

PAROLE E SCIENZA: L'ENERGIA

SIGNIFICATO E SENSO NEL LESSICO SCIENTIFICO

di Giuseppe Del Re*

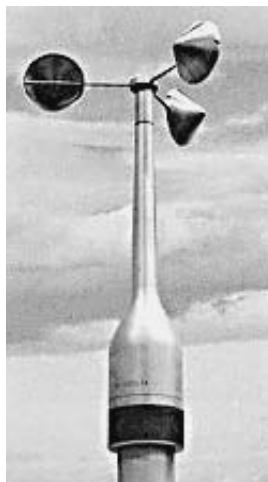
Prosegue la riflessione, iniziata nel numero di dicembre 2002, sulla correttezza nell'uso del linguaggio scientifico, condizione necessaria per fare scienza, comunicarne i risultati e, ancora di più, insegnarla. Il termine «energia», messo a tema, si presenta veramente problematico per la contaminazione dovuta al disinvolto uso che se ne fa nel linguaggio comune; ma la difficoltà permane anche in campo strettamente scientifico. L'autore esamina il complesso percorso storico e concettuale con cui, a partire dalla definizione di lavoro si è arrivati al concetto moderno di energia e al principio di conservazione.

La parola energia è ormai di casa nei cartoni animati e in varie campagne televisive, cosicché la usano con disinvoltura anche i bambini dell'asilo. È stata perciò oggetto di quel fenomeno pernicioso per cui si crede di sapere cosa vuol dire una certa parola solo perché si è imparato a usarla in determinati contesti. Si va dai *Pokémon* che si riforniscono «di energia» alle persone che affrontano una situazione «con energia»; si intuisce cosa vogliono dire queste espressioni, ma se si chiede che cos'è di preciso l'energia si ottiene in generale una risposta vaga («è quella che fa diventare forti»), arricchita magari di esempi che in ultima analisi non dicono nulla. Quando si passa al campo scientifico, si trova quasi sempre la definizione classica: energia è «capacità di compiere lavoro»; definizione corretta per quel che vale, ma non molto informativa, se non altro perché rinvia al concetto di lavoro, che è tutt'altro che immediato e rinvia a sua volta al concetto di forza.

Vi è chi dice: «perché preoccuparsi, in fondo l'essenziale è chiaro»; vi è anche chi sostiene che a voler precisare il significato di una parola si ostacola la libertà del pensiero (*sic!*); ma l'uso che si fa proprio della parola «energia» nella pubblicità e nella manipolazione dell'opinione pubblica dimostra ampiamente il contrario.

Vi sono dunque buone ragioni per riflettere su che cos'è l'energia e sulla sua funzione come concetto fondamentale della scienza. Abbiamo detto che la definizione tradizionale, data fra l'altro in grandi enciclopedie come la *Treccani* e la *Britannica*, è «capacità di compiere lavoro», ma essa non chiarisce molto. Se il lavoro è quello di

*Ordinario di Chimica Teorica presso l'Università di Napoli "Federico II".



un collaboratore retribuito, allora qualcosa non quadra, perché si paga tanto un guardiano che sta sempre fermo a sorvegliare quanto uno scaricatore di porto. Si deve allora precisare che la definizione si riferisce a ciò che si chiama lavoro in meccanica. Di quest'ultimo, l'illustre fisico Giovanni Giorgi, che di queste cose si intendeva meglio di tanti altri¹, scriveva che «è uno dei concetti elementari. Nel linguaggio corrente si dice, in generale, che un uomo "lavora" quando, esplicando un certo sforzo muscolare, riesce a muovere qualche corpo materiale, talché si riconnette l'idea di lavoro a quelle di "forza" e di "spostamento"»; e illustrava poi la ben nota definizione operativa come prodotto di forza per spostamento. Giorgi chiamava il lavoro «concetto elementare» per dire che non è possibile definirlo in termini più semplici, e certamente aveva ragione; ma questo non significa che per capire cos'è l'energia basti rinviare al concetto di lavoro, tanto più che si parla di «capacità» di compiere lavoro. Nella definizione tradizionale, anzi, ci deve essere molto di sottinteso. Ci se ne rende conto subito se si pensa che si tratta di un concetto che va molto oltre i limiti della meccanica. Per cogliere nel contesto storico la portata di questa considerazione basta ricordare che la conservazione dell'energia fu enunciata da Julius Mayer in base a osservazioni fatte nel 1840 come medico di bordo.² Ma essa ci è proposta anche da domande che nascono spontanee dall'esperienza di ogni giorno. Per esempio: se l'energia è legata a uno spostamento, perché la si consuma quando ci si scalda con una stufetta elettrica, o quando si fa luce con una lampadina? Perché si consuma energia per cuocere la pasta o per ottenere un farmaco dai prodotti chimici di base? E se è capacità di compiere lavoro, perché prima diciamo che l'energia si conserva e subito dopo aggiungiamo che, comunque procediamo, l'energia non si può mai trasformare tutta in lavoro?

Conviene dunque riflettere un poco, cominciando dal principio. Il termine «energia» proviene dalla parola greca; *ἐνέργεια* (*enérgeia*), che nella filosofia di Aristotele significava qualcosa come «forza in azione», per opposizione alla parola *δύναμις* (*dynamis*), che indica la capacità pura e semplice di produrre un qualche effetto, - grosso modo, la forza cui si fa riferimento nell'espressione «essere forte». Questa differenza è importante. Aristotele la mise in luce con l'esempio di un istruttore e di un allievo. Un istruttore, diceva, modifica le capacità dell'allievo quando gli insegna a fare qualcosa. Tuttavia, fintanto che l'allievo non applica la sua conoscenza, essa rimane allo stato di *δύναμις*, di potenzialità, giacché egli è solo uno che sarebbe in grado di fare o di capire certe cose se ne capitasse l'occasione; se invece mette in opera le nuove conoscenze, la cosa è ben diversa, e questo metterle in opera, - continua Aristotele - è la corrispondente *ἐνέργεια*. Intorno al 1800 la parola fu introdotta in fisica da Thomas Young (1773-1829), noto per i suoi lavori sull'elasticità, e dopo un'elaborazione di oltre mezzo secolo la

Thomas Young
(1773-1829)



scienza finì per adottare come ben distinti i due concetti di forza ed energia. Ci fu però per molto tempo una gran confusione tra i due, tant'è vero che l'energia cinetica ha conservato fino a poco tempo fa il nome di «forza viva». Probabilmente il modo migliore di chiarirsi le idee consiste nel guardare all'energia come capacità di far cambiare uno stato di cose. Un oggetto era a terra e ora è sul tavolo: è stata necessaria per questo dell'energia. Il ferro da stiro era freddo e ora è caldo; è stata necessaria per questo dell'energia. Il treno era fermo alla stazione e ora se ne sta allontanando; è stata necessaria dell'energia. Certamente, almeno nel primo e nell'ultimo caso, è entrata in gioco una forza; ma anche per sostenere il peso lasciandolo dov'è il tavolo deve esercitare una forza. Basta questo per rendersi conto che, se l'energia è qualcosa che entra in gioco solo quando si ha un cambiamento, bisogna stare attenti a non identificarla con una forza.

La fisica è arrivata gradualmente a dichiarare che ogni corpo in un certo stato possiede una certa energia, nel senso che, in circostanze adatte, può cambiare il suo stato, producendo un cambiamento nello stato di altri corpi: un cambiamento di posto, un aumento di temperatura, una trasformazione chimica, e così via. Tali cambiamenti possono essere piccoli ma difficili, oppure grandi ma facili; per esempio, portare ad alta temperatura un piccolo pezzo di metallo richiederà tanta energia quanta ne occorre per portare a una temperatura minore un pezzo più grande.

È questa la considerazione che porta alla definizione in termini di lavoro, perché implica una domanda che una scienza esatta deve necessariamente porsi: posto che si sia capito cosa s'intende per energia, come si fa a sapere quanta ne possiede un corpo? È chiaro che non basta dire «piccolo», «facile» e così via: occorre precisare cosa vogliono dire esattamente questi aggettivi e come si misurano le caratteristiche che essi designano; bisogna stabilire come si misura esattamente l'effetto che attribuiamo all'energia.

L'argomentazione che risolve questo problema consiste di quattro passi: (a) in qualunque cambiamento di uno stato di cose (trasformazione) si ridistribuisce o si trasforma una certa quantità di una grandezza fisica che chiamiamo energia; (b) anche se la trasformazione in questione non produce spostamenti, quella stessa quantità di energia potrebbe essere utilizzata per produrre lavoro meccanico; (c) il lavoro meccanico sappiamo misurarlo; (d) dunque, forniamo una misura della quantità di energia in gioco indicando il suo «equivalente meccanico», cioè il lavoro che potrebbe produrre.

Forse, a noi moderni, che abbiamo familiarità con l'energia nelle sue varie forme, questo discorso suona facile; ma appena ci si comincia a riflettere si capisce perché storicamente fu il risultato di un'elaborazione sperimentale e teorica durata circa due secoli. Esaminiamone alcuni risvolti, mantenendoci nel quadro sperimentale e interpretativo che è l'indispensabile presupposto di qualunque comprensione della scienza.³

¹Giovanni Giorgi (1871-1950) di Lucca, professore a Palermo, fu il fisico che creò nel 1904 il sistema MKS di unità elettromagnetiche. Citiamo dalla voce «lavoro meccanico» dell'*Enciclopedia Treccani*.

²Il tedesco Julius Mayer (1814-1878) enunciò l'equivalenza tra calore e lavoro e quindi il principio di conservazione dell'energia nel 1842.

³Nelle università si è diffuso sempre di più l'uso di definire le grandezze fisiche solo con una formula (per esempio, l'accelerazione come derivata seconda del vettore velocità rispetto al tempo); ma si dovrebbe ricordare in proposito quello che scriveva all'inizio del Novecento un grande matematico e fisico francese: «Gli Inglesi insegnano la meccanica come una scienza sperimentale; sul continente, la si presenta sempre più o meno come una scienza deduttiva e *a priori*. Sono gli Inglesi che hanno ragione, è ovvio; ma come si è potuto perseverare così a lungo in vie sbagliate?». Cit. da H. Poincaré, *La science et l'hypothèse* (1902), Champs-Flammarion, Paris 1968, p. 111.

Michael Faraday (1791-1876)
Londra, *Royal Institution*



Il punto (a) non richiede ulteriori commenti, perché è una sorta di premessa, che fa riferimento a quanto abbiamo detto sull'energia come capacità di produrre una trasformazione dello stato di cose in cui è coinvolto il corpo cui si attribuisce l'energia stessa.

Il punto (b), invece, è da discutere, perché propone la difficoltà principale che già abbiamo segnalato, la relazione fra energia e lavoro. Per coglierla meglio, vediamo anzitutto come essa si presentò in meccanica già nel Settecento. Come abbiamo già ricordato, in meccanica il lavoro rappresenta il mutamento effettivo di uno «stato di cose» quando una forza agisce tutta o in parte favorendo o ostacolando uno spostamento. La sua relazione con l'energia (meccanica) si vede pensando al semplicissimo esperimento seguente. Tradizionalmente, lo si fa con due vagoncini uguali su rotaie; ma riesce bene anche con due automobiline giocattolo uguali abbastanza pesanti. Se ne lancia una in modo che vada a urtare il retro dell'altra; si vede che quest'ultima si mette in moto mentre la prima si ferma. Tutto qui; ma è una dimostrazione che il lavoro compiuto per mettere in

moto la prima automobilina rende quest'ultima capace di metterne in moto un'altra. Accumulando esperimenti e osservazioni di questo genere si conclude che il lavoro compiuto contro le forze di inerzia non va perduto, anzi si conserva - almeno in prima approssimazione - restando per così dire immagazzinato nell'ultimo mobile che ha cambiato il suo stato. Dalla meccanica si sa anche che l'energia può essere di almeno due forme diverse, potenziale e cinetica, giacché un corpo può cambiare di stato o perché cambia la sua velocità o perché cambia la sua posizione rispetto ad altri corpi che su di esso esercitano delle attrazioni o repulsioni. Detto in altro modo: un corpo può essere in grado di effettuare lavoro in virtù del suo stato di moto - come nel caso della prima automobilina, oppure in virtù della posizione a cui è stato portato - come nel caso di un peso sollevato.

Qui era arrivata la meccanica quando cominciarono a maturare gli studi su altre classi di fenomeni - chimici, termici, elettrici, magnetici. Furono esplorati moltissimi processi che da fenomeni di una classe ne producevano altri di un'altra classe: riscaldamento che produceva movimento, movimenti di magneti che producevano elettricità, flussi di cariche (correnti) elettriche che producevano forze magnetiche, correnti elettriche che producevano trasformazioni chimiche, trasformazioni chimiche che producevano calore.

Queste trasformazioni avevano in comune il fatto che in tutte le classi di fenomeni considerate si possono realizzare esperimenti in cui si fa muovere qualcosa o viceversa. Per esempio, ponendo un pezzetto di ferro non lontano da una calamita e lasciandolo libero, esso si mette in moto, acquista cioè una certa energia cinetica, o almeno si sposta contro le resistenze passive; è stato dunque compiuto un lavoro meccanico. Lo stesso effetto si può ottenere sullo stesso pezzetto di ferro con una corrente elettrica, purché la si faccia passare in un filo avvolto a bobina, perché quest'ultima si comporta allora da magnete. In quest'ultimo caso è vero che occorre passare attraverso i fenomeni magnetici, ma alla fine si compie un lavoro meccanico. Si può dunque dire che la produzione di lavoro meccanico è una possibilità aperta a tutte le classi di fenomeni considerate. Sembra lecito allora attribuire a un corpo in un certo stato (in moto, caldo, elettrizzato, eccetera) una proprietà unica che è somma di vari contributi - meccanico, termico, elettrico, magnetico, chimico - al lavoro che esso potrebbe fornire, almeno in un esperimento ideale, alla fine di un'opportuna trasformazione o catena di trasformazioni. Identifichiamo questa proprietà con l'energia in senso generale. Diciamo dunque che l'energia meccanica si può trasformare in energia elettrica; l'energia elettrica si può trasformare in energia chimica; l'energia chimica si può trasformare in calore; il calore si può trasformare in energia potenziale; e così via. Per quel che abbiamo detto, questo significa che almeno in linea di principio si può sempre immaginare una serie di trasformazioni tali che una data forma di energia si trasformi tutta in lavoro meccanico; ed è questo che s'intende quando si dice, secondo i punti (c) e (d), che l'energia, in qualunque forma, ha sempre un equivalente in termini di lavoro e che perciò, anche quando il suo passaggio da un corpo a un altro non dà luogo a spostamenti, la si può misurare valutando il lavoro meccanico che potrebbe fornire in opportune condizioni.⁴

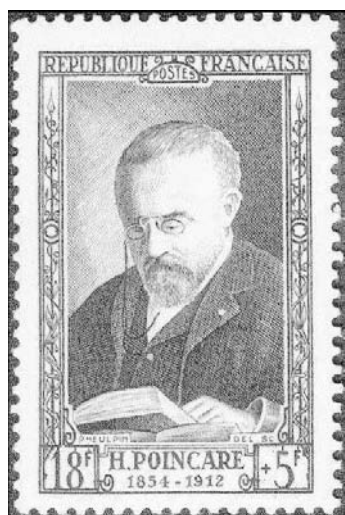
Abbiamo così esaminato per l'essenziale cosa significa e cosa sottintende la definizione universalmente accettata dell'energia. Per completare il quadro vogliamo tornare su una questione affascinante: visto che è una grandezza così multiforme, non ha una relazione con il lavoro umano, in quanto «fatica», che non si limiti all'analogia con il freddo concetto di lavoro della meccanica? Curiosamente, sì. Quando Julius Mayer arrivò a chiarire definitivamente che il calore è una forma di energia, e quindi a enunciare la conservazione di quest'ultima, ciò avvenne davvero in relazione al lavoro umano; l'idea dell'equivalenza fra calore e lavoro gli venne, come racconta Wilhelm Ostwald, «quando ebbe a fare il salasso a parecchi marinai [nella rada di Surabaja, a 7 gradi di latitudine Sud], e trovò il sangue venoso

Julius Mayer
(1814-1878)



⁴Anche se non sembra indispensabile metterlo in evidenza al livello cui ci stiamo tenendo, non va dimenticato che l'energia è sempre misurata rispetto a un valore «di zero» arbitrario.

così chiaro che credette a tutta prima di aver aperto l'arteria. Apprese allora dai medici del luogo che questo fenomeno è generale ai tropici; ne trovò ben presto la spiegazione in una forte diminuzione dei processi di ossidazione; quando la temperatura esterna è alta, il corpo non ha bisogno di bruciare molto per conservare il proprio calore». Continua Ostwald: «Si sapeva, dal tempo di Lavoisier, che il calore animale viene dall'ossidazione degli alimenti, e probabilmente Mayer si era compenetrato di quest'idea durante il suo soggiorno a Parigi. Ma che cosa succede se, oltre al calore, il corpo produce del lavoro? Si sapeva bene che con tale lavoro si poteva produrre altro calore. Se il corpo non consumasse una quantità maggiore di cibo quando esegue un lavoro rispetto a quando è in riposo, si potrebbe, con l'intermediazione del corpo e con una sola e stessa quantità di cibo, ottenere talora più calore, talora meno. Se invece si suppone che per questo aumento di calore occorra un aumento di cibo, si deve concludere che calore e lavoro si possono trasformare l'uno nell'altro, e si devono considerare come aventi la stessa natura, giacché ambedue possono esser prodotti nei corpi degli animali con la combustione degli alimenti».⁵ Fu così che Mayer giunse alla più grande scoperta teorica della scienza del secolo XIX, il principio di conservazione dell'energia: in tutti i cambiamenti che avvengono nell'universo si ha trasformazione (o trasferimento) di una grandezza fisica sempre



della stessa natura, l'energia, e il suo valore totale rimane sempre lo stesso. L'energia è cioè l'invariante fondamentale del divenire dell'universo: quando la si trasferisce o la si trasforma, tanta se ne perde da una parte quanta se ne riceve da un'altra. Non per nulla Henri Poincaré, grande fisico matematico di fine Ottocento, concludeva una serie di riflessioni sull'energia proprio dicendo che in fin dei conti chiamiamo energia semplicemente «qualcosa che rimane costante».⁶ Per arrivare a un'affermazione così semplice, però, è occorso il cammino che abbiamo cercato di deli-

neare; cammino che chi insegna materie scientifiche dovrà far suo, se davvero vorrà, non dico spiegare cos'è l'energia, ma almeno evitare di alimentare la confusione che genera nella testa dei suoi allievi il martellamento di un uso fantasioso e strumentale da parte dei *mass media*.

⁵Wilhelm Ostwald (1853-1932, Nobel per la chimica 1909), *Les Grands Hommes*, trad. in francese dall'originale tedesco di M. Dufour, Flammarion, Paris 1919, pp. 48-49.

⁶Henri Poincaré (1854-1912): op. cit., p. 146.