico. Alla prima obiezione non ho risposta, se non che per quella strada sono molti i problemi scientifici che perdono significato. Alla seconda rispondo invece che la sola ipotesi veramente necessaria è che vi sia stata una transizione dal non vivente al vivente, e che questa non possa essere avvenuta *contro* le leggi fisiche fondamentali.

A quanto ne so, il problema non è risolto a tutt'oggi in modo definitivo, ma sono state avanzate alcune ipotesi. La prima è che forse l'asserita invarianza per inversioni non sia del tutto esatta; per ora la lascio da parte. La seconda è che l'invarianza esista, ma la prevalenza di un enantiomero sull'altro sia un fatto casuale. A prima vista sembra un'ipotesi insensata, dato che il grandissimo numero di molecole esistenti anche in una minima parte della biosfera dovrebbe rendere irrilevanti le fluttuazioni casuali. Però, dato il mio attaccamento ai numeri, vorrei quantificare un po' questa obiezione.

Supponiamo di avere in una provetta una popolazione di batteri, per un totale di due milioni d'individui. Se ciascun batterio avesse avuto origine non per riproduzione da un genitore, ma per evoluzione indipendente da forme più primitive, e al limite da materia inorganica (sì, lo so che che è un non senso, ma serve solo per fissare ipotesi precise e semplici) avremmo uguale probabilità per le due forme chirali. Ciò non significa che dobbiamo aspettarci esattamente un milione di batteri L e un milione di D, ma solo numeri vicini a un milione: quanto vicini? La teoria della probabilità (problema delle prove ripetute) ci dà la risposta, che ora non mi serve di enunciare esattamente, e tanto meno di giustificare. La regola all'ingrosso è $n \pm \sqrt{n}$, ossia nel nostro caso $1.000.000 \pm 1.000$: dobbiamo dunque aspettarci fluttuazioni dell'ordine dell'uno per mille.

E trattandosi di batteri un milione è un numero piccolo! Se ne avessimo presi $2 \cdot 10^{12}$, che è ancora un numero possibile, avremmo avuto una fluttuazione

di uno per milione. È chiaro che la presenza esclusiva di un solo enantiomero deve avere un'altra spiegazione.

Potevo anche scendere di livello, e pensare a una reazione chimica qualsiasi, che partendo da reagenti non chirali S e T dia luogo a un prodotto chirale, in una delle due forme L e D: $S + T \rightarrow L$ oppure $S + T \rightarrow D$. Non cambia niente nel discorso precedente, salvo per il numero, che trattandosi di molecole sarà enormemente più grande: in una provetta di 10 ml di soluzione 0.01 M avremo $6 \cdot 10^{19}$ molecole S e altrettante T.

Dunque non ci sono speranze? Non è detta l'ultima parola: basta supporre la possibilità di un'*autocatalisi*, ossia pensare che la concentrazione di L influenzi positivamente il tasso della reazione, e lo stesso per D. Apparentemente la simmetria è conservata, e non si vede come possa cambiare il risultato: ma il fatto è che ora le fluttuazioni casuali vengono esaltate, perché L e D competono per il comune nutrimento, costituito da S e T: se L aumenta per caso, un successivo aumento viene favorito, e deprime D. È vero anche il viceversa, ma solo in senso probabilistico: è ugualmente probabile che il processo termini con la sopravvivenza del solo L o del solo D, ma in ogni singola provetta solo una delle due cose può accadere.

Se dunque noi avessimo in laboratorio un grandissimo numero di provette, troveremmo che in circa metà è sopravvissuto L e nelle altre D, per cui la simmetria sarebbe rispettata nell'insieme. Ma in natura le provette non sono isolate: a tempi lunghi non esistono nicchie completamente protette, il che è quanto dire che la biosfera è un'unica gigantesca provetta, e l'esito finale sarà quindi quello che vediamo nella realtà.

A dire il vero, le cose sono un po' più complicate. Facendo un modello matematico del processo si trova che se l'autocatalisi non è sufficientemente forte la composizione di equilibrio stabile è ancora racemica; invece al disopra di una certa soglia il racemico diventa instabile e l'equilibrio finale si ha, in modo casuale, con prevalenza di uno dei due enantiomeri. Si ha cioè una *biforcazione*. Basta un piccolo programma per PC, di poche righe, per studiare il fenomeno; ma qui non posso entrare in dettagli. Se qualche lettore/rice è interessato/a me lo faccia sapere. C'è bisogno che dica che abbiamo qui un tipico comportamento "non lineare"? Ho sempre in agenda di parlare di linearità e non, ma continuo a rimandare...

Per oggi non ho altro da dire. L'argomento simmetria è ben lontano dall'essere concluso, ma per la prossima volta ho in mente qualcosa di diverso. S'intende che commenti e critiche sono sempre graditi.