

I conti con l'energia

di Vincenzo Barone



l'autore

VINCENZO BARONE
insegna fisica teorica
presso l'Università del
Piemonte Orientale.
È autore di numerose
pubblicazioni
specialistiche e di saggi
storici e divulgativi editi
dalle più importanti case
editrici.

Il fabbisogno energetico del pianeta è quasi triplicato in mezzo secolo, e questa enorme quantità di energia proviene in gran parte da risorse soggette a esaurimento e di forte impatto sull'ambiente e sul clima.

Per invertire la tendenza è necessario mettere in atto politiche di sviluppo sostenibile e una **transizione energetica dai combustibili fossili alle energie rinnovabili**, soprattutto alla più grande sorgente di energia pulita potenzialmente disponibile: il Sole.



Il mondo umano è particolarmente energivoro. Negli ultimi cinquant'anni il consumo pro capite di energia è cresciuto del 30%, fino ai circa 78 GJ all'anno del periodo pre-Covid (corrispondenti a 200 MJ al giorno, venti volte di più dell'energia che ricaviamo dal cibo). Tenendo conto dell'aumento della popolazione mondiale (che ha raggiunto gli 8 miliardi di individui), **il fabbisogno energetico del pianeta si è complessivamente quasi triplicato in mezzo secolo**, superando i 600 EJ (exajoule) all'anno.

Il problema è che questa enorme quantità di energia proviene in gran parte (più dell'80%) da risorse soggette a esaurimento e fortemente inquinanti, i combustibili fossili (carbone, petrolio, gas naturale). L'uso di queste fonti di energia, che è alla base del funzionamento delle nostre società, oltre ad avere un impatto locale sull'ambiente, ha – come dimostrano le ricerche degli ultimi decenni – un effetto globale e duraturo sul clima, attraverso la produzione di gas a effetto serra (diossido di carbonio, soprattutto) che intrappolano parte della



radiazione solare e surriscaldano il pianeta, con pesanti conseguenze di medio e lungo periodo.

Va detto poi che esistono profonde **disuguaglianze geografiche e sociali nella disponibilità di energia**. La media pro capite che abbiamo citato nasconde il fatto che, per esempio, gli Stati Uniti, con il 4% della popolazione mondiale, consumano il 15% dell'energia del pianeta, mentre l'Africa, con il 17% della popolazione mondiale, consuma appena il 6% dell'energia.

Si comprende così l'importanza (e l'urgenza) del settimo Obiettivo per lo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite («Assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili,

sostenibili e moderni») e dei traguardi correlati: **aumentare** considerevolmente nei prossimi anni **la quota di energie rinnovabili e migliorare l'efficienza energetica**.

LE VIE DELL'ENERGIA

Per capire come affrontare queste sfide dobbiamo innanzi tutto ricordare che le vie che portano l'energia fino a noi, per i nostri usi quotidiani, partono sempre da qualche *energia primaria*, cioè da una risorsa energetica disponibile in natura. Da un punto di vista fisico, la principale distinzione nell'ambito delle energie primarie è quella tra le *risorse di giacimento*, o *fossili* (combustibili fossili e combustibili nucleari), formatesi in tempi geologici e caratterizzate da energia immagazzinata in legami chimici o nucleari, e le *risorse di flusso*, o *rinnovabili* (energia solare, energia geotermica, energia biologica, energia da acque e vento), tipiche di sistemi termodinamici aperti, la Terra e la biosfera, che scambiano materia e energia con l'esterno.

Mentre **le risorse fossili sono soggette a esaurimento**, **quelle rinnovabili** si manifestano in modo continuo e **si rigenerano**: sono quindi virtualmente *inesauribili*. Vanno fatte, però, due precisazioni. Innanzi tutto, se il tasso di consumo di una risorsa è superiore al tasso con cui essa si rinnova (si pensi al legname), la risorsa tenderà a esaurirsi. Inoltre, anche fonti di energia praticamente illimitate, come l'energia solare e l'energia eolica, sono soggette a vincoli, dal momento che il loro sfruttamento richiede l'uso di risorse limitate: lo spazio e gli elementi chimici rari.

Solo poche fonti primarie di energia (il gas naturale e le biomasse) sono direttamente utilizzabili. Tutte le altre, prima di essere impiegate, subiscono delle trasformazioni, diventando *energie secondarie*.

La forma più importante, e più preziosa, di energia secondaria è l'*energia elettrica*, che viene prodotta a partire da quasi tutte le fonti primarie.

A causa delle perdite di conversione, trasmissione e distribuzione, e dei costi energetici delle trasformazioni, **solo il 70%** del totale lordo **di energia primaria** al mondo **è disponibile per gli usi finali**.

La ripartizione per fonti del consumo lordo di energia primaria è illustrata in **Figura 1**. Balza subito all'occhio la **predominanza dei combustibili fossili** (petrolio, carbone, gas naturale), che contribuiscono per l'81% al fabbisogno totale. La quota complessiva delle rinnovabili (inclusendo le biomasse, i rifiuti, il solare, il geotermico, l'idraulico, l'eolico e le maree) è del 14%. In **Figura 2** è mostrata la **ripartizione per fonti** degli impieghi finali. L'elettricità rappresenta quasi il 20% del totale. Confrontando le due figure si vede come la quota del carbone si riduca negli impieghi finali rispetto al consumo lordo di energia primaria, poiché questo combustibile fossile viene usato in buona parte per produrre energia elettrica.

Al contrario, il petrolio domina, con i suoi derivati, gli usi finali.

Guardando all'**energia elettrica** (**Figura 3**), la cui produzione complessiva nel 2019 è stata di circa 27 000 TWh, si vede che la quota fossile è ancora molto alta (circa il 63%), ma il petrolio, che è usato prevalentemente (attraverso i suoi derivati) per i trasporti e per il riscaldamento, è meno rilevante.

Le energie rinnovabili contribuiscono per poco più di un quarto, il nucleare per il 10%.

Tra le rinnovabili, domina la fonte idroelettrica, che nel 2019 ha generato 4300 TWh, seguita da quella eolica, che ha generato 1400 TWh. Il solare fotovoltaico ha prodotto 680 TWh, una quota ancora piccola ma in rapida crescita (si pensi che nel 2005 era appena di 4 TWh).

Fabbisogno mondiale di energia primaria (ripartizione per fonti)

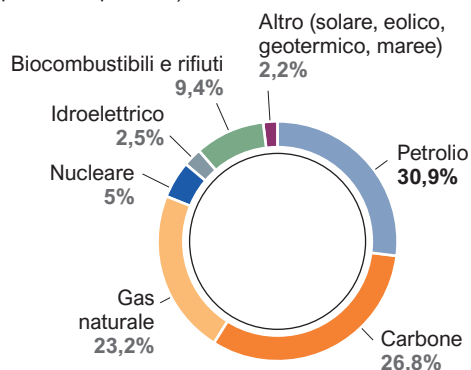


Figura 1. Dati 2019, IEA.

Impiego di energia nel mondo (ripartizione per fonti)

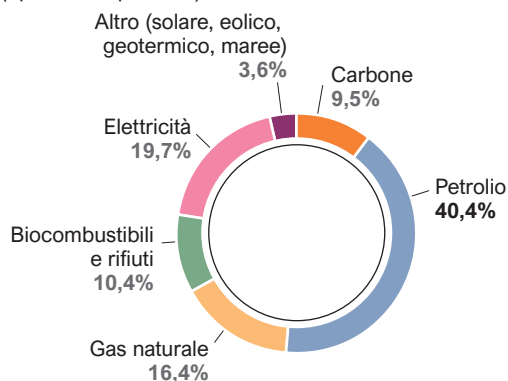


Figura 2. Dati 2019, IEA.

Produzione mondiale di energia elettrica (ripartizione per fonti)

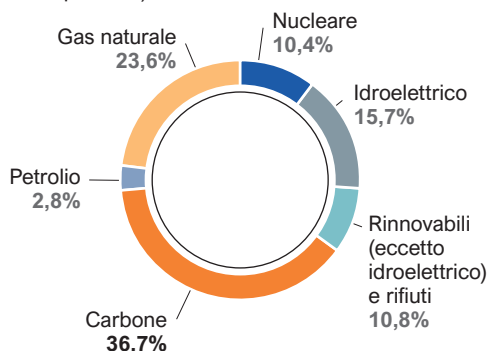


Figura 3. Dati 2019, IEA.



le principali **alternative**
ai combustibili
fossili nella produzione
di energia elettrica sono
l'energia nucleare
e le energie di flusso

Energia di Flusso

L'umanità utilizza
1/1 000 000
dell'**energia solare**
che arriva sulla
superficie terrestre

margine di crescita
illimitato

LA TRANSIZIONE ENERGETICA

Il successo, ancora perdurante, dei combustibili fossili è dovuto al fatto che si tratta di sostanze stabili, che possono essere immagazzinate e trasportate in maniera relativamente facile, e che posseggono un grande contenuto di energia per unità di massa (da 30 a 50 MJ/kg). Il loro grosso difetto, come abbiamo anticipato, è la grande quantità di CO₂ emessa nel processo di combustione (da 50 a 100 kg per GJ), largamente responsabile dell'accumulo di questo gas nell'atmosfera.

In linea teorica, le **principali alternative** ai combustibili fossili nella produzione di energia elettrica sono **l'energia nucleare e le energie di flusso** (in particolare l'energia solare). Tuttavia, la quota nucleare (il 10% dell'elettricità) è più o meno stabile da una ventina d'anni, perché la costruzione di nuove centrali (soprattutto nei Paesi asiatici) è controbilanciata dalla dismissione dei reattori più obsoleti in Europa e Nord America, dove lo sviluppo del nucleare è ostacolato dagli alti costi economici e sociali di questa fonte di energia, e dalle difficoltà legate allo smaltimento delle scorie ad alta radioattività.

Un discorso a parte merita la **fusione nucleare**, che non presenta i problemi della fissione (perché intrinsecamente sicura e con un minimo impatto ambientale). Da molti decenni sono in corso ricerche per arrivare a uno sfruttamento energetico dei processi di fusione tra nuclei leggeri (deuterio e trizio). Per innescare tali processi è necessario confinare e portare a temperature elevatissime il plasma nucleare. Uno dei parametri cruciali è il cosiddetto fattore di guadagno Q, dato dal rapporto tra la potenza termica prodotta e quella fornita per realizzare la fusione. Tenendo conto della spesa energetica dell'intero reattore, affinché sia possibile generare energia utile, non basta che Q superi l'unità: è necessario che sia molto più grande di 1 (dell'ordine almeno delle decine). È recente la notizia che un impianto statunitense ha raggiunto il valore $Q = 1,5$. Siamo dunque ancora lontani da un concreto utilizzo dell'energia da fusione, anche se i risultati degli ultimi anni e gli sforzi profusi dalle nazioni tecnologicamente più avanzate fanno ben sperare. La fusione nucleare, in ogni caso, non potrà modificare il panorama energetico mondiale prima della seconda metà del secolo.

Energia Nucleare

Attualmente il
10%
dell'energia
prodotta arriva
dal nucleare

altissimi costi
economici e sociali
difficoltà smaltimento
scorie radiattive

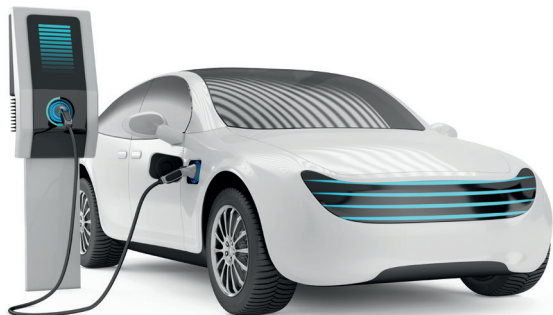
Per la transizione energetica, dunque, si guarda soprattutto alla più grande sorgente di energia pulita potenzialmente disponibile: **il Sole**. L'energia della radiazione solare che raggiunge ogni anno l'atmosfera terrestre ammonta a $5,46 \cdot 10^6$ EJ, per una potenza di $1,73 \cdot 10^5$ TW, quasi diecimila volte superiore al fabbisogno energetico mondiale. Al suolo l'irradianza media è di 170 W/m^2 , ed è questa potenza che può essere catturata mediante i *pannelli solari*, che producono energia termica, per il riscaldamento e la produzione di acqua calda (con una resa media di 6 MJ/m^2), o le *celle fotovoltaiche*, che convertono l'energia solare in energia elettrica (con un rendimento che è attualmente del 15-20%). Il costo delle celle fotovoltaiche, che fino a pochi anni fa era piuttosto elevato, è diminuito drasticamente, e ciò rende oggi il solare fotovoltaico competitivo sul piano economico con le fonti di energia tradizionali. Il problema principale che si incontra nell'uso dell'energia solare per la generazione di elettricità sta nella variabilità dell'irraggiamento e, quindi, nell'intermittenza della produzione. È un problema comune ad altre fonti rinnovabili, per esempio all'eolico.

Affinché le risorse di flusso, che sono altamente variabili, possano essere integrate in maniera estensiva nel sistema elettrico globale occorreranno, da un lato, delle **reti di distribuzione "intelligenti"**, in grado di gestire in tempi rapidi l'offerta e la domanda di elettricità, dall'altro, dei sistemi comodi per immagazzinare l'energia nei momenti di eccesso di produzione (un'idea promettente è quella di convertire l'eventuale surplus in energia chimica dell'idrogeno). Attualmente l'umanità ricava ogni anno dal Sole (mettendo assieme il solare termico e il solare fotovoltaico) appena 3 EJ di energia, il che significa che utilizza appena un milionesimo di tutta l'energia radiativa che arriva sulla superficie terrestre: il margine di crescita è quindi praticamente illimitato.



tips&tricks

- > *World Energy Outlook 2022*, International Energy Agency (www.iea.org).
- > V. Smil, *Energy. A Beginner's Guide*, Oneworld, London, 2017.
- > V. Smil, *Energia e civiltà. Una storia*, Hoepli, Milano, 2021.
- > L. Sertorio e E. Renda, *Cento watt per il prossimo miliardo di anni*, Bollati Boringhieri, Torino, 2008.



PROSPETTIVE

Che cosa dobbiamo aspettarci per il futuro? È difficile fare previsioni, tanto più che sviluppi tecnologici inaspettati potrebbero intervenire a modificare profondamente il quadro che deriva dall'estrapolazione dello stato presente del pianeta. Le proiezioni basate sulle politiche economiche ed energetiche attuali indicano un fabbisogno mondiale di energia nel 2040 pari a 750 EJ. In questo scenario, tenendo conto della crescita della popolazione (che nel 2040 si prevede possa essere di 9 miliardi di individui), il consumo medio pro capite di energia primaria all'anno sarà di 82 GJ, il che significa che ognuno di noi avrà bisogno di 4 GJ $\approx$ 1000 kWh all'anno in più, cioè di 130 W extra di potenza. Se, invece, si metteranno in atto **politiche di sviluppo sostenibile**, si potrà mantenere sostanzialmente stabile il fabbisogno mondiale complessivo di energia primaria, con una diminuzione – a fronte della crescita demografica – del dato pro capite. In ogni caso, è necessario che la frazione di energia “pulita”, cioè di **energia generata da fonti rinnovabili a bassa o nulla emissione di gas serra**, cresca sensibilmente.

Un punto importante da tenere a mente è che, oltre una certa soglia, l'aumento del consumo di energia pro capite non comporta un aumento del benessere. Come si vede nella **Figura 4**, se si riportano in un grafico i valori dell'indice

HDI (*Human Development Index*), che combina una serie di indicatori sulle aspettative di vita, l'educazione e il reddito, e quelli del consumo pro capite di energia nelle varie nazioni, i dati si addensano attorno a una curva che mostra un evidente livello di saturazione: al di là di 100-150 GJ annui, il benessere degli individui non cresce. Un cittadino statunitense, con i suoi quasi 300 GJ consumati all'anno, ha lo stesso livello di vita di un cittadino europeo, che ne consuma la metà. E ci sono nazioni particolarmente energivore (per esempio, l'Arabia Saudita) il cui benessere medio è inferiore a quello di nazioni più parsimoniose sul piano energetico. C'è dunque un ampio margine per risparmiare energia senza compromettere il proprio tenore di vita. —

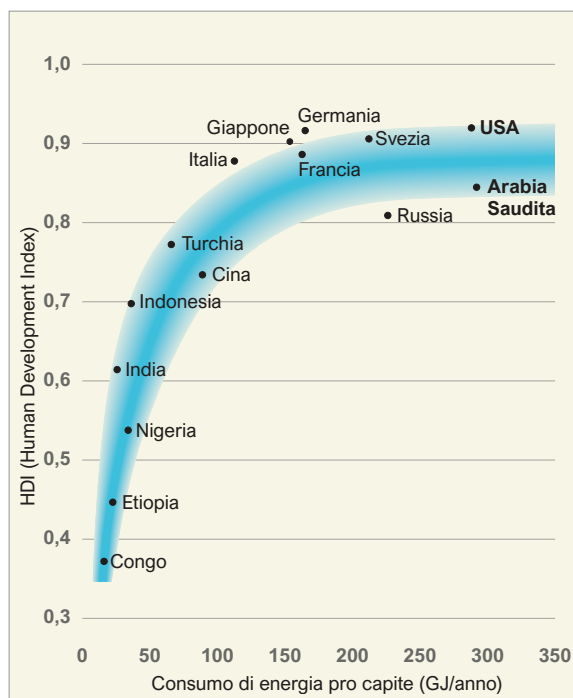


Figura 4. Correlazione tra il consumo di energia pro capite e l'indice di sviluppo HDI, compreso tra 0 e 1 (Fonte: V. Smil, *Energia e civiltà. Una storia*, Hoepli, 2021).