

## Pagine di scienza | I motori dell'astronave Terra



Il Primo e il Secondo Principio della termodinamica dovrebbero essere una parte basilare della preparazione culturale di ciascuno di noi, come l'alfabeto, le tabelline, la Costituzione e la *Divina Commedia*.

(Nicola Armaroli, Vincenzo Balzani, *Energia per l'astronave Terra*, Zanichelli, 2011)

Nicola Armaroli è un ricercatore del CNR di Bologna e i suoi studi riguardano l'energia luminosa e i nanomateriali luminescenti. Vincenzo Balzani è professore di chimica all'Università di Bologna e si occupa di ricerca avanzata: fotochimica supramolecolare e fotosintesi artificiale. Ha dato un apporto fondamentale nel campo delle nano-tecnologie e della messa a punto di macchine molecolari.

Proprio questo settore avanzato della ricerca è stato premiato nel 2016 con il massimo riconoscimento mondiale, il premio Nobel. Inoltre il professor Balzani è molto impegnato anche sui temi della pace e della solidarietà.

Riportiamo di seguito un brano tratto da *Energia per l'astronave Terra*.

### I pilastri dell'universo

«I primi studi ed esperimenti scientifici sulle trasformazioni di energia risalgono a più di due secoli fa: si basavano su macchine che trasformavano calore in movimento e viceversa, e questa branca della fisica prese storicamente (e logicamente) il nome di *termodinamica*.

Gli uomini che nel XIX secolo gettarono le basi della termodinamica erano soprattutto inglesi, francesi e tedeschi che, in quegli anni di grande progresso tecnologico, erano spesso animati dal desiderio di contribuire allo sviluppo e alla supremazia tecnologica della loro nazione.

Gli studi termodinamici condotti nella seconda metà dell'Ottocento permisero di individuare alcune leggi fondamentali, o principi, la cui validità è estendibile a tutte le forme di energia. In altre parole gli scienziati e gli ingegneri termodinamici di quell'epoca superarono largamente, senza rendersene conto, il confine della loro ambizione. Volevano capire il funzionamento di semplici macchine e arrivarono a svelare alcuni pilastri fondamentali che reggono l'universo.

Quei principi della termodinamica sono così basilari che spesso si indicano semplicemente come Primo e Secondo Principio. E le maiuscole non sono errori di stampa.

Prima di illustrare brevemente i Principi, è però utile cercare di chiarire i concetti alla base delle grandezze chiamate temperatura e calore.

### Particelle in movimento

L'*energia termica* o *calore* è una manifestazione del movimento incessante con cui si agitano gli atomi, ossia le particelle submicroscopiche che costituiscono la materia.

Quanto alla *temperatura*, tutti siamo convinti di sapere che cos'è: chi non ha mai usato un termometro? Tuttavia il concetto di temperatura è assai meno banale di quel che sembra e viene rigorosamente descritto in base all'energia cinetica media del moto degli atomi.

Qui ci limitiamo a dire che la temperatura è la proprietà che definisce la direzione del trasferimento di energia termica da un sistema a un altro. L'energia termica tende a trasferirsi dal sistema che definiamo "a temperatura più alta" verso il sistema che definiamo "a temperatura più bassa". Il processo si ferma al raggiungimento del cosiddetto "equilibrio termico": quando due corpi sono alla stessa temperatura, tra loro non avviene alcun trasferimento di energia termica.

La *scala* che impieghiamo per misurare la temperatura è una semplice convenzione e ognuno può usare quella che più gli piace (Celsius, Fahrenheit, Kelvin). Non sorprendetevi allora se vi capita di essere negli Stati Uniti durante una tempesta di neve e sentire dire alla radio che fuori ci sono 32 gradi (Fahrenheit).

**Calore: energia che si scambia**

Il calore è energia termica che viene scambiata tra due corpi a temperatura differente. Per millenni si è creduto che il calore fosse un fluido immateriale (forse qualcuno lo crede ancora...) ma questo non è affatto vero. Quando scaldiamo acqua in una pentola, la fiamma non scalda direttamente l'acqua: scalda il fondo della pentola, il quale a sua volta scalda l'acqua; si ha insomma uno scambio di calore fra tre corpi.

Gli atomi e le molecole che costituiscono la fiamma (che tecnicamente è un *plasma*, un gas molto caldo e perciò ionizzato) hanno una temperatura altissima e si spostano, ruotano e vibrano vorticosamente. Queste particelle vanno a sbattere sul fondo della pentola e stimolano la vibrazione degli atomi del metallo (non il loro spostamento, almeno fintantoché la pentola non fonde...). Questo processo di trasferimento a catena procede velocemente fino a coinvolgere le molecole d'acqua all'interno del recipiente, partendo dal loro primo strato che è a diretto contatto con il metallo.

Se teniamo la fiamma accesa, l'acqua bollirà in fretta e dopo un po' potremo buttare la pasta. Se il fondo della pentola fosse perfettamente isolante, dovremmo rassegnarci a mangiare la pasta cruda o a morire di fame: l'acqua rimarrebbe desolatamente fredda.

**Da qui non si scappa: i Principi**

Il *Primo Principio* afferma che l'energia di un sistema isolato, che cioè non scambia materia né energia con ciò che lo circonda, è sempre la stessa; può passare da una forma a un'altra, ma la sua quantità totale non cambia. Dunque l'energia del sistema isolato per eccellenza, l'universo, è costante.

Il Primo Principio è oggettivamente una buona notizia, anche se un po' angosciante per chi cerca di stare a dieta: l'energia del cibo o la si spende con l'esercizio fisico e mentale, oppure si accumula sotto forma di grasso.

L'energia accumulata nel serbatoio dell'auto che ci porta in vacanza serve per compiere un lavoro, e quando "siamo in riserva" crediamo inconsciamente che il motore si sia mangiato tutta l'energia che era nel serbatoio della macchina. Non è proprio così.

Se siamo saliti allo Stelvio, per esempio, l'energia che avevamo acquistato dal benzinaio è stata convertita in parte in energia potenziale gravitazionale (noi e l'auto ora siamo a una quota maggiore di prima), in parte in calore emesso tramite lo scarico della marmitta, in parte in calore sotto forma di attrito con l'asfalto, con l'aria e all'interno del motore.

La massa del combustibile liquido è stata convertita in gas, soprattutto vapore acqueo e diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>, comunemente chiamato anidride carbonica), ed è finita nell'atmosfera. In questa trasformazione il volume iniziale del combustibile è aumentato 2000 volte, perché il gas prodotto è molto meno denso della benzina iniziale. Ma poiché il gas è invisibile, non ci facciamo troppi sensi di colpa.

Noi insomma non vediamo più nulla, ma l'energia non è andata perduta. È davvero sorprendente la discrezione con cui la benzina riesce a dileguarsi.

Il *Secondo Principio* è una delle leggi della natura più affascinanti e le conseguenze che ne derivano sono vastissime. Lo si può formulare in vari modi, ma il più intuitivo è probabilmente il seguente: in un sistema isolato l'energia termica si trasferisce sempre da un corpo a temperatura più alta a uno a temperatura più bassa.

È importante notare che il Secondo Principio non dice che il calore non può passare da un corpo freddo a uno caldo: il frigorifero serve proprio per questo, e non c'è dubbio che funzioni; ma non è un sistema isolato. Il Secondo Principio stabilisce che, se vogliamo far fluire il calore in direzione contraria alla sua naturale tendenza, dobbiamo fornire energia al sistema: il frigo funziona soltanto se è collegato alla presa di corrente.

Il Secondo Principio conduce in maniera sottile alla nozione che esiste una *gerarchia* tra le varie forme di energia. Fateci caso: ogni volta che si produce una qualche forma di lavoro, consumando energia, si dissipa calore da qualche parte.

*L'energia termica fa capolino in qualsiasi processo di conversione energetica*: il motore dell'auto e quello del frigo scottano, il nostro corpo è caldo e, senza torri di raffreddamento, una centrale elettrica fonde. Tutte le energie possono trasformarsi completamente in calore, ossia in energia termica; il contrario invece non può accadere. Tutte le volte che convertiamo una forma "nobile" di energia in un'altra, per esempio in energia elettrica o meccanica, non tutta la quota iniziale disponibile può essere utilizzata per compiere lavoro utile. Inesorabilmente una parte sarà degradata per sempre a energia termica.

Nella maggior parte dei casi questa "tassa termica" è incassata dall'ambiente, principalmente l'atmosfera e le acque superficiali, e questo spiega perché le centrali elettriche vengono costruite in riva ai mari, ai laghi, ai fiumi. Per quanto una centrale elettrica possa essere ben costruita, essa non può convertire direttamente in elettricità nemmeno la metà dell'energia chimica del combustibile; la maggior parte di quell'energia si trasforma in calore ed è riversata come rifiuto nelle immediate vicinanze dell'impianto.

Anche le centrali nucleari hanno un rendimento che non supera il 30-35%: soltanto un terzo del calore generato nel reattore è convertito in energia elettrica, mentre i due terzi sono ceduti all'ambiente dagli impianti di raffreddamento, e vanno così perduti. Per confronto, una centrale termoelettrica a gas a ciclo combinato può invece raggiungere un rendimento vicino al 60%.

Sfortunatamente nessuna nave in transito sul Po può azionare i propri motori prelevando dal fiume il calore dissipato dalle numerose centrali elettriche che sorgono sulle sue sponde. La ragione è che l'energia termica che è stata dissipata dalle centrali ha un "valore" molto più basso dell'energia chimica del combustibile da cui deriva: il suo impiego per scopi utili è limitato.



Lo stesso vale per l'automobile: buona parte dell'energia compatta e preziosa inizialmente immagazzinata nel serbatoio sarà dispersa in una miriade di inutili rivoli di calore, per esempio tutti gli attriti che abbiamo già citato. In questi processi l'energia dell'universo si conserva, in obbedienza al Primo Principio, ma perde valore, per rispettare il Secondo. Chi è ancora convinto di poter costruire la macchina del moto perpetuo conosce forse il Primo, ma evidentemente ignora il Secondo Principio.

Il Secondo Principio ci svela, più in generale, una profonda asimmetria della natura: il disordine si ottiene in un attimo mentre l'ordine costa lavoro, tempo e fatica.

I sistemi naturali tendono inesorabilmente al disordine: l'universo è fatto così, e dobbiamo farcene una ragione. La tendenza spontanea e inesorabile dell'energia a trasformarsi nella sua forma più disordinata, il calore, è una delle tante espressioni della generale tendenza dell'universo al caos, che si esprime scientificamente mediante una funzione chiamata *entropia*. L'energia dell'universo è costante, ma l'entropia aumenta.

Per illustrare questo concetto possiamo immaginare di mettere in una scatola uno strato di cento biglie rosse, poi sovrapporvi cento biglie blu e poi ancora cento biglie verdi. Se ora agitiamo con forza la scatola, le biglie si mescoleranno. Quando abbiamo raggiunto questo stato, anche se continuiamo ad agitare la scatola per milioni di anni, è altamente improbabile (verrebbe da dire impossibile) riottenere la configurazione ordinata iniziale.

A ben pensarci, la nostra vita quotidiana è una dimostrazione continua della potenza implacabile del Secondo Principio: per mettere a soqquadro la nostra stanza basta un minuto e poca fatica, per rimetterla in ordine occorrono ore di duro lavoro.

Giunti a questo punto potreste essere tentati di pensare che gli esseri viventi non obbediscano al Secondo Principio. Purtroppo è un'illusione: la tendenza al disordine (l'entropia, appunto) va misurata in relazione a tutto l'ambiente che circonda un dato sistema.

L'ordine e la complessità straordinaria di tutte le forme di vita, anche le più semplici, è ampiamente bilanciata dal disordine che si genera dal progressivo consumarsi del Sole, dal quale non siamo isolati. Ma non è tutto. Gli esseri viventi, per sopravvivere, cioè per rimanere ordinati, producono continuamente rifiuti (una forma di disordine) che scaricano nell'ambiente, a cominciare da quelli... fisiologici.

Il Primo e il Secondo Principio dovrebbero essere una parte basilare della preparazione culturale di ciascuno di noi, come l'alfabeto, le tabelline, la Costituzione e la *Divina Commedia*. Purtroppo così non è, e ogni giorno ascoltiamo giornalisti convinti che un inceneritore distrugge i rifiuti e produce energia, economisti e sindacalisti fiduciosi che la crescita economica possa non avere mai fine, assessori all'ambiente che parlano di carbone pulito, scienziati che negano il surriscaldamento del pianeta.

Forse a casa loro il frigo funziona senza attaccare la spina.»