

1.8 Che cosa significa 'energia' (pubblicato su *La fisica nella scuola*, n.3 del 2015)

L'idea che l'energia possa definirsi, in fisica, come capacità di lavoro, è facilmente contestabile, ma nella maggior parte dei libri di testo viene sistematicamente riproposta.

Caro direttore, finalmente! Finalmente, nella mia più che ventennale battaglia contro l'idea che l'energia di un corpo rappresenti in fisica (e sottolineo *in fisica*) la sua capacità di lavoro (come si legge in tutte le enciclopedie e praticamente in tutti gli attuali libri di testo) non mi sento più solo. Fino a ieri non ero in grado di citare un solo autore che esprimesse chiaramente la mia stessa critica: tutto quello che potevo fare era di avvertire che nei testi 'autorevoli' di trent'anni fa tale idea non esisteva (è stata purtroppo introdotta nelle versioni recenti); e che *nessuno* dei tanti docenti che, negli anni, hanno commentato i miei svariati scritti (ne cito uno, Friedrich Herrmann) ha trovato da ridire sulle argomentazioni con cui quell'idea veniva da me contestata.

Ma non poteva bastare: dovevo poter citare, a sostegno della mia tesi, parole più dirette ed esplicite. Quando, in epoca recente, ho provato a dire la mia sulla questione in ambito Wikipedia, mi è stato subito rinfacciato che anche la Treccani («che sarebbe difficile liquidare come poco autorevole») e l'Enciclopedia Britannica (che «non lascia molti dubbi») danno all'energia il significato che io contesto. Sono stati chiamati in causa addirittura Maxwell e Planck! Solo in extremis, quando stavo ormai rinunciando all'inutile disputa, ho avuto anch'io la possibilità di appellarmi a qualche parere importante grazie agli articoli che tu, caro direttore, mi hai cortesemente segnalato: articoli che non conoscevo, apparsi su *Physics Teacher* in epoca ormai remota (io ero ai primi anni di insegnamento).

Il primo articolo, firmato da Robert L. Lehrman, risale al gennaio 1973: si intitola *Energy is not the ability to do work* [1]. Del successivo maggio è una replica, a mio parere assai debole, di M. Iona, titolo *Energy is the ability to do work* [2], immediatamente seguita da una breve, secca risposta con cui Lehrman chiude la discussione. Sulle stesse pagine, dieci anni più tardi Nancy Hicks sferra, all'idea di energia come capacità di lavoro, un secondo attacco [3]: evidentemente, dieci anni erano passati invano, la critica di Lehrman non aveva sortito alcun effetto. Ma oggi, a oltre trent'anni di distanza dallo scritto della Hicks, possiamo ben dire che neanche il suo intervento è servito a qualcosa: e io prendo atto, senza trarne il minimo conforto, che la mia sconfitta ha precedenti illustri.

E tuttavia io ho qualcosa da contestare anche a Lehrman e alla Hicks. Prima di tutto, a mio parere finisce per essere fuorviante ricorrere, come loro fanno, ad argomentazioni avanzate e al tempo stesso restrittive, tipo principi della termodinamica. Io sono convinto che basti molto meno, credo che basti questo semplice ragionamento di carattere generale. Se veramente l'energia di un corpo K rappresentasse la sua capacità di lavoro, all'esecuzione di un lavoro L da parte di K dovrebbe puntualmente corrispondere una diminuzione L della sua energia. Ma le cose non stanno affatto così, le variazioni dell'energia cinetica di un corpo K dipendono non dal lavoro compiuto da K , ma da quello compiuto da tutte le forze (conservative e non) che a K sono applicate (teorema dell'energia cinetica); e le variazioni dell'energia potenziale di K dipendono a loro volta non dal lavoro compiuto da K , ma da quello delle forze conservative applicate a K (definizione di energia potenziale). Dunque, le eventuali variazioni dell'energia complessiva di K dipendono solo dal lavoro delle forze non conservative applicate a K : *il fatto che l'energia di K abbia subito una certa variazione non ci dice niente sul lavoro che K ha nel frattempo compiuto su altri corpi.*[4]

Ma io opporrei anche, alle argomentazioni di Lehrmann e della Hicks, un'obiezione più fondamentale. Il secondo principio della termodinamica, da entrambi invocato a riprova del fatto che l'energia si conserva ma la possibilità di trarne lavoro no (degradazione dell'energia), si riferisce in realtà non, genericamente, alla possibilità di ottenere lavoro, ma di ottenere lavoro 'utile' (utile ai fini delle applicazioni tecniche: il lavoro che, nelle macchine termiche, trova riscontro nella produzione di energia cinetica macroscopica). Il calore che, in un ciclo termico, viene trasferito da alta a bassa temperatura ed è quindi 'perduto' ai fini dell'esecuzione di lavoro utile, è una conseguenza della limitazione tecnologica imposta dal fatto che le macchine non possono che funzionare per cicli: in una semplice espansione isoterma, *tutta* l'energia fornita a un gas perfetto come calore si traduce in lavoro compiuto dal gas (chiaramente, questa trasformazione non è l'unico risultato del processo, perché alla fine il gas si trova in un differente stato termodinamico). Per di più, il calore non convertito in lavoro utile è spostato a bassa

temperatura corrisponde a energia cinetica prodotta a livello del moto di agitazione termica. Il calore fornito dalla sorgente calda è stato dunque *tutto* utilizzato nell'esecuzione di lavoro: parte a livello macroscopico, collettivo, 'utile'; parte a livello microscopico, disordinato, individuale.

Contesto da ultimo che una semplice e rigorosa definizione di energia non sia possibile: la Hicks lo dice chiaramente, Lehrman lo fa capire. Non sono d'accordo. Finiamola, in particolare, con le "tante forme di energia", discorso che serve solo a confondere le idee [5]. In ambito fisica classica, il discorso sull'energia può essere (*deve* essere) di una semplicità meravigliosa. Lo schema potrebbe essere questo.

1. Ci sono due forme di energia: l'energia cinetica e l'energia potenziale.
2. L'energia cinetica è, per un punto materiale, la metà del prodotto massa per velocità al quadrato; per un sistema di punti è la somma delle rispettive energie cinetiche.
3. Il lavoro di una forza è ciò che produce variazioni nell'energia cinetica del corpo su cui la forza agisce.
4. L'energia potenziale di un corpo è il lavoro eventuale delle forze conservative ad esso applicate.
5. Quando tali forze lavorano, di tanto diminuisce (o aumenta, se il lavoro è negativo) l'energia potenziale, di altrettanto aumenta (o diminuisce) l'energia cinetica.
6. La conservazione dell'energia complessiva di un sistema isolato consegue dal fatto che, a livello di singole particelle, *tutte* le forze sono conservative.
7. La degradazione dell'energia (la diminuzione della possibilità di ottenere, nelle applicazioni tecniche, lavoro utile) consegue dal fatto che i processi termodinamici sono governati da una legge di probabilità che li rende di fatto irreversibili (spostamento di calore da alta a bassa temperatura, conversione di energia cinetica macroscopica in energia cinetica del moto di agitazione termica).

Domanda finale: come mai questa discutibilissima definizione di energia come capacità di lavoro continua ad avere tanta fortuna? Mi sembra chiaro: perché corrisponde bene al senso che alle parole si dà nel linguaggio corrente. In una vecchia edizione (1969) del testo di fisica generale di Alonso-Finn leggo: *let us remind the student that these concepts of work and energy, as used in physics, have very precise meanings that must be understood thoroughly, and must not be confused with the same terms as they are loosely used in daily life.* Parole sante! Ma al tempo stesso, oggi possiamo dirlo, perfettamente inutili.

[1] Robert L. Lehrman, "Energy Is Not The Ability To Do Work", *The Physics Teacher*, **11**, 15 (1973).

[2] M. Iona, *The Physics Teacher*, **11**, 259-313 (1973).

[3] N. Hicks, "Energy is the capacity to do work-or is it?", *The Physics Teacher*, **21**, 529 (1983).

[4] In molte applicazioni pratiche una relazione più o meno grossolana tra l'energia cinetica di un oggetto macroscopico A e la sua capacità di lavoro su un oggetto B si può in effetti riconoscere, perché si tratta di interazioni *a contatto* in cui il lavoro motore compiuto da A su B corrisponde al lavoro resistente compiuto da B su A. L'esempio qui più pertinente è quello di una macchina termica, dove il lavoro compiuto dal sistema evolvente sul pistone mobile corrisponde esattamente, a parte il segno, al lavoro compiuto dal pistone sul sistema. Un altro esempio importante è quello del lavoro, sempre complessivamente nullo, delle forze di attrito fra due superfici a contatto. Chiaramente, il concetto di 'contatto' ha senso solo nell'ambito macroscopico: e per l'idea di energia come capacità di lavoro questa è un'ulteriore restrizione.

[5] Da una lettera di Friedrich Herrmann (novembre 2001): *Another one which both of us have brought up is the concept of "energy form" and the horrible proliferation of these forms.*

Giovanni Tonzig

www.giovanntonzig.it