

# LA TRANSIZIONE ENERGETICA



**Editore Eni SpA**

Piazzale Enrico Mattei, 1 - 00144 Roma

[www.eni.com](http://www.eni.com)

**Grafica**

Imprinting

**Stampa**

Tipografia Facciotti Srl

Vicolo Pian due Torri, 74

00146 Roma

[www.tipografiafacciotti.com](http://www.tipografiafacciotti.com)

I testi sono tratti dal mensile

“Orizzonti - idee dalla Val d’Agri” - [www.enibasilicata.it](http://www.enibasilicata.it)



# LA TRANSIZIONE ENERGETICA

**Giuseppe Sammarco**



# Introduzione

Il mondo dell'energia sta cambiando: nuove politiche, tecnologie e fonti fanno pensare all'inizio di un lungo viaggio verso una nuova era, una "transizione energetica" alla ricerca di un modello di consumo sostenibile e di soluzioni per combattere riscaldamento globale, cambiamento climatico e fornire a una popolazione mondiale in aumento l'energia necessaria per raggiungere un adeguato livello di sviluppo.

Su questi temi è in corso un dibattito importante e diffuso, i cui principali termini e concetti sono stati approfonditi in sette articoli pubblicati da ottobre 2018 a maggio 2019 sulla rivista di Eni "Orizzonti, idee dalla Val d'Agri".

Con tale iniziativa volevamo proporre ai più esperti un'occasione di riflessione su argomenti conosciuti, e ai meno esperti gli elementi di base per seguire la discussione. Per lo stesso motivo, abbiamo ora deciso di raccogliere gli articoli in un'unica pubblicazione, rendendo più semplice al lettore seguire un percorso logico sviluppato su più tappe.

Il tema affrontato è quello della transizione energetica, un concetto semplice ed intuitivo che nasconde però molte complessità. Che cos'è, infatti, una transizione energetica e quali elementi hanno caratterizzato quelle del passato e quella attuale? Quali sono i meccanismi, i nessi logici e i vincoli tecnologici o di altro





© HARSHAL S. HIRVE/UNSPLASH



tipo che governano il processo di cambiamento del sistema energetico e ne determinano direzione e velocità di sviluppo?

Sono queste, in estrema sintesi, le domande che ci siamo posti, con l'obiettivo di fornire al lettore alcune importanti informazioni di base per potersi formare una propria opinione.

Come vedremo nei vari capitoli dello studio, la transizione energetica è un processo complesso che comporta cambiamenti strutturali nelle modalità di produzione e utilizzo di ener-

gia da parte dell'uomo. Ma, soprattutto, è un processo che ha accompagnato la storia dell'uomo fin dalla sua nascita, consentendo lo sviluppo e il progresso della civiltà umana.

Ora il sistema energetico è chiamato a dare risposte a nuove sfide – cambiamenti climatici e ambiente - che si affiancano a quella tradizionale di alimentare crescita e progresso di una popolazione in aumento nel corso del secolo e che già oggi, in ampia parte, è al di sotto di un livello di sviluppo adeguato. Energia so-



© NICHOLAS DOHERTY/UNSPLASH

stenibile per tutti è il concetto che dovrebbe riassumere gli obiettivi e guidare le scelte.

Trovare la soluzione non è semplice ma non è impossibile e richiede un grande impegno da parte di tutti, sia di chi produce energia sia di chi la consuma.

Anche per questo motivo, è importante comprendere significato ed essenza delle transizioni energetiche, acquisendo consapevolezza degli elementi che le definiscono.

Ci accompagna in questo percorso di appro-

fondimento Giuseppe Sammarco, autore degli articoli pubblicati su “Orizzonti, idee dalla Val d’Agri” e di questo studio. Giuseppe Sammarco, economista dell’energia e dell’ambiente, lavora in Eni ed è responsabile dell’unità “Energy sector integrated energy studies”.









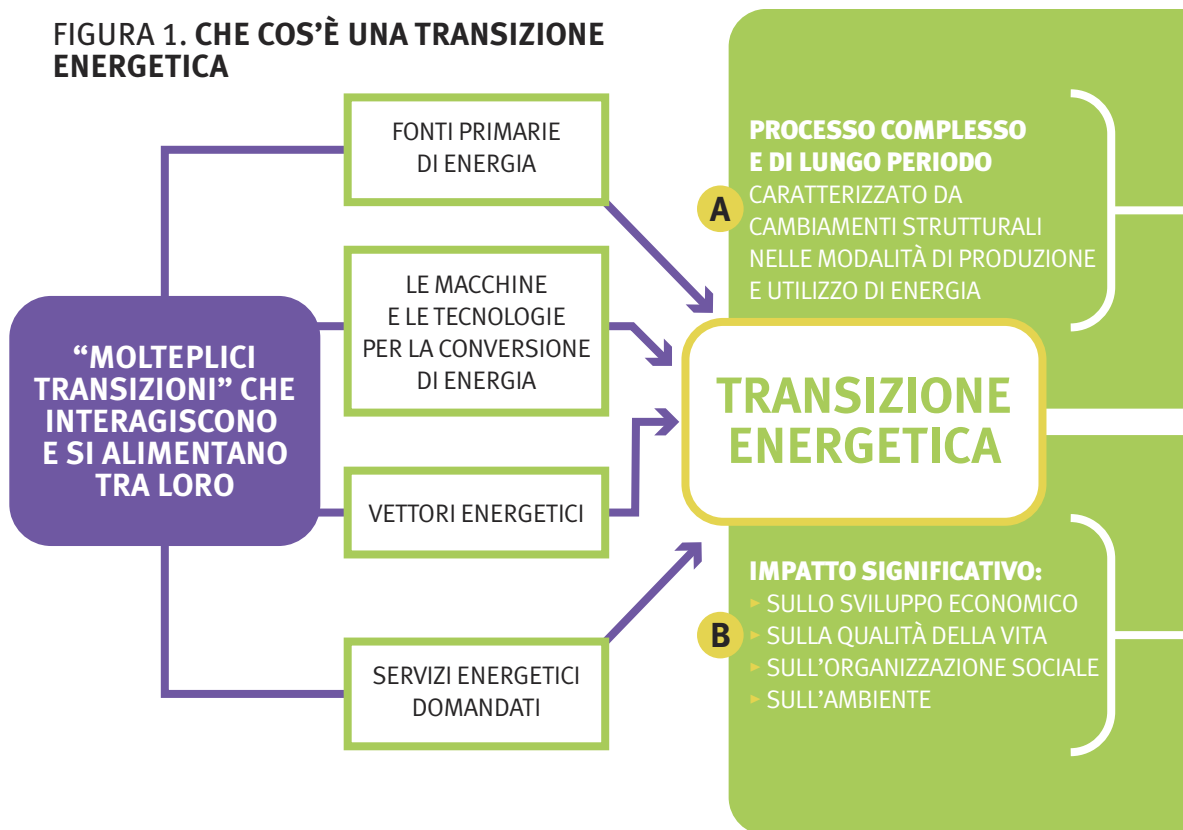
# La formula del nuovo paradigma

**L'evoluzione dei sistemi di produzione energetica verso modelli sostenibili implica progressi paralleli in termini di fonti e tecnologie. Un processo lento ma inesorabile**

**C**he cos'è una transizione energetica e quali elementi la caratterizzano? È importante partire approfondendo questo tema, poiché ci consente di conoscere meccanismi, nessi logici e vincoli tecnologici o di altro tipo che governano il processo di cambiamento del sistema energetico e ne determinano direzione e velocità. La transizione energetica è un processo che accompagna la storia dell'uomo fin dalla sua nascita e ha consentito lo sviluppo e il progresso della civiltà umana. Per comprenderne il significato definiamo gli elementi che la caratterizzano (vedi figura 1 a pag. 8).

La prima caratteristica è di essere (almeno finora) un processo complesso e di lungo periodo, un processo che comporta cambiamenti strutturali nelle modalità di produzione e utilizzo di energia da parte dell'uomo, modalità spesso indicate con il termine di “paradigma energetico”.

**FIGURA 1. CHE COS'È UNA TRANSIZIONE ENERGETICA**



La seconda riguarda l’impatto significativo della transizione energetica sullo sviluppo economico, sulla qualità della vita dell’uomo, sull’organizzazione sociale e sull’ambiente. Per questo motivo, nei paesi non ancora toccati in modo pervasivo dall’ultima transizione energetica – innescata dalla prima rivoluzione industriale, come vedremo in un prossimo capitolo – e in cui ampie fasce di società non hanno accesso a fonti moderne di energia, i benefici sociali di una sua diffusione sono potenzialmente enormi. In questi paesi, ad esempio, il semplice passaggio da una candela all’energia elettrica consentirebbe alla popolazione giovane di studiare in condizioni ottimali e di poter contribuire così al progresso del paese, affrancando non solo se stessi dal

fenomeno della povertà. Infine, non dobbiamo pensare alla transizione energetica come a un processo monolitico, associato alla sola applicazione di una nuova tecnologia o alla sola diffusione di una nuova fonte energetica. Alla base di ogni transizione energetica vi sono “molteplici transizioni” che interagiscono e si alimentano tra loro e che riguardano più di una delle principali componenti di un sistema energetico:

- 1.** le fonti primarie di energia (che si trovano in natura, come il carbone, il petrolio e il gas naturale);
- 2.** le macchine e le tecnologie per la conversione di energia (ad esempio: motori elettrici, motori a scoppio, turbine);
- 3.** i vettori energetici (ovvero le forme di energia



© GETTY IMAGES

che – come l'elettricità, la benzina o l'idrogeno – sono originate dalla trasformazione di fonti primarie);

**4.** i servizi energetici domandati (ad esempio: riscaldamento, raffrescamento, e più recentemente mobilità sostenibile).

A questo punto, assumendo che un sistema di produzione e consumo di energia segua – nella sua fase di crescita – una determinata direzione, un modello o paradigma energetico stabile e consolidato, che cosa può determinare un cambiamento di percorso, avviando una nuova fase di transizione? La transizione (o meglio le “moltiplici transizioni”) può essere innescata da numerosi meccanismi di guida, ovvero da numerose variabili il cui cambiamento è in grado

di far evolvere il sistema energetico in una direzione piuttosto che in un'altra, più o meno velocemente, raggiungendo gradualmente un nuovo paradigma energetico. Per semplicità abbiamo raggruppato i meccanismi di guida in quattro grandi macro-categorie (figura 2 a pag. 11):

- 1.** la disponibilità e competitività di nuove fonti primarie o vettori di energia;
- 2.** la disponibilità e competitività di nuove macchine per la conversione di energia (motori primi o forze motrici primarie);
- 3.** l'adozione di nuove politiche energetiche e ambientali;
- 4.** il cambiamento del livello e della tipologia di servizi energetici domandati dal consumatore.









Tutti i meccanismi di guida fanno leva sulla competitività delle fonti di energia e delle tecnologie, una competitività, fate attenzione, intesa nel senso più ampio, misurata su più dimensioni: competitività di prezzo, di qualità dei servizi forniti e ambientale. Le ultime due forme di competitività sono generalmente premiate dal quadro normativo di riferimento o dalle preferenze del consumatore.

Il tema della competitività come leva principale della transizione è importante. Infatti, ci fa capire come ricerca e sviluppo tecnologico siano centrali in questo processo, poiché hanno avuto – e avranno sempre più – un ruolo fondamentale nel determinare il livello di tutti i tipi di competitività delle fonti di energia e delle forze motrici. Tra l’altro, questo significa che – grazie al progresso tecnologico – nulla può essere dato per scontato: soluzioni messe da parte o considerate obsolete potrebbero acquisire (o riacquisire) competitività e rientrare in gioco, così come potrebbero entrare in gioco soluzioni attualmente impensabili. I meccanismi di guida della transizione, abbiamo visto, trasmettono al sistema energetico, con diversa

intensità ed efficacia, la direzione da seguire, esattamente come il sistema di sterzo di una macchina trasmette alle ruote la volontà del guidatore di raggiungere una destinazione. Ma, a sua volta, cosa influenza il guidatore nella sua decisione di raggiungere un nuovo obiettivo girando il volante? Cosa spinge il sistema a rendere disponibili nuove fonti e tecnologie e a modificare norme o preferenze? Sono i megatrend, ovvero le grandi forze di cambiamento che modellano l’intera organizzazione sociale e il sistema di produzione. Ma di questo tema, che merita un ampio approfondimento, parleremo in uno dei prossimi capitoli.

Per concludere, in questa prima parte abbiamo visto quali siano le caratteristiche principali e i meccanismi di guida di una transizione energetica. Abbiamo visto che è un processo complesso, probabilmente non semplice da comprendere in astratto. Per questo motivo, per dare concretezza alle definizioni, nel prossimo capitolo esamineremo le principali transizioni energetiche “epocali” del passato, portando esempi storici di come si siano realizzate ed evolute.

# Le rivoluzioni del passato

**Dalla scoperta del fuoco alla prima rivoluzione industriale. Un excursus attraverso i quattro passaggi energetici epocali che hanno segnato la storia dell'umanità**

**N**el precedente capitolo abbiamo visto quali siano le caratteristiche principali di una transizione energetica. Ora, per dare concretezza alle definizioni, esaminiamo le principali transizioni energetiche “epocali” del passato. Individuare le fasi di transizione energetica che hanno accompagnato la storia dell'uomo è una operazione che rischia di basarsi su valutazioni soggettive: il processo è continuo e si manifesta in fasi successive e i suoi limiti temporali non sempre sono facili da individuare. Per questo motivo ci affidiamo alla classificazione utilizzata da un noto studioso della storia dell'energia, Vaclav Smil, che ha identificato quattro transizioni energetiche epocali del passato (vedi figura 3 a pag. 14).

La prima ha come protagonista l'uomo primitivo. A quel tempo i nostri antenati facevano affidamento solo sulla propria energia somatica (ovvero sulla conversione del cibo in forza muscolare) per raccogliere alimenti vegetali o uccidere animali. In questo modo si rifornivano dell'energia necessaria per mantenersi in vita e



svolgere i compiti quotidiani. La forza motrice primaria (il motore primario) era rappresentata dall'uomo stesso e dai suoi muscoli, mentre la fonte di energia primaria erano le biomasse, alla base della catena alimentare dei cibi di cui si nutriva.

Quando l'uomo primitivo imparò a controllare il fuoco – evento databile a circa 800.000 anni fa – ebbe luogo la prima transizione energetica. Questa scoperta, infatti, fornì la prima fonte di calore extra-somatica rendendo più appetibile il cibo e più sicure e calde le notti. Il combustibile era comunque costituito da biomasse, che per



© MATHEW SCHWARTZ-UNSPLASH

lungo tempo continuarono a essere l'unica fonte primaria d'energia del sistema.

La seconda transizione energetica epocale si ebbe quando l'uomo primitivo si trasformò da cacciatore e raccoglitore in allevatore e coltivatore. Quel periodo storico è identificato con il nome di "Rivoluzione agricola del neolitico" ed ebbe luogo presumibilmente nel periodo che va dal 12.000 – 8.000 a.C. (alla fine dell'ultimo periodo glaciale) fino al 3.500 a.C. circa. Da una situazione di nomadismo l'uomo passò progressivamente a una situazione di agricoltura sedentaria che forniva una fonte di energia alimentare di gran

lunga più affidabile e costante rispetto alla pratica tipica del nomadismo di "depredamento" dell'ecosistema naturale e successivo cambiamento di zona. A sua volta, un approvvigionamento alimentare-energetico più sicuro consentì la domesticazione e l'utilizzo sistematico nel lavoro di varie specie animali. La rivoluzione agricola del neolitico, nella pratica, potremmo dire sia stata la prima azione di ricerca della "sicurezza energetica" da parte dell'uomo.

L'uomo, quindi, iniziò ad allevare animali e a utilizzarli nel lavoro agricolo, nella costruzione di edifici, nei trasporti e nelle guerre. In termini

# Figura 3. Le principali transizioni energetiche epocali del passato

PREISTORIA

ETÀ ANTICA - MEDIOEVO - ETÀ MODERNA

1<sup>a</sup>

2<sup>a</sup>

3<sup>a</sup>

ENERGIA PRIMARIA PREVALENTE

► BIOMASSE  
[CIBO]

► BIOMASSE  
[CIBO + LEGNA]

► BIOMASSE  
[CIBO + LEGNA  
+ FORAGGIO]

► BIOMASSE  
[CIBO + LEGNA + FORAGGIO]  
► VENTO  
► ACQUA

ENERGIA  
SECONDARIA  
PREVALENTE

► CARBONE VEGETALE

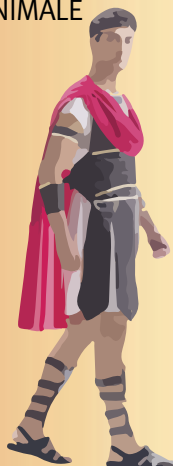
MOTORE PRIMARIO PREVALENTE

► UOMO

► UOMO

► UOMO  
► ANIMALE

► UOMO  
► ANIMALE  
► RUOTE  
E TURBINE  
IDRAULICHE  
► MULINI A VENTO





ETÀ CONTEMPORANEA

FUTURO

4<sup>a</sup>

5<sup>a</sup>

- ▶ FONTI FOSSILI [CARBONE E IDROCARBURI]
- ▶ NUCLEARE

- ▶ ELETTRICITÀ
- ▶ PRODOTTI PETROLIFERI

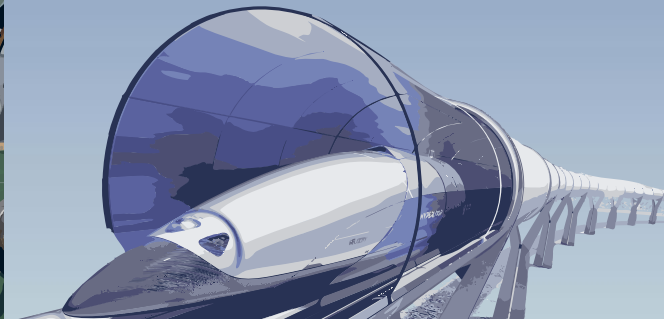
- ▶ MOTORE A COMBUSTIONE INTERNA
- ▶ TURBINE A VAPORE
- ▶ TURBOGAS
- ▶ MOTORE ELETTRICO

È IN ATTO UNA NUOVA TRANSIZIONE ENERGETICA?

QUALI SONO I MEGA-TREND CHE LA GUIDANO?

QUANDO SARÀ COMPLETATA?

QUALE ENERGIA E MOTORI PRIMARI UTILizzerEMO?





© IPA



© GETTY

## 1 IL DOMINIO DEL FUOCO

Circa un milione di anni fa, l'*Homo erectus* era in grado di controllare il fuoco: lo testimoniano i reperti rinvenuti nel 2012 nella grotta di Wonderwerk, in Sudafrica.

## 2 LA RIVOLUZIONE AGRICOLA

Durante il neolitico, l'uomo comincia a sfruttare la forza degli animali. Nella foto, pittura rupestre raffigurante delle mucche, Laas Geel, Somalia.

di capacità di lavoro, l'animale era in grado di superare gli uomini più energici e laboriosi. Buoi, cavalli, muli e asini (ma anche cammelli ed elefanti) sono rimasti i nostri motori primari per tutto il corso della storia, scomparendo dalla scena del lavoro – in buona parte ma non del tutto – solo dopo l'inizio dell'industrializzazione moderna.

La terza transizione energetica epocale fu un processo lungo e a macchia di leopardo, che vide l'introduzione di nuovi tipi di motori primari – questa volta di natura meccanica – azionati dall'acqua e dal vento. Le prime piccole ruote a pale mosse dall'acqua furono introdotte in Europa nell'età antica e i primi mulini a vento arrivarono circa 1.000 anni dopo. L'aumento di capacità ed efficienza di queste macchine fu lento, ma alcuni paesi europei, agli albori dell'era moderna, ne disponevano ormai in gran quantità: i mulini a vento contribuirono alla prosperità dell'Olanda durante l'età moderna

e, nei secoli XVIII e XIX, erano numerosissimi e sempre più potenti anche nelle zone montuose di Francia e Germania.

La quarta transizione energetica epocale – quella che ha portato al paradigma energetico attuale – è un processo ben più complesso dei precedenti, i cui elementi costitutivi sono la sostituzione in tempi relativamente rapidi della biomassa come fonte di energia con le fonti fossili (carbone, petrolio e gas naturale), l'introduzione dell'elettricità come moderno vettore energetico e l'invenzione e diffusione di macchine (motori primari) molto più potenti.

La quarta rivoluzione energetica fu innescata – e resa possibile – dalla prima rivoluzione industriale: fu questo il processo che spinse alla ricerca e sviluppo di motori potenti alimentati da fonti di energia facilmente reperibili e disponibili in ampia quantità. Lo scopo era di aumentare la produttività della forza lavoro e di soddisfare una domanda di beni in crescita



© SIME

### 3 I MOTORI MECCANICI

La terza transizione energetica vide l'utilizzo dei primi motori primari di natura meccanica fino al XVII secolo. Nella foto, un mulino ad acqua, 1200 circa, Lower Slaughter, Inghilterra.



© GETTY

### 4 LE FONTI FOSSILI

La rivoluzione industriale indirizza la ricerca verso motori più potenti che impiegheranno energia di origine fossile. Nella foto, Edwin Drake, il primo pozzo di petrolio, 1859.

continua. Il primo combustibile fossile in grado di rispondere a queste esigenze fu il carbone estratto dal sottosuolo. Al carbone seguirono – alla fine del diciannovesimo secolo – i combustibili liquidi ottenuti per raffinazione del petrolio greggio e successivamente il gas naturale.

Notevoli furono anche le novità introdotte nel settore dei motori primari. Nel XVIII secolo i motori a vapore furono i primi a essere alimentati a combustibile fossile, ovvero il carbone che generava il vapore. Ad essi seguirono i motori a combustione interna alimentati da prodotti petroliferi come benzina, gasolio o olio combustibile (scoperti e sviluppati nella seconda metà del XIX secolo) e le turbine a vapore (sviluppatate negli anni Ottanta del XIX secolo). Anche i motori elettrici furono introdotti verso la fine dello stesso decennio.

Tra le grandi innovazioni del XX secolo vi sono poi l'energia nucleare e la turbina a gas (turbo-

reattore), una tecnologia ampiamente impiegata nella generazione elettrica e nel trasporto aereo. A parte queste ultime eccezioni, i principali combustibili e i vari tipi di macchine ancora oggi in uso sono gli stessi da oltre un secolo, sebbene l'entità del loro utilizzo, la loro capacità produttiva unitaria e la loro efficienza siano aumentate considerevolmente rispetto agli inizi. La quarta transizione energetica ci ha dunque portati nell'età contemporanea e, giunti a questo punto, può sorgere spontanea una domanda: ma qual è di preciso il mix energetico attuale? Qual è il paradigma da cui la nuova transizione energetica – la quinta – ci dovrebbe far uscire per andare alla ricerca della sostenibilità del modello di consumo e di soluzioni per combattere riscaldamento globale e cambiamento climatico? Se avrete la pazienza di seguirci, sono questi gli argomenti che affronteremo nel prossimo capitolo.





# Alla vigilia di una nuova era

**La maggior parte del fabbisogno energetico mondiale è ancora soddisfatto da fonti tradizionali ma ci sono alcuni indizi che fanno presagire un cambiamento di rotta**

**A**lla fine del precedente capitolo ci siamo lasciati con la domanda di quale sia il mix di fonti che caratterizza l'attuale paradigma energetico da cui ci stiamo muovendo.

Nella figura 4 a pag. 20 sono riportati i consumi

mondiali primari di energia dal 1830 al 2017. Se la si analizza con attenzione ci racconta molte cose. La prima osservazione è che l'ultima transizione energetica – la quarta – è stata caratterizzata da una crescita esponenziale della





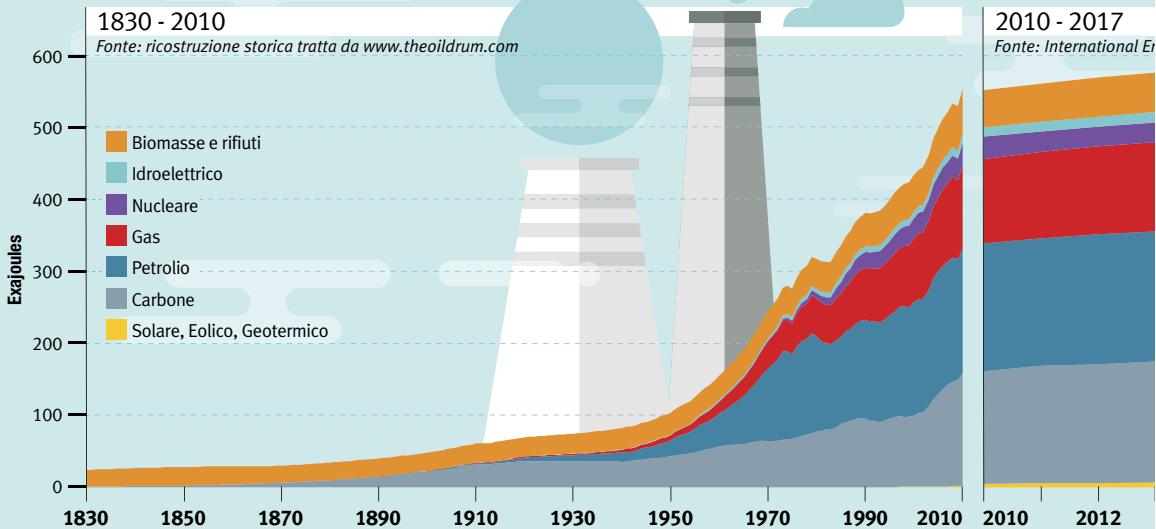
© HANNY NAIBAO-UNSPLASH

domanda di energia, una crescita alimentata sia dal rapido e intenso (rispetto al passato) progresso economico che dallo sviluppo della popolazione. Il nesso causale ha operato in entrambe le direzioni, ovvero anche l'ampia disponibilità di energia ha permesso di raggiungere in molte aree del Mondo un livello di benessere e di reddito elevati e diffusi come mai successo in precedenza.

A sua volta, l'ampia disponibilità di energia deriva dalla crescente offerta di fonti fossili (carbone, petrolio e gas naturale) resa possibile dal progresso tecnologico e da conoscenze scientifiche sempre maggiori.

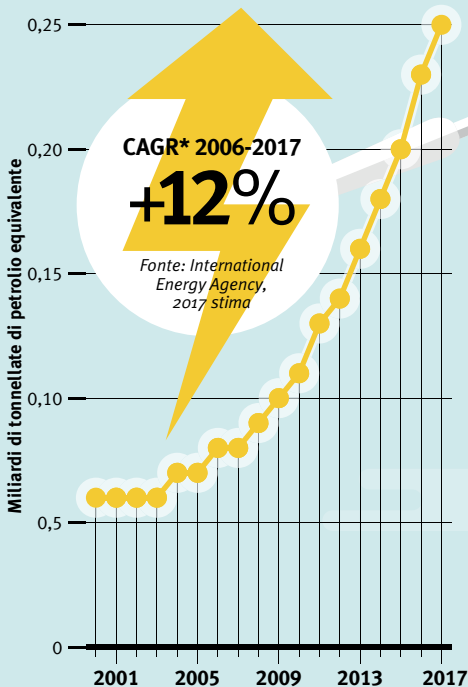
La seconda osservazione è che le diverse fonti fossili si sono sviluppate in fasi successive. La prima a diffondersi è stato il carbone, seguono il petrolio e il gas naturale. Infine – ma non è una fonte fossile – a partire da metà del XX secolo è apparsa sul mercato una nuova forma di energia: il nucleare. La terza osservazione è che gli attuali consumi mondiali di energia sono costituiti prevalentemente proprio da petrolio, gas naturale e carbone, che – congiuntamente – raggiungono una quota sul totale pari a circa l'80 per cento. Per questo motivo l'attuale paradigma energetico è detto anche “era delle fonti fossili”.

**FIGURA 4. CONSUMI PRIMARI MONDIALI DI ENERGIA**



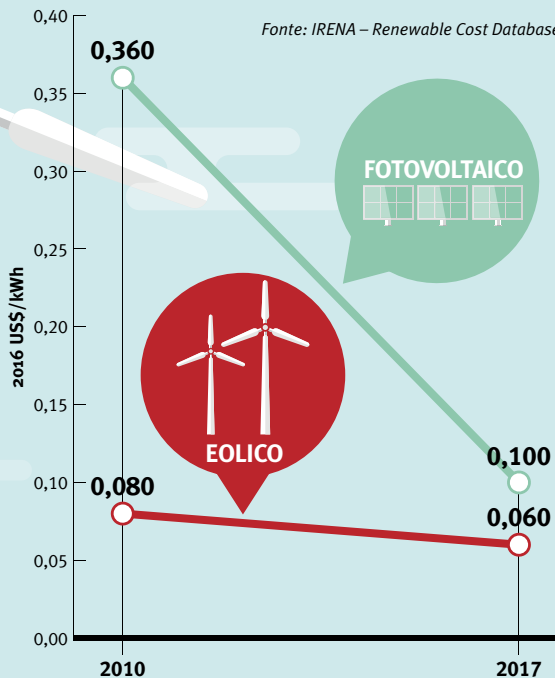
**FIGURA 5. CONSUMI PRIMARI DELLE NUOVE FONTI RINNOVABILI**  
(Solare, Eolico, Geotermico)

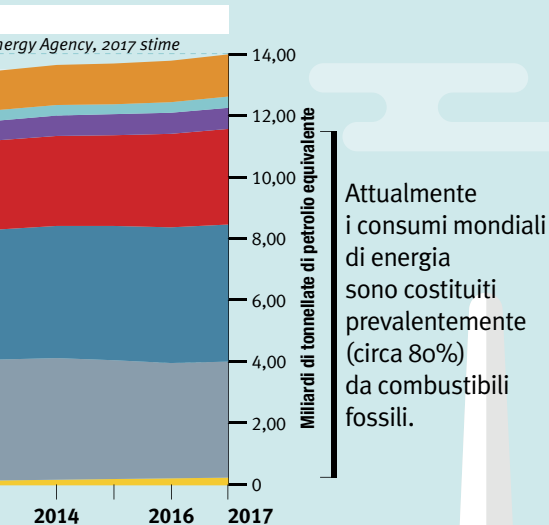
\*Crescita percentuale media annua



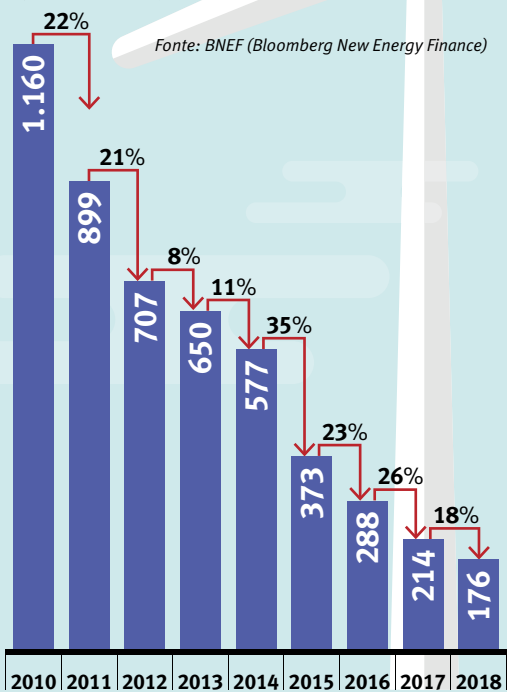
**FIGURA 6. EVOLUZIONE DEL COSTO DI GENERAZIONE DEL kWh DA IMPIANTI FOTOVOLTAICI ED EOLICI "UTILITY SCALE"**  
(media mondiale ponderata)

Fonte: IRENA - Renewable Cost Database





**FIGURA 7. EVOLUZIONE DEL PREZZO DELLE BATTERIE AL LITIO (2018 \$/KWh)**



L'ultima osservazione è che da questo grafico non sembrerebbero emergere indizi di una nuova transizione energetica, non sembra vi sia un cambiamento rispetto alle dinamiche del passato e che nuove fonti si stiano affermando in sostituzione di quelle esistenti.

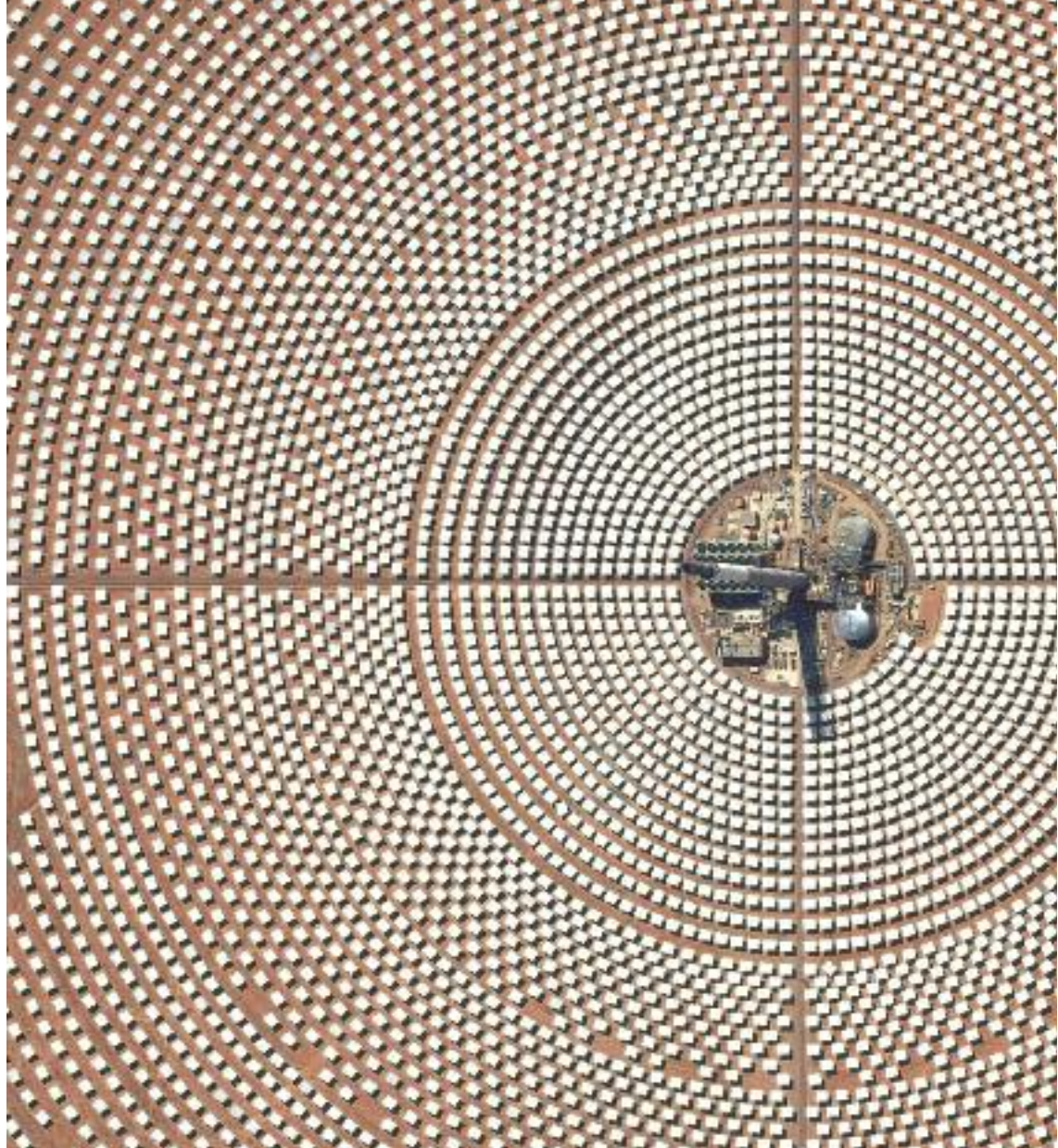
Ma se fate attenzione, in basso a destra si nota una parte di rinnovabili (costituita prevalentemente da eolico e solare) che, seppure di volume ridotto, sembra essere in una fase di forte sviluppo: questo dettaglio è considerato da alcuni esperti il segnale iniziale di una trasformazione in atto.

Esplodendo questa parte del grafico (figura 5), si vede che negli ultimi anni queste fonti sono cresciute a tassi elevati (in media +12 per cento l'anno nel 2006 – 2017) assumendo il tipico andamento di una crescita "esponenziale". Tale andamento sarebbe il segnale di una loro rapida e continua espansione in grado di sostituire nei prossimi anni quantità significative di combustibili fossili. A questo proposito si può osservare che gli elevati incrementi percentuali registrati sono caratteristici della fase iniziale di sviluppo di una fonte di energia, quando i quantitativi in gioco sono molto bassi rispetto al fabbisogno totale. In futuro, probabilmente, man mano che cresce la base di partenza sarà difficile mantenere questi incrementi percentuali e occorrerà tempo prima che le nuove fonti rinnovabili raggiungano quote di mercato elevate. Su questo importante punto di discussione torneremo con maggiore dettaglio in uno dei prossimi capitoli.

Tornando al nostro tema, altri indizi di mutamento del paradigma energetico sono visibili, forniti dall'osservazione dei principali meccanismi di guida delle transizioni energetiche illustrati nel primo capitolo.

Il primo è il costo. Come si può vedere dal grafico della figura 6, nel periodo 2010 – 2017 il

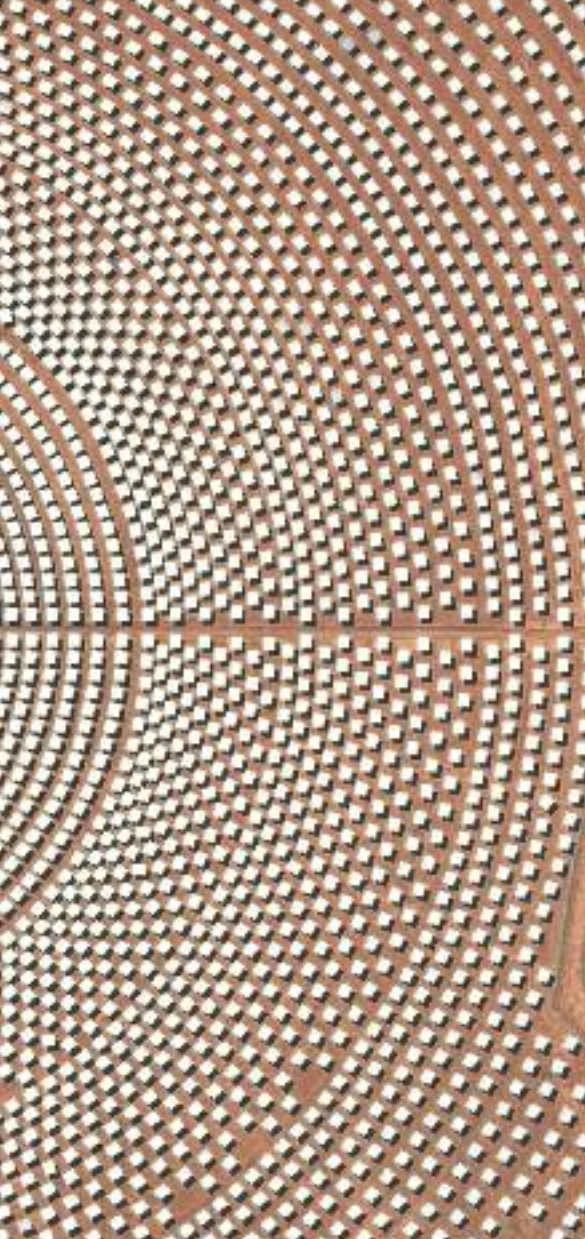




costo di generazione elettrica (media ponderata mondiale) da impianti di grande taglia (utility-scale) fotovoltaici ed eolici a terra (onshore, attualmente i più diffusi) è diminuito rispettivamente del 72 per cento (da 0,360 2016 \$/kWh a 0,100 2016 \$/kWh) e del 25 per cento (da 0,080 2016 \$/kWh a 0,060 2016 \$/kWh). Di conseguenza, la distanza dai prezzi che si formano sui mercati elettrici nazionali si è ridotta (per un confronto

di massima: in Europa, nel periodo giugno 2017 – giugno 2018 il prezzo medio è oscillato tra 0,035 €/kWh e 0,055 €/kWh; fonte: Platt's). Se questa dinamica di riduzione dei costi dovesse proseguire nei prossimi anni, secondo alcuni darebbe ulteriore supporto alla crescita esponenziale di fotovoltaico ed eolico. Alla riduzione del costo di generazione si è aggiunta una elevata riduzione dei costi delle bat-





© GETTY

terie al litio nel periodo 2010-2018 (figura 7 a pag. 21). La possibilità di avere uno stoccaggio energetico è uno dei fattori chiave per la diffusione di eolico e fotovoltaico, per loro natura fonti non programmabili, intermittenti e quindi difficili da integrare in un sistema elettrico che deve fornire energia in rete quando serve e deve mantenere costantemente stabile l'equilibrio di domanda e offerta. Lo stoccaggio energetico

permette di agire da backup di queste fonti non programmabili, assorbendo energia quando è in eccesso rispetto alla domanda e rilasciandola quando si verifica il caso contrario.

Il problema attuale dei sistemi di stoccaggio è il loro costo che, se aggiunto a quello della generazione, rende particolarmente elevato il costo complessivo delle rinnovabili. La riduzione del costo delle batterie dell'85 per cento è un risultato importante, ma non ancora sufficiente. Anche in questo caso, però, l'attesa di ulteriori progressi tecnologici alimenta in una parte degli esperti l'aspettativa di una rimozione definitiva dell'ostacolo.

Il terzo indizio è la crescente priorità nelle principali agende politiche nazionali e internazionali assunta dal tema dell'adozione di misure di contrasto al cambiamento climatico. Il quadro politico e normativo si sta già rivelando il principale motore della nuova transizione energetica e potrebbe esserlo sempre più in futuro.

Infine, il quarto indizio è legato alle preferenze dei consumatori: nei Paesi più ricchi – ma non solo – una maggiore coscienza sociale del problema del riscaldamento globale inizia ad essere uno dei principali parametri decisionali delle scelte energetiche di imprese e consumatori, spingendo all'adozione di soluzioni low carbon, ovvero all'utilizzo di tecnologie e fonti di energia che consentano una riduzione delle emissioni di gas serra.

A questo punto ci poniamo una nuova domanda: se esistono evidenze che i meccanismi di guida si stiano attivando per modificare la direzione dello sviluppo del sistema energetico, quali sono i mega-trend che guidano la loro azione, che individuano la nuova meta e definiscono le caratteristiche del nuovo paradigma energetico verso cui evolvere?

# All'origine della transizione energetica: i mega-trend

**Ad orientare lo sviluppo del sistema energetico sono le grandi forze di crescita e cambiamento che modificano e modellano l'intera organizzazione sociale e produttiva**

**N**ei precedenti capitoli abbiamo conosciuto e discusso i meccanismi di guida del sistema energetico. Ma è sufficiente la loro osservazione per capire dove ci stia portando la nuova transizione energetica e soprattutto in che modo e perché? La risposta è negativa: questi meccanismi, infatti, sono come lo sterzo e l'acceleratore di una macchina, in grado di indirizzare il veicolo verso la meta voluta alla velocità voluta ma solo se manovrati dal guidatore. Chi guida l'auto nel nostro caso? Chi decide meta e strada da percorrere, regolando la velocità? Alla base di tutto ci sono i mega-trend, ovvero le grandi forze di crescita e cambiamento che modificano e modellano l'intera organizzazione sociale e il sistema di produzione, e che orientano la coscienza col-







lettiva e le principali scelte di imprenditori, consumatori e decisori politici. Sono i mega-trend, in sostanza, che guidano la nuova transizione energetica e i suoi tempi agendo sui meccanismi di guida, poiché indirizzano:

- le decisioni politiche, inducendo il legislatore – ad esempio – a produrre norme e standard ambientali più o meno severi o a favorire o meno l'utilizzo di alcune fonti di energia;
- l'innovazione tecnologica, inducendo industria e ricerca a dare impulso o meno all'attività di sviluppo e commercializzazione di nuove tecnologie e fonti di energia aventi caratteristiche che rispondono a esigenze emergenti;
- le preferenze dei consumatori, rendendo le tecnologie e le fonti di energia disponibili sul mercato più o meno appetibili e competitive e modificando, in definitiva, sia la composizione della domanda che – conseguentemente – il mix dell'offerta.

Il risultato finale dell'azione di queste forze è il raggiungimento di un nuovo equilibrio, di un nuovo paradigma energetico che riflette in modo mediato i diversi obiettivi finali verso cui spingono i singoli mega-trend in azione.

Nella figura della pagina seguente sono riportati alcuni dei più importanti mega-trend (la lista non vuole essere ovviamente esaustiva) che orientano lo sviluppo del sistema energetico. Parte di essi sono “storici” – ovvero hanno guidato l'ultima transizione energetica – e continueranno in futuro ad esercitare la loro influenza. Altri, pur essendo più recenti, avranno comunque un notevole peso nel determinare percorso e punto di arrivo della transizione energetica in divenire.

**IL PRIMO MEGA-TREND** preso in esame è un fenomeno già citato quando abbiamo parlato della quarta (e per ora ultima) transizione ener-

1

PRIMA, SECONDA, TERZA E QUARTA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE:  
AUMENTO DEI VOLUMI E MODIFICA DELLE MODALITÀ DI PRODUZIONE  
E INTERAZIONE TRA MACCHINA E UOMO

2

SICUREZZA ENERGETICA

I mega-trend  
che guidano  
la transizione  
energetica

7

CRESCITA DELLA POPOLAZIONE MONDIALE

ANNI

1800

1900



**3**

**DIFFUSIONE DEL TRASPORTO DI MASSA**

**4**

**RIDUZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE  
(INQUINANTI LOCALI) NELLA PRODUZIONE  
E UTILIZZO DI FONTI DI ENERGIA**

**5**

**MITIGAZIONE DEL FENOMENO  
DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO**

**6**

**ACCESSO ALL'ENERGIA,  
SUSTAINABLE DEVELOPMENT  
GOALS**

**2000**

**2100**







getica epocale iniziata nel XVIII secolo: lo sviluppo industriale. In quell'occasione lo identifichiamo come il principale motore di quel processo. L'aumento dei volumi di beni e servizi prodotti e il cambiamento delle modalità di produzione per il mercato di massa innescati dalla prima, seconda e terza rivoluzione industriale hanno infatti impresso una chiara direzione al sistema energetico: ci hanno portato al paradigma attuale caratterizzato da un ampio utilizzo di carbone, petrolio e gas naturale, fonti di energia facilmente trasportate, stoccate e utilizzate per la produzione di lavoro, calore ed energia, ma soprattutto disponibili in quantità sufficienti a soddisfare un fabbisogno energetico che è cresciuto a ritmi esponenziali nel corso degli ultimi 150 anni. Poiché buona parte del mondo non ha ancora sperimentato uno sviluppo industriale diffuso, possiamo ritenere che il

mega-trend non abbia esaurito la sua funzione propulsiva e, continuando ad alimentare la crescita economica dei Paesi in via di sviluppo, innescerà a cascata un persistente aumento del fabbisogno mondiale di energia.

Alle prime tre rivoluzioni industriali, si sta oggi aggiungendo la quarta rivoluzione industriale, meglio conosciuta come rivoluzione della "digitalizzazione". Possiamo definirla – in estrema sintesi – come una nuova modalità di interazione tra macchine, uomo e dati resa possibile da una sempre più ampia disponibilità di informazioni digitali e dalla capacità di elaborarle, migliorando e in parte automatizzando molti processi gestionali e decisionali. Gli esperti ipotizzano che la quarta rivoluzione industriale avrà un impatto elevato anche sul processo di decarbonizzazione del sistema energetico (un altro mega-trend di cui parleremo in seguito) e



© AGF

più in generale sulla sostenibilità delle modalità di produzione di beni e servizi.

**IL SECONDO MEGA-TREND** è rappresentato dalla sicurezza energetica, ovvero la garanzia di avere a disposizione un flusso stabile e affidabile nel tempo di energia adeguato a sostenere la crescita della domanda e a garantire il livello di benessere raggiunto.

Questo mega-trend era già in azione all'epoca della seconda transizione energetica epocale più di diecimila anni fa, quando l'uomo primitivo si trasformò da cacciatore e raccogliitore in allevatore e coltivatore (la "Rivoluzione agricola del neolitico") proprio allo scopo di assicurarsi un rifornimento sicuro e affidabile delle principali risorse energetiche di allora (cibo e foraggio).

Nonostante siano passati migliaia di anni, questo mega-trend esercita il suo influsso

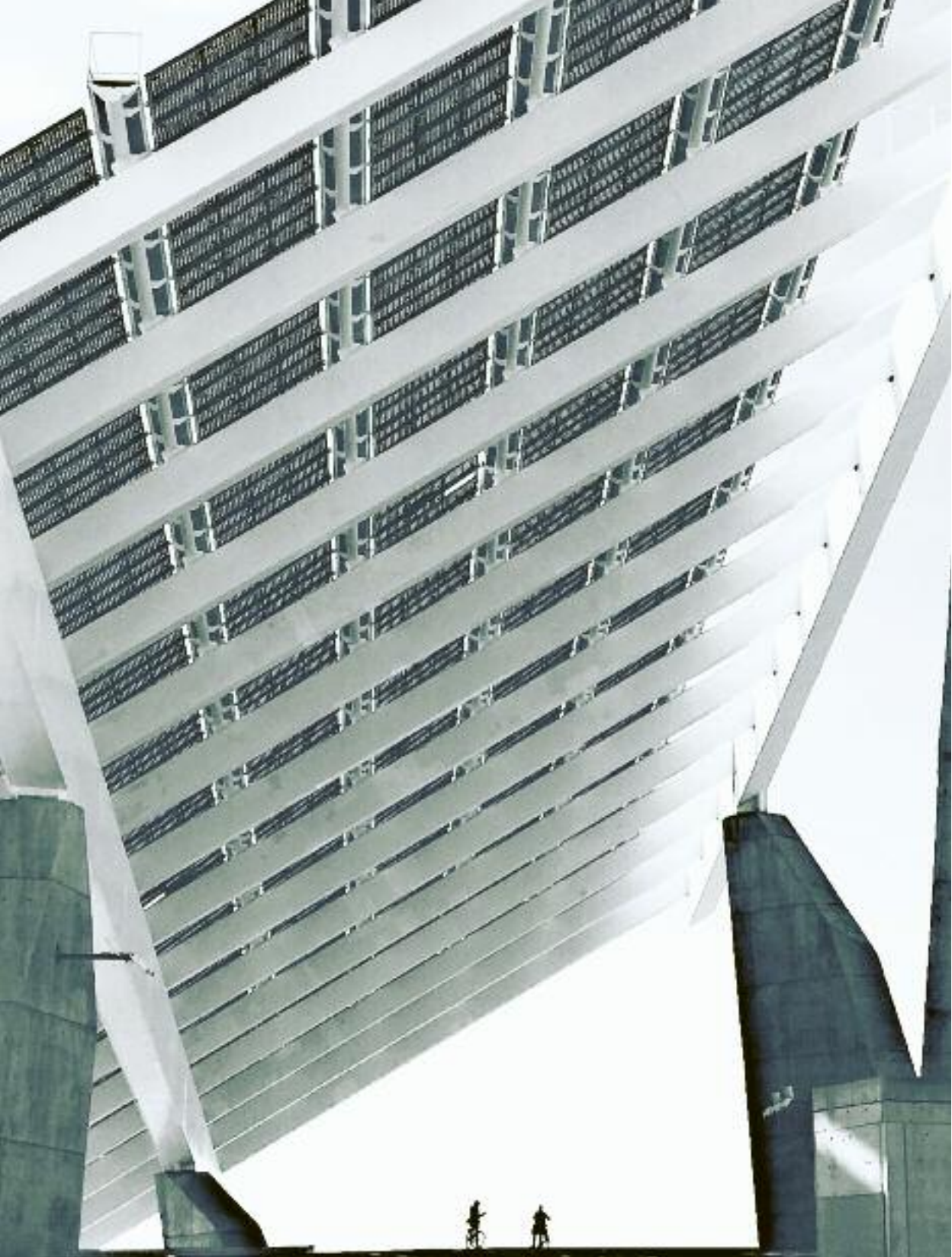
ancora oggi. Spesso, infatti, tra i motivi a sostegno di decisioni che favoriscono un più ampio utilizzo delle rinnovabili viene citata la maggior sicurezza energetica che garantiscono queste fonti di energia in quanto disponibili (quasi) ovunque, a differenza di petrolio e gas naturale che creano dipendenza da importazione nei paesi privi o scarsi di risorse nazionali.

**IL TERZO MEGA-TREND** è rappresentato dalla diffusione del trasporto di massa di persone e merci, un fenomeno che, come lo sviluppo industriale, è ancora estraneo a molti paesi e avrà nei prossimi anni un impatto elevato sul fabbisogno complessivo di energia del mondo, in particolare sulla richiesta di fonti che siano economiche e facilmente utilizzabili nel settore dei trasporti, date le tecnologie e le infrastrutture disponibili.

**IL QUARTO MEGA-TREND** è costituito dall'esigenza di ridurre le emissioni di inquinanti a impatto locale causate dalla produzione e dall'utilizzo delle fonti di energia. Questo importante mega-trend guida il sistema energetico già da molti decenni e – in particolare per i grandi impianti industriali o per i veicoli a motore – ha portato all'introduzione di standard emissivi sempre più severi e ha innescato importanti processi di innovazione tecnologica come quelli che hanno riguardato il settore dei trasporti (dai motori Euro 1 dei primi anni '90 agli attuali Euro 6).

Per completare lo scenario delle grandi tendenze che potranno guidare l'evoluzione del sistema energetico nel corso di questo secolo, rimangono da analizzare gli ultimi tre mega-trend: la mitigazione del fenomeno del cambiamento climatico (ovvero la riduzione delle emissioni di gas serra), l'accesso universale all'energia e la crescita della popolazione.









 SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

# Energia sostenibile per tutti, la sfida del secolo

**Tra i mega-trend che oggi guidano la transizione energetica, tre emergono per rilevanza e impatto: mitigazione del cambiamento climatico, accesso universale all'energia e crescita della popolazione mondiale**

**N**el capitolo precedente, abbiamo iniziato ad analizzare alcune delle grandi tendenze che potranno guidare l'evoluzione del sistema energetico nel corso dei prossimi anni. Per completare il quadro ci rimangono da analizzare **GLI ULTIMI TRE MEGA-TREND**, che rappresentano probabilmente le più importanti sfide del secolo per il mondo dell'energia.

Il primo dei tre è la mitigazione del fenomeno del cambiamento climatico. È uno dei megatrend più recenti, ma ha acquisito rapidamente importanza nelle agende dei decisori politici e notevole presa sulla pubblica opinione. Che cos'è il cambiamento climatico? Cambiamento climatico e riscaldamento globale sono termini usati per identificare due fenomeni semplici da descrivere ma la cui rappresentazione scientifica è molto complessa. Si tratta – in estrema sintesi – dell'ipotesi che alcune attività dell'uomo – in particolare, ma non solo, l'attuale modello di produzione e consumo di energia – siano la causa principale di un costante aumento della temperatura terrestre e mutamento del clima. La combustione delle fonti fossili di energia (carbone, petrolio e gas naturale) causa infatti l'emissione in atmosfera di anidride carbonica, uno dei gas definiti “gas ad effetto serra” o “gas serra”. Questi gas sono in grado di aumentare la capacità dell'atmosfera terrestre di trattenere l'energia ricevuta dal sole, innescando un aumento della temperatura e il cambiamento del clima. Se la crescita delle emissioni di gas serra continuasse in futuro agli stessi ritmi degli ultimi decenni, la comunità scientifica prevede che si possa innescare nel corso del secolo una variazione elevata della temperatura e del clima, dannosa per l'uomo e l'ambiente. Poiché buona parte della crescita dei gas serra presenti in atmosfera è dovuta alle emissioni di anidride car-



bonica generate dall'attuale sistema energetico, si comprende facilmente come il tema della mitigazione dei cambiamenti climatici sia strettamente connesso a quello della transizione verso un nuovo sistema in grado di fornire quantità crescenti di energia riducendo progressivamente – e infine azzerando – le emissioni di gas serra.

Sul fenomeno del cambiamento climatico c'è oggi grande attenzione sociale e politica e, sia a livello internazionale che nazionale, sono molte le iniziative volte a favorire azioni per



© ALTO CREW-UNSPLASH

contrastarlo. Una delle più importanti è la Convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (in inglese United Nations Framework Convention on Climate Change da cui l'acronimo UNFCCC), un trattato ambientale internazionale il cui scopo è la riduzione delle emissioni dei gas serra e che ha portato al noto accordo tra paesi preso in occasione della conferenza di Parigi a fine 2015.

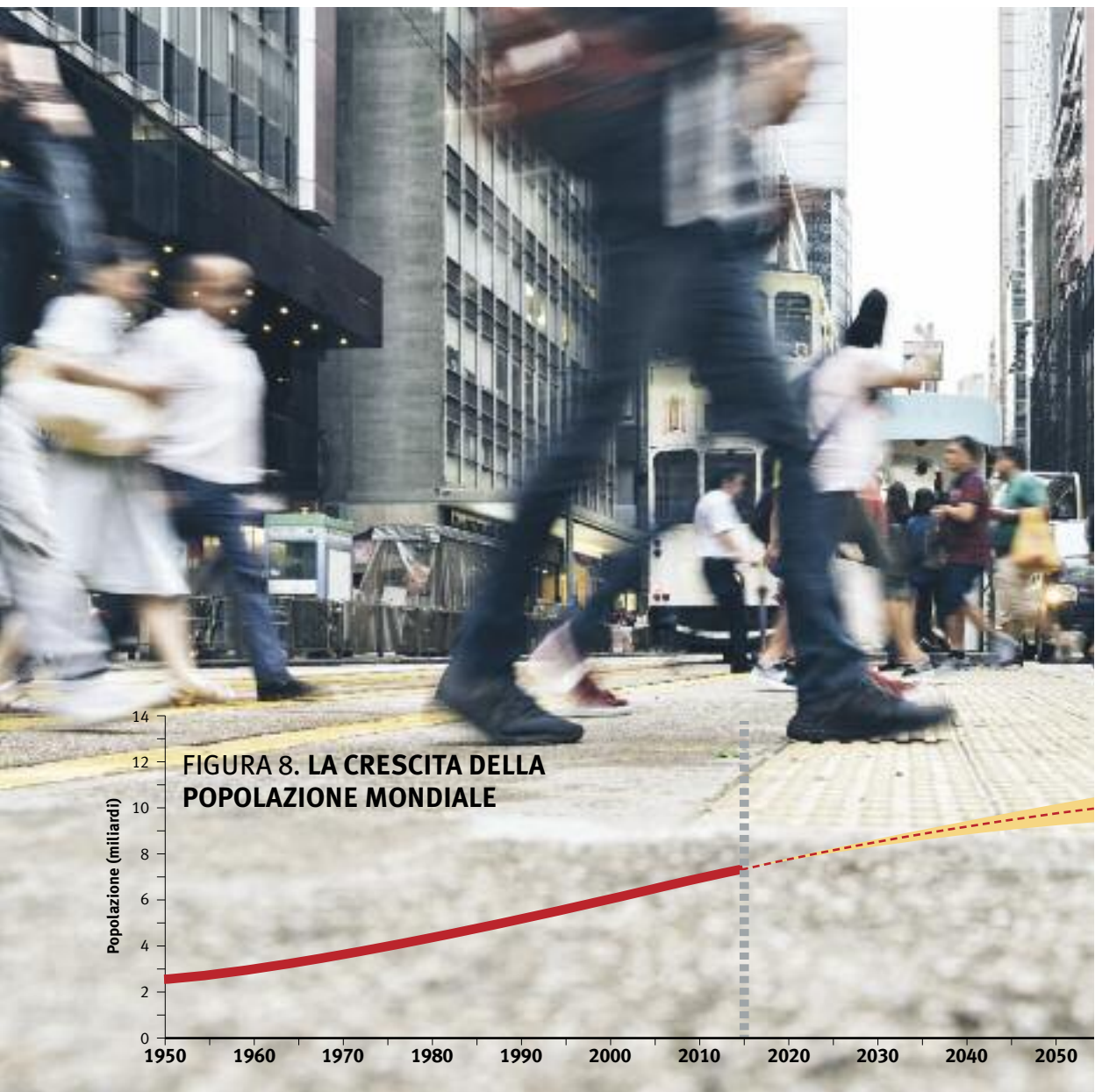
Un altro mega-trend che si può inserire a pieno titolo tra le principali sfide del secolo del settore energetico è l'accesso universale all'energia e

la lotta alla povertà energetica. Avere la possibilità di accedere a forme moderne di energia in quantità sufficiente non è solo un presupposto fondamentale per dare a tutti un'opportunità di crescita economica e sviluppo sociale, ma è spesso una questione di sopravvivenza.

La povertà energetica affligge ancora oggi larga parte della popolazione mondiale: l'International Energy Agency stima che circa 1,1 miliardi di persone non abbiano ancora oggi accesso all'energia elettrica e che circa 2,8 miliardi – il 38% della popolazione mondiale e quasi il 50% della popolazione dei paesi in via di sviluppo – non abbiano accesso a forme di “clean cooking”. In sostanza, utilizzano biomasse come legno e carbonella per cucinare il cibo in stufe non idonee a essere impiegate in spazi chiusi e non ventilati. L'Organizzazione Mondiale della Sanità stima che nel solo 2016 circa 3,8 milioni di morti premature siano dovute a questa pratica. Garantire alle popolazioni più povere del mondo l'accesso a fonti moderne di energia è dunque un tema di grande rilevanza, tanto che le Nazioni Unite lo hanno inserito – assieme alla lotta al cambiamento climatico – tra i 17 obiettivi dell'Agenda 2030 per uno sviluppo sostenibile. Questi obiettivi sono meglio conosciuti come i “Sustainable Development Goals” e il loro scopo è di porre fine alla povertà, ridurre l'ineguaglianza e favorire lo sviluppo sociale ed economico a livello mondiale.

Giunti a questo punto, per completare lo scenario delle forze che congiuntamente modelleranno il futuro sistema energetico non è possibile non citare la crescita della popolazione mondiale, un fenomeno sottostante a tutti i mega-trend finora evidenziati e che acuisce il loro impatto e la loro spinta al cambiamento. In effetti, tutte le forze in azione finora elencate sarebbero sufficienti a innescare una nuova transizione





energetica anche in assenza di un incremento della popolazione mondiale. Già oggi l'eliminazione delle ineguaglianze esistenti nelle condizioni di vita delle popolazioni richiederebbe una crescita globale sia dell'economia che della disponibilità di energia; una crescita che – per

essere equa e sostenibile – dovrebbe essere compatibile con gli obiettivi ambientali, climatici e sociali.

Ma se a tutto ciò si aggiunge nuova popolazione cui dare l'opportunità di raggiungere un livello minimo di qualità della vita, la spinta si intensifica



© GETTY

e, in parallelo, diventa ancor più sfidante la ricerca di un nuovo modello energetico che concili e risponda a tutte le esigenze. Per avere un'idea della dimensione della crescita attesa della popolazione e del suo potenziale impatto diamo uno sguardo alle più recenti previsioni delle

Nazioni Unite per il secolo corrente. Come si vede dalla figura 8, nel caso intermedio – quello che ha maggiori probabilità – dagli attuali 7 miliardi di persone (o poco più) si passa nel 2050 a circa 10 miliardi di persone e a 11,2 miliardi nel 2100.

In conclusione, esistono numerosi mega-trend che guidano la transizione energetica. Ognuno di questi, però, la guida in una direzione che può rivelarsi contrapposta a quella degli altri. Ad esempio, alcuni danno impulso a una crescita della domanda di energia che – in assenza di un nuovo modello di produzione e consumo – continuerà a causare maggiori emissioni di gas serra, entrando in conflitto con gli obiettivi di altri mega-trend.

La prossima transizione ha dunque il difficile compito di portarci verso un sistema energetico in grado di rispondere a tutte le esigenze, risolvendo i problemi di conflitto. Il “concept” che orienta questa evoluzione è relativamente semplice e può riassumersi in una frase sintetica ma efficace: energia sostenibile per tutti. Ma quali scelte e quali strumenti consentiranno di tradurlo in pratica? Conosciamo, infatti, le esigenze a cui dare una risposta, ma rimangono ancora incerti i tempi e le tappe del complesso percorso di transizione verso la meta. Purtroppo non sembra esserci un'unica soluzione o facili scorciatoie se vogliamo dare una risposta globale e raggiungere tutti gli obiettivi, non solo alcuni di essi. Sarà necessario fare leva su un ampio mix di strumenti e puntare anche sulle nuove tecnologie che si renderanno disponibili nei prossimi anni. Questa ultima riflessione ci introduce a una delle questioni più discusse: quali saranno i tempi della nuova transizione energetica e cosa insegna la storia del passato?

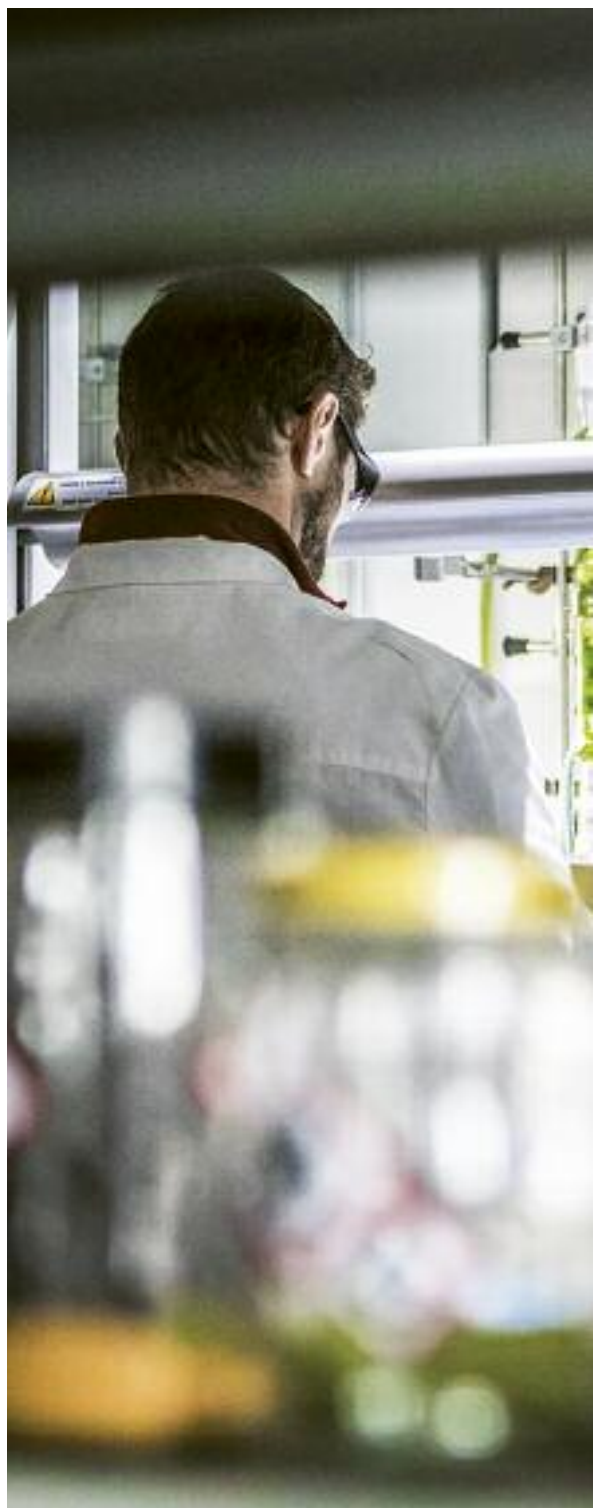
# L'incertezza sui tempi della transizione

**Storicamente, ogni nuova fonte energetica che si è aggiunta alle precedenti ha impiegato decenni per accrescere la propria quota di mercato. Saranno in grado le rinnovabili di smentire le leggi del passato?**

**A**l termine del capitolo precedente ci siamo posti alcune domande sui tempi del complesso percorso che ci porterà a un nuovo paradigma energetico. Questo è uno dei temi principali su cui si concentra la discussione e che iniziamo ad affrontare.

Per capire il futuro è sempre utile trarre insegnamento dal passato e, per osservare quanto successo nella quarta transizione, quella degli ultimi centocinquanta anni che ci ha portato all'attuale paradigma energetico, partiamo da una analisi molto interessante proposta da Vaclav Smil in una delle sue pubblicazioni.

La sintesi dello studio è rappresentata dai

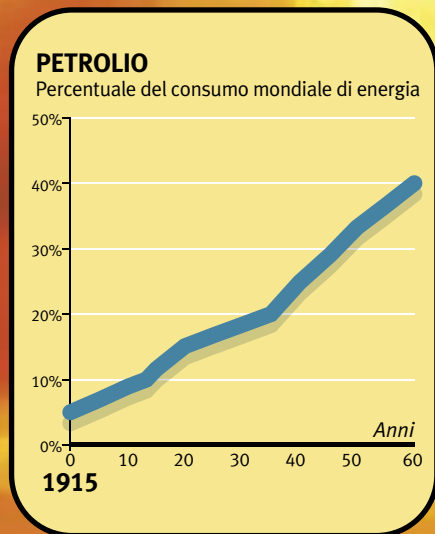
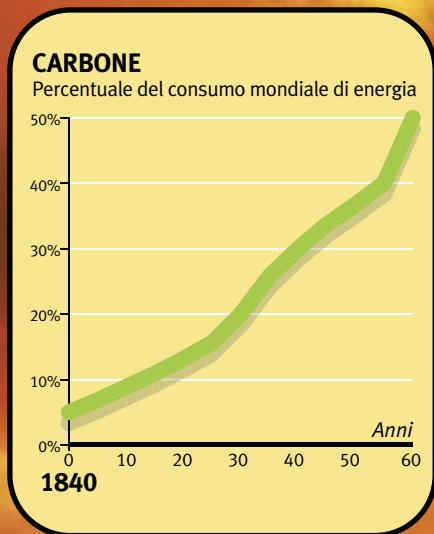






## FIGURA 9. LA DIFFUSIONE DI UNA NUOVA FONTE DI ENERGIA HA SEMPRE RICHIESTO MOLTO TEMPO (ALMENO FINORA)

L'asse orizzontale riporta gli anni successivi a quello in cui la fonte ha raggiunto la quota del 5% dei consumi mondiali di energia escluse le rinnovabili moderne che nel 2017 sono pari solo al 3%.



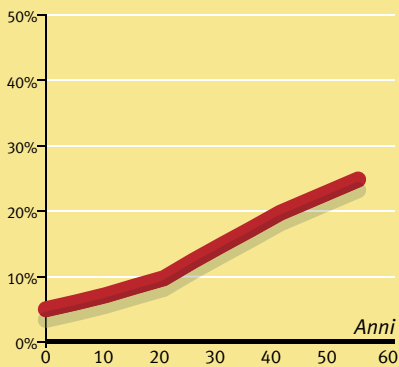
Fonte: Per carbone, petrolio e gas naturale dati da Vaclav Smil, "The Long Slow Rise of Solar and Wind", Scientific American, 2014; per rinnovabili moderne il dato 2017 è stima di International Energy Agency

grafici che vedete nella figura 9. I grafici sono quattro: uno per il carbone, uno per il petrolio, uno per il gas naturale e uno per le fonti moderne di energia rinnovabile (eolico, solare, geotermico e bioenergie sostenibili). Carbone,

petrolio e gas naturale sono le principali fonti di energia su cui si è basata l'ultima transizione energetica. In questo ordine e in tempi successivi hanno raggiunto la maturità commerciale e sono arrivate al mercato dell'energia mondiale

## GAS NATURALE

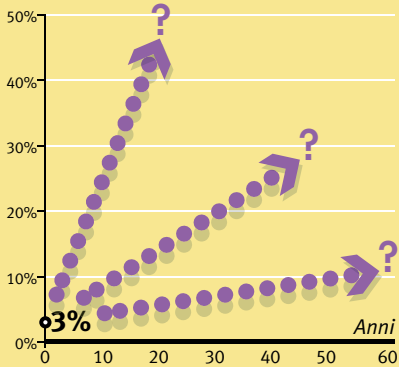
Percentuale del consumo mondiale di energia



1930

## RINNOVABILI MODERNE\*

Percentuale del consumo mondiale di energia



2017 [\*] Solare, eolico, geotermico e biocombustibili

conquistandone progressivamente quote crescenti.

Ogni grafico riporta proprio l'evoluzione nel tempo della quota percentuale della singola fonte sul totale mondiale dei consumi primari

di energia, partendo dal momento in cui quella fonte ha raggiunto il livello del 5%.

Ad esempio, il carbone ha raggiunto il 5% dei consumi nel 1840 (dato di partenza della curva) e ha impiegato circa 35 anni a raggiungere la





quota del 25%, per poi superarla negli anni successivi. Non è che raggiungere la quota del 5% sia stato un compito semplice: sono stati necessari quasi 100 anni precedenti al 1840 (questa ultima informazione non è riportata nei grafici).

In un secondo momento è arrivato il petrolio, che ha raggiunto la quota del 5% nel 1915, dopo più di 50 anni di crescita molto lenta. Per raggiungere il livello del 25% del totale dei consumi di energia ha impiegato circa 40 anni. Infine è arrivato il gas naturale, che ha raggiunto

la quota del 5% nel 1930 (dopo quasi 60 anni di crescita) e ha impiegato circa 55 anni per arrivare al livello del 25%. Certamente, erano altri tempi e il progresso tecnologico non aveva la dinamicità di oggi e non consentiva rapidi cambi di rotta. Ma bisogna anche dire che i consumi mondiali di energia erano di molto inferiori a quelli attuali ed era più semplice accrescere le quote di mercato con incrementi limitati della quantità offerta. Infatti, se esaminiamo con attenzione questi primi tre grafici è possibile fare una prima osservazione. Le curve



© AMERICAN PUBLIC POWER ASSOCIATION-UNSPLASH

dei primi tre grafici sono sempre meno inclinate man mano che si passa dalla prima alla terza. Ovvero man mano che passano gli anni e il sistema energetico mondiale aumenta di dimensione, alla nuova fonte che si aggiunge alle precedenti (e in parte le sostituisce) occorre sempre più tempo per accrescere la propria quota di mercato. Gli anni impiegati dalle tre fonti fossili per passare dal 5% al 25% (35 per il carbone, 40 per il petrolio e 55 per il gas) sembrerebbero confermare questa osservazione.

Esaminiamo ora il quarto grafico a destra, quello relativo alle fonti rinnovabili moderne (eolico, solare, geotermico e biocombustibili). In molti ritengono che la transizione energetica del secolo corrente si baserà su una rapida sostituzione delle fonti fossili con energia solare o eolica, poiché queste fonti sono diffuse e soprattutto prive di emissioni di anidride carbonica e di inquinanti.

Ma il loro livello di penetrazione – come abbiamo già avuto modo di vedere – è ancora basso, pari solo a circa il 3% (stima International Energy Agency) dei consumi totali di energia primaria nel 2017. Se per queste nuove fonti di energia fosse confermata la regola dell'inclinazione decrescente della curva di diffusione, ci si potrebbe aspettare che impieghino ancora più tempo rispetto al passato per raggiungere una quota pari al 25% e superarla. In ogni caso, anche prendendo una velocità di diffusione media tra quelle del carbone, del petrolio e del gas naturale, se la storia passata si ripetesse queste nuove fonti di energia impiegherebbero alcuni decenni per conquistare quote elevate di consumo e spiazzare le fonti esistenti.

Sul tema dei tempi della transizione c'è incertezza e discordanza di vedute. Infatti, c'è chi dice che le caratteristiche peculiari delle nuove fonti rinnovabili faranno sì che le leggi del passato non siano più valide: l'andamento della loro crescita rimarrà esponenziale per lungo tempo e la conquista di quote crescenti di mercato sarà estremamente rapida. Ma vi è discussione anche sul fatto che le nuove fonti rinnovabili siano la sola strada da percorrere per decarbonizzare e che solo sulla loro diffusione si debbano misurare tempi ed efficacia della transizione.









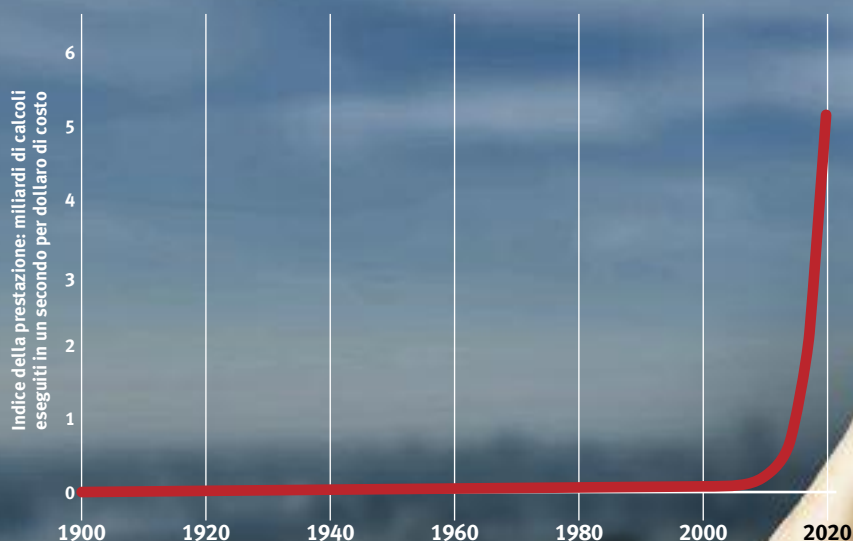
# Tempi e percorsi della transizione energetica

**I diversi punti di vista: c'è chi dice che la crescita esponenziale delle nuove fonti rinnovabili sarà inevitabile e chi sostiene una maggior prudenza sui tempi della loro diffusione a favore di un utilizzo di un più ampio spettro di soluzioni per la decarbonizzazione**

**S**ono ancora valide le leggi del passato sui tempi della transizione energetica? Su quali fonti di energia si dovranno misurare tempi ed efficacia della nuova transizione? Le domande sono di grande attualità e le risposte fornite dai partecipanti al dibattito che hanno innescato riflettono le differenti opinioni. In questo capitolo esaminiamo alcune delle principali argomentazioni che alimentano la discussione. In effetti, c'è chi dice che le caratteristiche peculiari delle nuove fonti rinnovabili faranno sì che la loro crescita continuerà ad essere esponenziale e

© RYJOGI IWATA-UNSPLASH

FIGURA 10. ESEMPIO DI ANDAMENTO ESPONENZIALE DELLA LEGGE DI MOORE APPLICATA ALLA CAPACITÀ DI ELABORAZIONE DEI COMPUTER



che la conquista di quote crescenti dei consumi energetici mondiali sarà estremamente rapida, trasformandole in breve tempo nelle protagoniste assolute sia della fase di transizione sia del nuovo paradigma energetico cui ci porterà questo processo. I motivi a supporto di questa po-

sizione sono sostanzialmente due. Il primo è che lo sviluppo tecnologico di fotovoltaico ed eolico sarà sempre più paragonabile a quello dei beni di consumo elettronici, in quanto tecnologie basate su componenti elettroniche. Pertanto, il miglioramento delle prestazioni se-



© NIKOLAI JUSTESEN-UNSPLASH

guirà l'andamento esponenziale della legge di Moore e avrà in breve tempo un notevole impatto in termini di riduzione di costo, di competitività, di flessibilità di utilizzo e infine di velocità di diffusione sul mercato. Proprio come capitato ai computer, ai cellulari e ai tablet.

Perché è così importante questa legge e cosa dice? La legge di Moore (vedi figura 10) prende il nome dal suo ideatore, un ingegnere della IBM che ha osservato come – negli ultimi 50 anni – all'incirca ogni 24 mesi il numero dei transistor di un circuito sia raddoppiato, fa-



ciendo raddoppiare la performance dei processori dei computer ogni 18 mesi. Pur essendo una legge osservata su un settore specifico, è utilizzata spesso come un paradigma di valore generale che caratterizza tutte le tecnologie moderne. In questo modo si giustificano le aspettative di un rapido miglioramento delle loro prestazioni e di una diffusione molto più rapida e pervasiva rispetto a quanto avvenuto con le tecnologie del passato. Il secondo motivo è che la principale leva della nuova transizione energetica sarà quella normativa. Pertanto, obblighi di legge e incentivi potrebbero accelerare i tempi di diffusione delle nuove fonti rinnovabili, indipendentemente dai progressi tecnologici e dalla competitività di costo. Un differente punto di vista è quello di chi sostiene posizioni più prudenti sia sui tempi della transizione che sulla semplicità del processo di diffusione delle nuove fonti rinnovabili. La validità della legge di Moore – almeno finora – non si è dimostrata universale. Nel caso specifico del mercato energetico, la complessità della diffusione di nuove fonti rimane un tema attuale e reale con cui ci si deve inevitabilmente confrontare. La prima argomentazione è che, proprio come avvenuto in passato, anche la diffusione delle nuove fonti necessita di una “pluralità di transizioni”. Infatti, la crescita elevata delle rinnovabili è un fenomeno che riguarda – al momento – prevalentemente la generazione elettrica e conseguentemente ha impatto nei settori dove si consuma elettricità. Per estendere il fenomeno a tutto il sistema energetico, la “transizione di fonte” (da fossile a eolico e fotovoltaico) dovrebbe essere accompagnata da un processo di elettrificazione di tutti i settori che consumano energia, un processo non semplice da portare a termine. Si pensi – a titolo di esempio – al problema della elettrificazione dei veicoli



per trasporto merci su strada o degli aerei. Inoltre, la crescente diffusione di impianti di generazione eolici e fotovoltaici comporta problemi di stabilità della rete in quanto sono fonti non programmabili e intermittenti: quando cala il vento o il sole non c'è o è oscurato da nubi la loro produzione di energia elettrica diminuisce o si arresta e deve essere sostituita o da quella di altre produzioni programmabili o da quella fornita da sistemi che l'hanno in precedenza stoccata.

Per questo motivo, se non sarà accompagnata dalla crescita e dalla maggiore competitività dei sistemi di stoccaggio energetico, la gestione della integrazione di eolico e fotovoltaico nelle



© ARCHIVIO ENI

reti elettriche sarà un processo complesso destinato a pesare sui tempi. In ogni caso, anche lo sviluppo dei sistemi di stoccaggio energetico dovrà essere oggetto di attenta valutazione: le tecnologie su cui più si punta, quelle basate sulle batterie al litio, attualmente non sono esenti da importanti impatti ambientali e da elevati livelli di emissioni di gas serra associati alla loro costruzione. Un'altra argomentazione riguarda il fatto che l'obiettivo di uno dei principali mega-trend alla base della nuova transizione è di decarbonizzare il sistema energetico e non di promuovere la rapida diffusione di nuove fonti di energia. Pertanto, poiché esistono già oggi strumenti e tecnologie che consentono

di utilizzare le fonti di energia attualmente più diffuse – gli idrocarburi – riducendo le loro emissioni di gas serra e il loro impatto ambientale, anche queste fonti possono essere utilizzate in un contesto di progressiva decarbonizzazione del sistema energetico. Se lo scopo è di seguire fin da subito un percorso di transizione plausibile e idoneo a conseguire i molteplici risultati attesi, l'utilizzo della pluralità di strumenti già oggi disponibili potrebbe essere la soluzione ideale. In effetti, consentirebbe alle stesse fonti rinnovabili di crescere in funzione sia del loro sviluppo tecnologico che del progresso delle molteplici transizioni richiesto, evitando che tempi di diffusione superiori a quelli attesi possano compromettere il raggiungimento degli obiettivi finali.

Alcuni esempi di questi strumenti sono: l'utilizzo del gas naturale al posto del carbone attualmente consumato nel settore della generazione elettrica (solo questa misura consentirebbe di dimezzare i gas serra emessi per ogni kilowattora sostituito); l'installazione di sistemi che catturano e utilizzano o stoccano in luoghi sicuri l'anidride carbonica prodotta dagli impianti di combustione; l'utilizzo di nuove miscele di idrocarburi e biocombustibili prodotti da alghe o da rifiuti come scarti agricoli e scarti alimentari (economia circolare).

Con queste ultime riflessioni siamo giunti al termine del percorso che, partendo dall'analisi dei fattori che hanno caratterizzato le transizioni energetiche nelle diverse fasi storiche, ci ha portato al dibattito attuale sollevato dalle nuove e complesse sfide che ci attendono: trovare la soluzione non è semplice ma non è impossibile e richiede un grande impegno da parte di tutti, sia di chi produce energia sia di chi la consuma.

# Indice

Introduzione .....	<b>2</b>
La formula del nuovo paradigma .....	<b>7</b>
Le rivoluzioni del passato.....	<b>12</b>
Alla vigilia di una nuova era .....	<b>18</b>
All'origine della transizione energetica: i mega-trend.....	<b>24</b>
Energia sostenibile per tutti, la sfida del secolo .....	<b>31</b>
L'incertezza sui tempi della transizione .....	<b>36</b>
Tempi e percorsi della transizione energetica .....	<b>43</b>



**Che cos'è una transizione energetica?** Quali nuove sfide deve affrontare il sistema energetico? Queste domande alimentano una discussione vivace sul futuro dell'energia. Ma la transizione energetica è un processo complesso e per seguire il dibattito è utile approfondire i meccanismi che lo governano. Attraverso un percorso a tappe, che parte dalle esperienze del passato e arriva a temi di attualità come la decarbonizzazione e l'accesso universale all'energia, il libro fornisce gli elementi di base per comprendere i processi che guidano il mondo dell'energia nella ricerca di un modello sostenibile di produzione e consumo.

**GIUSEPPE SAMMARCO** Laureato in Economia e Commercio all'Università di Venezia, ha iniziato a lavorare nel 1991 alla Fondazione Eni Enrico Mattei come esperto di economia dell'ambiente ed economia dell'energia. Attualmente è responsabile dell'unità "Energy Sector Integrated Technical Studies" di Eni, con il compito di coordinare l'elaborazione di studi su temi inerenti le tecnologie e l'evoluzione dei mercati dell'energia.