

ENERGIA E POTENZA

1. In fisica **per energia si intende la capacità di compiere lavoro** che un corpo, o un sistema (insieme di corpi in qualche modo collegati), possiede in relazione a certe sue caratteristiche e che cede o acquista al cambiare di queste
2. In meccanica, c'è l'energia potenziale (da temere!) legata alla posizione del corpo e l'energia cinetica (da scansare!) legata al suo movimento. In un mondo dove esiste la gravità, un corpo sospeso cade spontaneamente (per poter fare una cosa spontaneamente bisogna possedere una energia, chiamata, appunto, energia potenziale); via via che si avvicina a terra, la sua energia potenziale diminuisce e acquista sempre più velocità e con essa sempre più energia cinetica, che perde impattando la terra, con violenza tanto più grande, tanto maggiore è stata l'energia cinetica acquistata. Per riportare il corpo alla sua posizione iniziale, bisogna compiere un lavoro esattamente uguale all'energia potenziale che aveva inizialmente
3. Nel moto di un pendolo nel vuoto si avrebbe la continua trasformazione di energia potenziale in energia cinetica e viceversa, in modo tale che la somma delle due energie rimarrebbe in ogni punto la stessa. Osservazioni di questo tipo ci hanno permesso di postulare, cioè di assumere come vero fino a prova contraria, il **primo principio della termodinamica**¹, da cui immediatamente discende il teorema della **conservazione dell'energia**, che afferma che l'energia, pur conservandosi nella sua totalità, può passare da una forma all'altra. Nel moto del pendolo in aria, parte dell'energia viene trasferita a causa dell'attrito in energia termica del pendolo e dell'aria, anche se l'aumento di temperatura è così piccolo da non essere avvertito dai sensi dell'uomo: è per questo che via via il pendolo diminuisce sempre di più le sue oscillazioni, ma la diminuzione di energia meccanica (in questo caso somma dell'energia potenziale e dell'energia cinetica) è esattamente compensata dall'aumento dell'energia termica, per cui il principio della conservazione dell'energia è del tutto generale
4. Ci sono in natura varie forme di energia disponibili e quindi utilizzabili per essere trasformate in altro tipo di energia, per esempio in **energia elettrica**, a seconda delle esigenze dell'uomo: l'**energia chimica** immagazzinata nei combustibili e nei comburenti, che si può liberare cambiando la loro struttura molecolare; l'**energia nucleare** che si può sviluppare modificando la struttura del nucleo dell'atomo; l'**energia cinetica** del vento e delle onde; l'**energia potenziale** dei grandi serbatoi idrici creati con le dighe; l'**energia radiante** del sole; l'**energia termica** posseduta da un corpo che può essere trasferita come calore se quel corpo viene messo a contatto con un altro a temperatura più bassa
5. I principi di conservazione dell'energia e della massa sono i due postulati con cui nell'esperienza fisica comune si esprime l'affermazione ancor più generale che **“nulla si crea, nulla si distrugge”**, con cui si vuol rendere conto anche della possibilità che della materia si trasformi in energia, come appare nelle reazioni di fissione o fusione di nuclei atomici, o che l'energia abbia una massa, in accordo alla teoria della relatività ristretta di Einstein ($E = mc^2$)
6. Il primo principio della termodinamica non ipotizza la totale convertibilità di una qualsiasi forma di energia in un'altra, ma solo che quando la conversione avviene, avviene totalmente. **L'energia termica, infatti, non può essere completamente trasformata in altre forme di energia. Il secondo principio della termodinamica**

¹ Il **principio zero della termodinamica**, alla base della misurabilità della temperatura, recita: se due corpi messi in contatto con un altro (termometro) hanno la stessa temperatura di questo, allora anche le loro temperature sono uguali (proprietà transitiva dell'uguaglianza).

postula che la percentuale dell'energia termica convertibile in lavoro (*energia disponibile, availability*, in USA, mentre in Europa è più diffusa la parola *exergia*, formata su energia, con sostituzione del prefisso greco εξω, «fuori», a εν, «dentro») è tanto più alta quanto maggiore è la differenza di temperatura fra la sorgente di calore e il mezzo in cui si opera (il cosiddetto ambiente). Per questo motivo le macchine termiche, come le centrali termoelettriche o i motori di automobili, tendono ad operare alle temperature più alte compatibili con la resistenza dei materiali. La parte di energia non convertita in lavoro si ritrova come energia termica utilizzabile a temperature inferiori. Altre precedenti formulazioni dello stesso principio sono: “per produrre lavoro sono necessarie due sorgenti di calore, una calda ed una fredda” [Carnot], “il calore non può passare spontaneamente da un corpo freddo ad uno caldo” [Clausius]. “non si può produrre lavoro raffreddando l'ambiente” [Lord Kelvin], “in un sistema fisico esiste un solo stato di equilibrio stabile” [Keenan]

7. Sulla base del secondo principio della termodinamica si definisce l'**entropia**, che è la misura della non disponibilità di un sistema a compiere lavoro. Quanto maggiore è l'entropia di un sistema, tanto più grande è il suo disordine. Un'altra formulazione del secondo principio della termodinamica è: “l'entropia dell'universo non può che aumentare”. Il valore assoluto dell'entropia può essere calcolato utilizzando il **terzo principio della termodinamica**, che introduce il valore assoluto della temperatura, postulando che al suo zero il valore dell'entropia di un corpo perfettamente cristallino (massimo ordine) sia zero. **Le misure di temperatura «assoluta» sono espresse in gradi kelvin (K)**, in onore del fisico scozzese W. Thomson (Lord Kelvin) che introdusse nel 1847 questa scala centigrada (per cui le differenze di temperatura espresse in gradi assoluti sono eguali alle differenze espresse in gradi celsius, °C) il cui zero è la temperatura più bassa fisicamente raggiungibile: 273.15 gradi al di sotto dello zero Celsius ($- 273.15 \text{ °C} = 0 \text{ K}$). Ogni corpo, anche se fermo e non sottoposto ad alcuna azione esterna, possiede una propria energia, *l'energia interna*, consistente nel fremito delle molecole che lo compongono. Ogni molecola oscilla come un pendolo, azionato da un richiamo elastico anziché dalla gravità, intorno a un punto di equilibrio. Tale fremito si riduce al minimo, quando la temperatura sprofonda allo zero assoluto. A tale temperatura ogni cosa è morta, mentre al di sopra vi è dell'agitazione, che si accresce con il salire della temperatura, fino a scardinare legami molecolari e atomici e far giungere la materia allo stato di plasma, come avviene nell'interno delle stelle
8. **Visione dinamica dell'energia:** l'energia risulta (1) dalla velocità con cui la si genera o la si consuma, ovvero dalla **POTENZA**, e (2) dalla durata del tempo durante il quale la si genera o la si consuma. Ciò che caratterizza una macchina, un impianto, un dispositivo è la sua potenza (si pensi alle lampadine, al motore dello scooter, al contratto domestico con l'ente elettrico, all'asciugacapelli, al fornello a gas, ad un pannello fotovoltaico); poi, funzionando nel tempo, essi generano e/o consumano energia. In altri termini, nella realtà è l'energia ad essere l'integrale temporale della potenza, piuttosto che la potenza la derivata temporale dell'energia! Prima viene la potenza, poi dopo, nel tempo, l'energia! Ciò di cui ha necessità l'umanità è sia la potenza sia l'energia, ovvero la possibilità di usufruire della potenza per un certo tempo

ENERGIA, CRESCITA, SVILUPPO²

Il secondo principio della termodinamica indica le strade da evitare perché la vita sulla terra possa continuare ad esistere. In particolare, evidenzia la tendenza universale ineluttabile verso il disordine, cioè verso la massima entropia, che è anche perdita della disponibilità di energia utile. Questa tendenza, chiamata da Clausius “morte termica”, porta al cosiddetto “equilibrio termodinamico”, che è appunto la morte dei sistemi biologici e degli ecosistemi (dal greco *ôikos* = casa), attraverso la distruzione delle diversità.

Due sono le strade che possono portare a questa situazione:

- a) quando, scambiando energia sotto forma di calore, le differenze di temperatura vengono meno, portando al livellamento delle energie e all'impossibilità pratica di fare qualsiasi cosa, perché lo scambio di energia utile è impedito
- b) quando un sistema risulta isolato e, consumando le proprie risorse, porta a un grande aumento di entropia interna e, in ultima analisi, alla propria autodistruzione

Per questa ragione i sistemi viventi cercano di evitare la situazione di equilibrio termodinamico, mantenendosi il più lontano possibile da esso, auto-organizzandosi grazie ai flussi di materia e di energia che ricevono dall'esterno e da sistemi in condizioni di temperatura e di energia diverse dalle loro.

L'economia e la società non possono ignorare il secondo principio della termodinamica. Ne consegue che la globalizzazione, la distruzione delle diversità (sia biologiche che culturali), l'omogeneizzazione, il disordine, il pensiero unico portano ineluttabilmente alla morte terrena, alla distruzione finale; nello stesso modo, un paese, una nazione, un sistema che fa del proprio isolamento, del rifiuto della contaminazione culturale, dell'arroccamento su posizioni fondamentaliste di conservazione, un dogma politico, farà la stessa fine. La difesa eccessiva della propria diversità o la perdita delle diversità sono due aspetti della stessa stupidaggine termodinamica...

Il pianeta Terra presenta oggi gravi problemi ambientali, problemi globali dato che la Terra è un sistema unico e complesso, composto da varie parti fra loro interdipendenti. I problemi ambientali che interessano apparentemente una singola nazione, e più spesso una parte del territorio della nazione, in realtà fanno parte di un problema globale che riguarda l'intero pianeta. Ormai l'uomo, con il suo modo di vivere e produrre, sta intaccando i cicli bio-geochimici della biosfera e le catastrofi ambientali, piccole o grandi che siano, sono i segni di una malattia generale del pianeta.

Il vero problema mondiale è, oggi, un problema di interdipendenze, di relazioni fra paesi produttori e consumatori, tra detentori di materie prime e detentori di know how, tra paesi ricchi di patrimonio ambientale incontaminato e paesi inquinatori. È necessario quindi capire i complessi intrecci tra energia e risorse, tra capitale naturale e capitale prodotto dall'uomo, tra locale e globale.

Grazie al flusso continuo di energia solare (entropia “negativa” corrispondente a una radiazione di $5.6 \cdot 10^{24}$ J/anno, 10 000 volte l'energia consumata dall'umanità) e alla fotosintesi, sulla superficie della Terra, la biosfera, sono nate e si sono moltiplicate numerose specie biologiche: questo è il *capitale naturale* che abbiamo avuto in prestito...

La fotosintesi contrasta, sulla superficie terrestre, il degrado entropico (per altro inevitabile nei tempi biologici e su scala universale) in quanto tende a mettere in ordine la materia disordinata...

Il pianeta Terra è un sistema finito e, in quanto tale, presenta vincoli termodinamici e biofisici, limiti di risorse naturali, limiti all'assorbimento dell'inquinamento, limiti demografici; in sintesi, una *carrying capacity* finita, che non può sostenere una “crescita” infinita.

Storicamente, la spinta alla crescita deriva dalla necessità di trovare una comune soluzione a tre problemi: la sovrappopolazione (Malthus), la povertà (Marx), la disoccupazione (Keynes). Ora c'è bisogno di soluzioni dirette e radicali: il controllo delle nascite per la sovrappopolazione, la

² Enzo Tiezzi, Nadia Marchettini, *Che cos'è lo sviluppo sostenibile?*, Donzelli (1999).

ridistribuzione della ricchezza per la povertà e, per la disoccupazione, impieghi nei settori culturali, sociali, ecologici, aumentando i prezzi delle risorse relativamente ai costi del lavoro. E questo a livello nazionale, attraverso accordi internazionali, senza aspettare utopistici interventi di una autorità mondiale (ma senza l'intervento di un'autorità mondiale tutto ciò si potrà davvero realizzare?).

La **globalizzazione** si presenta oggi come il colpo di coda della filosofia economica della crescita: sfruttare tutti i beni globali rimasti attraverso il potenziamento dell'export, che comporta la riduzione dei salari, l'immigrazione e l'esternalizzazione dei costi sociali ed ambientali, per mantenere i costi delle esportazioni competitivi. La globalizzazione, così intesa, dà a breve i suoi frutti economici, ma accelera l'avvicinamento ai limiti, sottrae tempo, risorse ed energie alla messa a punto di una strategia utile al raggiungimento di un armonico "stato stazionario economico" e rischia di far trovare improvvisamente l'umanità di fronte a tali problemi di sussistenza da pretendere l'uso drammatico e cruento della spada per sciogliere tutti i nodi, rischiando così di perseguire come soluzione il paradosso dell'estinzione della civiltà umana.

In attesa di popolare altri pianeti, alla specie umana non resta altro, per continuare a vivere, che utilizzare i capitali ancora a nostra disposizione per sviluppare gli strumenti scientifici, economici, tecnologici, sociali, culturali ed etici adeguati a commisurare i tempi e la qualità dell'evoluzione ad uno *sviluppo sostenibile*, rispettoso di tutti i vincoli e di tutti i limiti, nella «giustizia planetaria per un uomo planetario» (come amava dire padre Ernesto Balducci), nella Pace.