DOPPIOZERO

Energia, la misura del cambiamento

Pino Donghi

1 Gennaio 2026

Tre volte diecimila. Dalla fine dell'ultima glaciazione, e per circa 10.000 anni, Homo Sapiens ha abitato una Terra climaticamente stabile, intorno a una temperatura media di 14° C: per intenderci, dal tempo in cui datiamo l'"invenzione" dell'agricoltura in quella mezza luna fertile che ci accompagna nei sussidiari di storia fin dai banchi delle elementari. Sono circa10.000 anni, in sostanza, durante i quali il clima ha mostrato minime variazioni. Per tutto questo tempo, la frazione di CO2 presente nell'aria è rimasta stabile, nell'ordine di 3 parti per 10.000, poi, negli ultimi due secoli, è aumentata di poco più di una parte: di conseguenza, la temperatura media del pianeta è cresciuta di 1,2° in questi stessi, ultimi duecento anni, quelli che corrispondono all'inizio e poi agli sviluppi della "rivoluzione" industriale. Non c'è due senza tre. La Terra riceve dal Sole 10.000 volte più energia, sotto forma di luce, rispetto alle sorgenti fossili che usiamo per produrre tutta quella di cui abbiamo bisogno: fossimo capaci di intercettarne anche una frazione minima, invece che farla rimbalzare senza approfittarne, avremmo risolto un bel problema. Quello dell'Energia.

Che è il titolo e il tema affrontato da Roberto Battiston, fisico sperimentale dell'Università di Trento, nel 381esimo volume della collana "Scienza e Idee", fondata da Giulio Giorello per Raffaello Cortina Editore nel 1994 con l'uscita di *Terra-Patria* di un Edgar Morin allora giovanissimo 71enne e che nel 2025 ne ha festeggiati 104: *lunga vita*, a lui e alla collana! Da questi tre "10.000" Battiston parte per introdurre il lettore all'interpretazione della più grande transizione energetica affrontabile, "probabilmente la più ampia e rapida mai tentata", e lo fa in 23 capitoli – più un prologo e un epilogo – che hanno il vantaggio di non circoscrivere il discorso a quella "scienza" fisica di cui Battiston è uno dei nostri massimi esperti, ricercatori e divulgatori, ma di aggiungerci molte "idee". Utili a comprendere cosa l'energia sia, nella prima parte dal titolo, *Energia: la misura del cambiamento*; come essa sia emersa dal Big Bang e come l'uomo l'abbia conosciuta fino all'avvento dell'antropocene, e certamente partendo dall'inizio, cominciando dal fuoco, nella seconda parte dedicata a *L'uomo e l'energia*; nella

terza, *Energia, società, potere*, ricordando le guerre che per l'energia sono state combattute, fino all'attualità dell'accesso alle nuove, "rare" risorse; infine affrontando, nella quarta e conclusiva parte, *Le sfide del futuro*: il problema dei costi, quello delle sorgenti rinnovabili, la necessaria pianificazione, il parallelo tra l'energia che serve alla vita e quello necessario alla nostra mente ("L'energia mentale non riguarda solo *quanta* ne consuma il cervello, ma anche *come* la spende"). Per non parlare, aggiungeremmo, di quella che serve e servirà per nutrire le diverse intelligenze artificiali. Nelle conclusioni i tre scenari, il gran finale dell'Energia dell'Universo: il *Big Freeze* dell'espansione accelerata dello spazio, lo scenario al momento più gettonato dai cosmologi, con le galassie che si allontanano, le sorgenti di energia che si spengono per esaurimento del combustibile nucleare, e alla fine del quale ci sarà un "brodo rarefatto di particelle elementari e fotoni a bassissima energia, in un cosmo freddo e silente"; il *Big Rip*, uno scenario estremo dove è previsto che, con il tempo, l'energia oscura aumenti di intensità invece di rimanere costante, con un'espansione accelerata dell'Universo, una repulsione cosmica che strapperebbe a pezzi tutte le strutture legate gravitazionalmente, con "un universo ridotto a zuppa diluita di particelle elementari che si allontanano tra loro a velocità sempre crescente […] il Big Rip corrisponde quindi a una fine del tempo causata dall'espansione stessa"; infine il *Big Crunch*, l'idea di un'inversione, dell'Universo che si contrae dopo aver raggiunto il suo raggio massimo, con la gravità che torna ad essere la forza dominante su scala cosmica, superando l'energia oscura: un collasso sempre più denso e caldo fino a tornare alle condizioni dell'Universo primordiale, l'opposto del Big Bang. Non escludendo la vertigine di un ulteriore possibilità, il *Big Bounce*, il Grande Rimbalzo dell'Universo ciclico, in cui la singolarità finale del Big Crunch dà luogo a un nuovo Big Bang, l'idea di una cosmologia che alterna fasi di espansione a fasi di contrazione, in una *never ending story*, anche poetica in effetti, di cui è cantore il Sir Roger Penrose della *cosmologia ciclica conforme*.

Coerentemente con la dedica, *Al Primo e al Secondo principio* [della termodinamica], è la prima parte, quella più propriamente fisica, ad occupare quasi metà delle complessive 368 pagine, che si aprono con la domanda più conseguente: *Cos'è l'energia?.* "È una grandezza fisica, una misura del cambiamento: è ciò che permette alle cose di accadere, è il carburante di ogni movimento, di ogni lampo di luce e di ogni trasformazione attorno a noi […] Spesso si dice che è la capacità di compiere lavoro". È la moneta di scambio della Banca dell'Universo: noi "sappiamo che l'energia si conserva (non appare dal nulla né scompare nel nulla) e che può trasformarsi da una forma in un'altra […] Questa sorta di economia cosmica è uno dei principi più solidi della scienza". È il "primo" principio della termodinamica: l'energia non si crea né si distrugge, ma

può solo cambiare di forma. La lezione di scienza parte da questo basilare principio, che ogni scolaro sa ripetere, almeno dal momento in cui incontra Antoine-Laurent de Lavoisier, magari studiando la Rivoluzione Francese. Ed è, quella di Battiston, una lezione ricca di esempi illuminanti, di spiegazioni elementari, che incuriosisce anche i lettori meno vicini, convocando il Pantheon delle grandi menti della conoscenza scientifica, da Empedocle a Galilei a Leibniz, a Lavoisier, appunto, a Joule, il "cognome" dell'equivalenza tra lavoro e calore. Ma compaiono il medico tedesco Julius Robert Mayer, il fisico Hermann von Helmholtz, il nostro Alessandro Volta, Michael Faraday, Galvani, du Bois-Reymond, il William Thompson assai più noto come Lord Kelvin… e magari "solo" per capire perché mai una palla non può rimbalzare più in alto di dove era inizialmente (a pag. 38, per seguire il ciclo "energia potenziale–energia cinetica", magari considerando che differenza fa se la palla incontra un suolo di sabbia o argilla, deformando il terreno e dissipandosi in calore, o nel ribalzo sul terreno duro). Si *ri-passa* il ciclo dal carburante al movimento, quello del metabolismo umano e la produzione di elettricità. Si impara come "la formula, E=mc2, ci dice anche che energia e massa sono proporzionali: aggiungere energia a un oggetto lo rende più pesante"… ergo: "Se carico una batteria del telefono, la batteria pesa qualche nanogrammo in più rispetto a quando era scarica, perché ora contiene più energia, anche se la differenza è troppo piccola per essere misurata facilmente". Personalmente, per quel che vale, non ci avrei mai pensato!

Il lettore si imbatte in esempi estremi e in altri più familiari, che però non sempre significa ben compresi. Tra i primi, l'eruzione del vulcano Tambora nel 1815, che sprigionò un'energia stimata a 1,4x10 alla ventesima joule, l'equivalente di due milioni di bombe di Hiroshima o dell'intero consumo energetico degli Stati Uniti in un anno: non meraviglia ricordare come il 1816 fu "l'anno senza estate", la non estate fredda e piovosa durante la quale, a Ginevra, Mary Shelley scrisse il suo cupo Frankenstein. Più familiare la consapevolezza che la fotosintesi sia uno dei processi energetici più diffusi sulla Terra, sicché la maggior parte delle piante intercetta solo l'1-2% dell'energia incidente creando strutture chimiche ordinate, percentuale minimissima eppure in grado di alimentare tutta la catena biologica del pianeta. Leggendo si impara il perché dei "brividi di freddo" e della "pelle d'oca" ma anche come funzioni, energeticamente, una stazione spaziale orbitante, nonché la ragione per cui l'energia è calcolata in "cavalli".



Fotografia di Jason Mavrommatis.

Comprendere il significato congiunto del I e del II principio della termodinamica, così come riassunto da Rudolf Clausius, il fisico che ha introdotto il termine "entropia" – "l'energia dell'Universo è costante; l'entropia dell'Universo tende a un massimo" – non ci permette solo di capire perché *il calore va dal caldo al freddo*, che *mescolare è facile, separare è difficile*, finanche la ragione per cui *il disordine domestico cresce se non si interviene*… ma ci dà la spiegazione del cambiamento climatico in atto, "risultato di uno squilibrio energetico dovuto ad una nostra introduzione di disordine, CO2 e calore, nel sistema atmosferico".

Insomma, come in molti testi di divulgazione, informazioni utili, curiosità – "L'energia che il Sole produce in un solo secondo, circa 4x10 alla ventisei joule, equivale a tutta l'energia che l'umanità consumerebbe, a ritmi attuali, in 500.000 anni." – insieme a esempi estremi, vengono convocati per permettere al pubblico di comprendere il senso e la direzione della ricerca scientifica più avanzata. Ma, scrivevamo già, c'è molto di più. Nell'ottica e con la conoscenza del II principio della termodinamica, Battiston elenca e illustra tutte le possibili strategie chiave per un futuro sostenibile: decarbonizzazione, efficientamento, economia circolare, riforestazione, adattamento e resilienza. Non senza qualche sorpresa, naturalmente per chi ha poca dimestichezza con le conoscenze e i processi scientifici: nel sistema climatico della Terra esiste una quota di energia libera, quella che tiene in moto venti, piogge e correnti. Ebbene, qualora fossimo capaci di prelevare tutta l'energia che utilizziamo dal vento, questo porterebbe a gravi

alterazioni climatiche: “In altre parole, anche le fonti rinnovabili non sono infinite né prive di effetti collaterali”.

Energia è anche un libro di Storia, della storia del rapporto tra *L’uomo e l’energia, dal Big Bang all’Antropocene*, dalla scoperta del fuoco alla reinvenzione della ruota e fino alle rivoluzioni del ‘900. È un libro di politica, nel rapporto tra *Energia, Società e Potere*, che arriva alle attuali guerre per l’accesso alle nuove risorse, a quelle cosiddette “terre rare”, che troppo rare non sono ma invece strategicamente collocate e contese. Tra pagina 280 e 284 si trova un’illustrazione puntuale che fa piazza pulita di ogni possibile negazionismo riguardo le ragioni dell’emergenza climatica. Ma bisogna leggere, bisogna documentarsi, possibilmente sospendendo le proprie incredulità: leggere, documentarsi, comprendere così da essere pronti ad affrontare “Le sfide del futuro”, e quella per eccellenza: “come bilanciare i *costi economici* delle trasformazioni con l’*equità sociale*, assicurando che nessuno resti indietro”.

Un testo, *Energia*, di scienza e idee; di costi e di soluzioni; di resistenze e difficoltà (a partire dall’*inerzia economica e infrastrutturale*); di confronti puntuali tra fonti disponibili e impatti ambientali, così da riuscire effettivamente a *pianificare la sostenibilità energetica*. È un testo e un esempio, questo scritto da Roberto Battiston, di una Scienza che si mette in gioco, che non recita solo la parte del “consulente imparziale” ma che misura e si misura con le tensioni sociali e le scelte economiche e della Politica: con una terminologia un po’ desueta, si potrebbe definire un testo militante, che prende posizione.

E costruendo ponti. Non ultimo, quello tra l’energia della vita e l’energia della mente, tra termodinamica e neuroscienze, tra l’altro nella riflessione del fisico e neuroscienziato Karl Friston, quello dell’energia libera in matematica analogia: *the free energy principle* “sostiene che il cervello cerca costantemente di ridurre la *sorpresa* o l’imprevedibilità delle proprie percezioni, mantenendo un modello interno del mondo il più possibile accurato. Ogni volta che le nostre aspettative vengono disattese da ciò che percepiamo c’è un costo in termini di disordine informativo, che il cervello cerca di minimizzare aggiustando i suoi modelli o mettendo in atto azioni per cambiare la realtà”. Per dire che, scrivendo di “energia”, si può arrivare anche a parlare di “coscienza” e del rapporto mente-cervello: cfr, anche su queste pagine, i testi di Anil Seth e di Mark Solms.

Energia della vita e energia della mente “sono capitoli di una stessa storia cosmica, una storia di trasformazioni incessanti verso livelli crescenti di complessità e organizzazione, dalla materia inanimata alla coscienza che contempla sé stessa”.

La *lunga storia di noi stessi*, come titolava un altro scienziato, Joseph LeDoux, passa anche, principalmente, per le trasformazioni dell'*Energia*.

Leggi anche:
Riccardo Manzotti, Conversazione con Anil Seth
Pino Donghi, Il Nobel alle reti neurali
Pino Donghi, Viaggio all'origine della coscienza

Se continuiamo a tenere vivo questo spazio è grazie a te. Anche un solo euro per noi significa molto.
Torna presto a leggerci e SOSTIENI DOPPIOZERO


Raffaello Cortina Editore
Roberto
Battiston
Energia
Una storia di creazione
e distruzione
Scienza
e Idee
Collana fondata
da Giulio Giorello