

## LA LEGGE DELL'ENTROPIA. QUALE TECNOLOGIA DOMANI ?

giannantonio farace

*In molti casi la scienza ci offre strumenti utili a conoscere e comprendere meglio la realtà che viviamo, una realtà complessa che finalmente i mezzi di trasporto e di comunicazione ci mostrano nella sua dimensione planetaria. Alcune questioni, come quelle riguardanti la pace e l'energia, non possono essere affrontate in altra scala. L'articolo che presentiamo osserva la situazione alla luce potente e particolare della legge di crescita dell'entropia. Commenta opinioni diffuse, non sempre espresse correttamente, ed introduce chiaramente il problema del fabbisogno energetico formulando ipotesi con la dovuta cautela e con proprietà di linguaggio, in modo che la divulgazione dei concetti scientifici avvenga senza mistificazioni o drastiche riduzioni.* (f. s.)

Uno dei principi fondamentali della fisica si enuncia con queste parole: « un sistema isolato si evolve verso lo stato di massima entropia ». Prima di vedere cosa significhi è bene puntualizzare che un principio, nelle teorie fisiche, è una « verità » non deducibile da altre, ossia la sua dimostrazione sta nel fatto che nessuna esperienza ne viola la validità.

Pensiamo a cosa succede quando in un recipiente contenente acqua calda versiamo dell'acqua fredda: in breve tempo avremo dell'acqua tiepida. Abbiamo avuto un passaggio di energia dalle molecole dell'acqua calda a quelle dell'acqua fredda, fino ad una situazione di equilibrio. Il sistema ha raggiunto lo stato di massima entropia. Cosa significa? Inizialmente avevamo un sistema composto di acqua calda e di acqua fredda separatamente; il sistema aveva una certa energia, quella da noi impiegata per riscaldare l'acqua. Alla fine il sistema è composto di acqua tiepida; la sua energia però è la stessa, solo ridistribuita in parti uguali tra tutte le molecole d'acqua. Il punto essenziale è che prima di mescolare l'acqua fredda a quella calda avremmo potuto ottenere del lavoro dall'acqua calda, ad esempio cuocere un uovo, mentre ora probabilmente non ne saremmo capaci. Dire che il sistema ha la massima entropia è equivalente a dire che ha la minima quantità di energia « disponibile ». Si noti ancora che la variazione di entropia non implica assolutamente una

variazione nella quantità « totale » di energia. In modo del tutto equivalente si dice che l'entropia è la misura dello stato di « disordine » di un sistema; anche se nell'esempio proposto non è del tutto intuitivo associare il concetto usuale del disordine all'acqua tiepida e per contro il concetto di ordine ai due recipienti contenenti separatamente acqua calda e acqua fredda.

### Dal torrente all'universo

Ognuno di noi può pensare a situazioni quotidiane in cui un sistema contenente energia « disponibile », se lasciato libero di evolversi, tende in breve tempo a trasformarsi in modo che la sua energia non sia più disponibile. Nel seguito parleremo di fonti di energie rinnovabili. Per capire di cosa si tratta pensiamo a cosa succede all'acqua contenuta in un lago di montagna con un torrente che gli fa da emissario. In breve tempo l'acqua defluisce dal lago ed il lago resta asciutto, a meno che non possieda anche un immissario che continui a rifornirlo. Dall'acqua contenuta nel lago avremmo potuto ricavare molta elettricità tramite una condotta e una turbina. Dall'acqua del torrente siamo ancora in grado di ricavare un po' di energia con un mulino. Quando l'acqua arriverà al mare sarà molto difficile estrarre energia.

Ovviamente nessuno si sognerebbe di costruire una diga se non ci fosse un affluente che mantenga costante il livello dell'acqua. Un gruppo di tecnici con l'incarico di studiare la fattibilità di una diga analizzerà le condizioni del bacino idrico della zona e, constatata la presenza di un ghiacciaio, avrà la certezza di un costante rifornimento d'acqua. Nessuno di loro esporrà nella sua relazione l'eventualità che l'acqua venga a mancare perché il sole d'un tratto smette di far evaporare l'acqua del mare e che allora non possa più nevicare sulla cima delle montagne. Quando anche lo facesse nessuno gli darebbe peso, giustamente. Resta comunque il fatto che l'energia rinnovabile ottenuta da una centrale idroelettrica è tale per il solo fatto che esiste il sole.

Cerchiamo di allargare il nostro orizzonte e di guardare l'intero pianeta terra dall'esterno, come se fosse un sistema isolato di cui vogliamo analizzare il comportamento. Tolto il sole, la temperatura del pianeta diventerà costante su tutta la sua superficie, i mari ghiacceranno e dei cicli biologici non resterà nulla in breve tempo. Questa sarebbe la terra nel suo stato di massima entropia. Ma il nostro pianeta non è un sistema isolato, perché interagisce costantemente col sole ricevendone energia. Il sole stesso, del resto, non

produrrà energia all'infinito. Esso è una grande centrale nucleare a fusione, in cui data l'enorme temperatura gli atomi di idrogeno che la compongono si « fondono » in atomi di elio, liberando nel processo l'energia che noi riceviamo. Tra qualche miliardo di anni il sole esaurirà il suo combustibile e sarà la fine del sistema solare. Anche il sistema solare non sfuggirà quindi al principio di crescita dell'entropia.

E il nostro vasto universo? Esso è veramente un sistema isolato. Se le leggi valide alla nostra osservazione hanno validità infinita nel tempo e nello spazio, esso evolverà verso lo stato di maggior entropia. Tuttavia, mentre è certo che ad un certo punto il sole avrà liberato nello spazio tutta l'energia in esso concentrata, in accordo col principio dell'entropia, il discorso al riguardo dell'universo intero solleva alcune perplessità, prima fra tutte la domanda: « come » si è costituito un universo in uno stato di bassa entropia? La fisica cede facilmente il campo all'immaginazione e alla metafisica e noi fermiamo l'indagine in questa direzione. Quello che resta certo è che nel « nostro » spazio e nel « nostro » tempo l'entropia cresce e l'energia disponibile diminuisce.

Abbiamo già osservato che il pianeta terra riceve un costante rifornimento di energia disponibile dal sole. Fino a che il sole non si spegnerà la nostra posizione può ritenersi di tutto privilegio: se consumiamo una quantità di energia tale da compensare quella resa disponibile giorno per giorno dal sole, allora sulla terra, che non è un sistema isolato, l'entropia potrebbe crescere ad un ritmo talmente basso da non essere percettibile. E infatti, a dispetto delle catastrofiche previsioni del principio di crescita dell'entropia, è ormai riconosciuto che la terra e i suoi abitanti sono il risultato di una continua lenta evoluzione in cui la materia si è via via organizzata in stati di sempre maggior ordine.

### **L'energia non è illimitata**

E' una strana legge quella della crescita dell'entropia. Fino ad ora abbiamo agito sfruttando per nostra convenienza la potenza illimitata delle leggi della meccanica. Data la causa avremo di sicuro l'effetto: d'ora in poi dovremo tenere ben presente una legge che pone dei limiti al nostro operare.

Oggi appaiono segni di un evidente degrado ambientale, il bisogno di sempre maggiore quantità di energia si fa assillante; assistiamo di riflesso a squilibri economici e sociali di interesse mondiale e

ad un quadro di relazioni internazionali via via più intricato. Molto sinteticamente potremmo individuare la causa di tutto ciò nel fatto che, dati gli attuali sistemi produttivi e l'attuale standard di vita, stiamo consumando l'energia disponibile in modo più rapido di quanto il sole non ne prepari di nuova. Basterà pensare a proposito che ricaviamo la maggior quantità di energia di cui abbiamo bisogno dal petrolio, che, ben si sa, è una fonte non rinnovabile in tempi ristretti per la nostra scala temporale.

Potremmo estendere l'orizzonte del nostro discorso toccando via via tutti i grandi problemi del nostro tempo, dalla crisi economica dei paesi industrializzati, agli squilibri tra questi e il terzo mondo, alla redistribuzione delle risorse, agli sprechi militari e non, alla tensione internazionale, a tutti i molteplici aspetti della stessa crisi, crisi di mancanza di energia. Ma per una volta conviene fermarsi su un aspetto fondamentale della questione, che interessa ciascuno di noi da vicino.

Fino ad alcuni secoli fa i sistemi produttivi si basavano prevalentemente sul lavoro umano o animale. L'energia che veniva impiegata era perciò energia rinnovabile e comunque integrata in un ciclo naturale. L'intervento della « tecnologia industriale » nei processi produttivi ha comportato la sostituzione del lavoro umano con il lavoro ricavato dalla combustione del carbone prima e del petrolio poi, fino ai nostri giorni. In meno di due secoli abbiamo dato fondo alle riserve energetiche del pianeta dovute a processi di sedimentazione durati milioni di anni.

Nella società preindustriale si produceva per ovvie ragioni di « economia » ciò che realmente serviva al sostentamento quotidiano. Nella nostra società industriale si produce invece una gran quantità di beni inutili o quasi al consumo definitivo degli abitanti. Ben si può immaginare ad esempio che dietro una fabbrica di vestiti ci sono fabbriche che producono i macchinari per la fabbrica di vestiti e dietro ancora ci sono le fabbriche che producono le lamiere e così via. Se, alla fine, la fabbrica di vestiti produce con dieci persone quello che verrebbe prodotto da cento o mille sarti, il fatto non deve trarci in inganno. L'energia impiegata nel ciclo produttivo è per lo meno la stessa nei due casi. C'è una differenza però: con la produzione tecnologica abbiamo consumato, oltre che energia, tante altre risorse « materiali » per le quali pure si porrà prima o poi il problema della non rinnovabilità. E la produzione tecnologica trascina con sé inevitabilmente la necessità di infrastrutture per il trasporto, il commercio e la vendita dei beni di consumo, con un ulteriore impiego di energia.

## Per una tecnologia che non violenti la natura

Il quadro della situazione e la sua realtà sono sotto i nostri occhi giorno per giorno, ma difficilmente li percepiamo, convinti ed abituati ormai al benessere come impagabile aspetto positivo del problema. Il benessere che noi godiamo è il frutto di una distorsione fondamentale nell'uso delle nostre risorse. In meno di duecento anni il binomio tecnologia-benessere ha cessato di essere credibile. Sta emergendo ora sempre più incalzante il rovescio della medaglia, che noi stiamo pagando in termini di crisi mondiale. Eppure sappiamo bene che l'energia a nostra disposizione è limitata!

E' ormai opinione diffusa e quasi un credo istintivo che la tecnologia che tanto bene possediamo ci possa dare la risposta ai problemi e sia in grado di farci uscire dalla crisi. E' stato individuato nelle sostanze fissili il combustibile del futuro prossimo; si sta lavorando anche per ricavare energia da fusione nucleare, costruendo dei piccoli « soli » nelle nostre città. C'è da scommettere che fra qualche decennio avremo ancora l'illusione di essere usciti vittoriosi, grazie alla tecnologia, da una crisi impietosa. Ma in ogni caso la vittoria avrà vita breve: al più durerà fino a che non si porrà il problema dell'esaurimento delle fonti di materiali fissili. Non mi sento di escludere che molto prima ci troveremo di fronte ad altri problemi di cui oggi non possiamo immaginare la natura. Con l'esperienza del fallimento tecnologico, dando il giusto peso alle leggi naturali che limitano l'energia a nostra disposizione e comportano per la diminuzione di energia disponibile la crescita del disordine, credo che se potessimo cancellare con un colpo di spugna il « progresso » degli ultimi decenni daremmo un corso diverso allo sviluppo del nostro pianeta e delle nostre società.

Ma è possibile oggi cambiare la rotta? Siamo in grado di vivere con l'energia fornitaci dal sole? E' credibile il discorso sulle energie alternative?

Io penso che il rinnovamento debba partire prima di tutto da una esatta comprensione del problema, in primo luogo dalla scissione del binomio tecnologia-benessere. Certo se ci sarà inversione di rotta questo significherà « regresso » nel nostro standard di vita, giacché quello attuale implica una richiesta di energia superiore a quella naturale. E se fossimo capaci di usufruire della tecnologia nel rispetto delle leggi naturali? ■