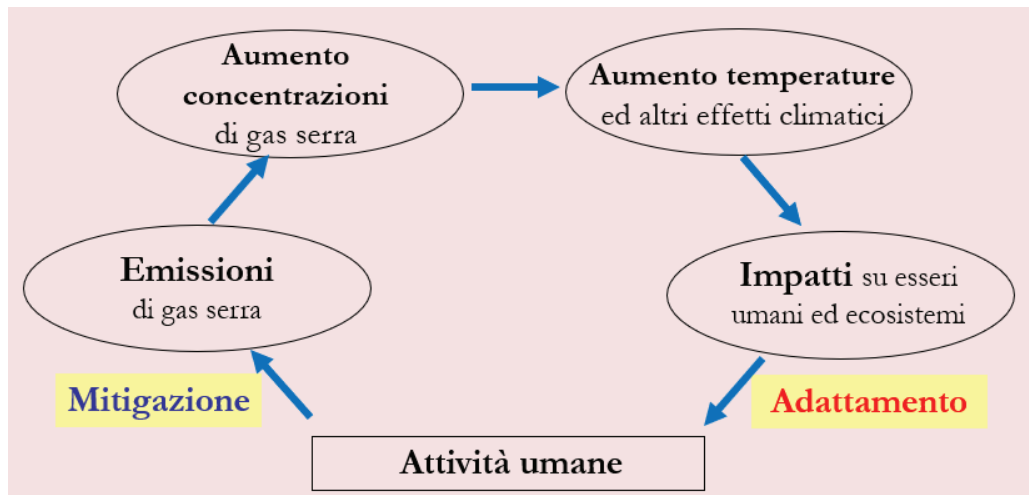


La mitigazione del cambiamento climatico

prima parte

Mitigazione dei cambiamenti climatici

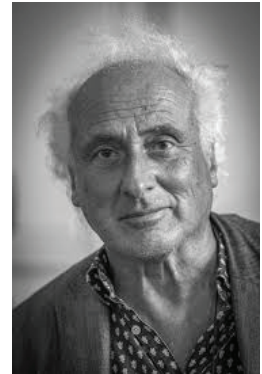


intervento umano per ridurre le emissioni o aumentare gli assorbimenti di gas serra

Mitigazione:

- 1. Ridurre le emissioni climalteranti in atmosfera**
- 2. Rimuovere gas serra già presenti nell'atmosfera**

...Eravamo allo stremo delle forze quando nonno Celso sentenziò che l'unico che poteva salvarci era Ufizéina. Ufizéina era un meccanico che sapeva riparare tutto, da una gru idraulica a un biberon, e non c'era a memoria di sompazzese un guasto che l'avesse messo in difficoltà. Gli spiegammo il problema: e cioè che c'era da riparare nientemeno che il tempo. Ufizéina ci pensa un pò su e poi disse: «Se è rotto s'aggiusta». Studiò la situazione, prese un cric, due pezzi di copertone, del mastice e una pompa, e sparì all'orizzonte...



Stefano Benni

(da «L'anno del tempo matto», Il racconto del primo uomo col cappello.
In «Il Bar sotto il mare», 1987)

La mitigazione dei cambiamenti climatici in 10 punti condivisi

1. Molte sono le azioni di mitigazione possibili, in molti settori.
2. L'energia solare e eolica hanno un ruolo cruciale
3. Sarà necessario accumulare tanta energia
4. L'aumento dell'efficienza energetica deve riguardare tutti i settori
5. È possibile costruire un sistema energetico che non usa combustibili fossili
6. Sono possibili diverse «ricette» a seconda del contesto
7. Le diete alimentari hanno un ruolo importante
8. Dopo la decarbonizzazione, c'è una seconda parte del lavoro
9. È necessaria una transizione di sistema e non piccoli aggiustamenti
10. La fattibilità ha diverse dimensioni

Molti sono le azioni di mitigazione possibili, in molti settori

Principali categorie di azioni per ridurre le emissioni

- Risparmio energetico
- Efficienza energetica
- Produzione energia non fossile
- Cattura di CO₂ dai fumi e stoccaggio (CCS)
- Modifica diete alimentari e attività agricole (CH₄, N₂O)
- Altre azioni più o meno importanti

Risparmio energetico

Finché si utilizzano combustibili fossili, risparmiare energia contribuisce a ridurre le emissioni perché riduce **la domanda** di combustibili fossili.

Il risparmio energetico può essere ottenuto con una riduzione dell'attività che origina il consumo (es. spegnimento di illuminazione inutile) o con un aumento dell'efficienza (es. uso di una lampadina più efficiente).

I confini fra il risparmio energetico e l'incremento dell'efficienza non sono sempre ben definiti, in quanto un'azione di efficientamento energetico comporta un risparmio di energia.

PRO: il risparmio energetico ha molti co-benefici (es. risparmio economico)

CONTRO: il reale effetto del risparmio energetico è spesso sovrastimato

Efficienza energetica

La conversione dell'energia comporta inevitabilmente una perdita (secondo principio della termodinamica: «è impossibile realizzare una macchina termica il cui rendimento sia pari al 100%»): minore è la perdita, maggiore è l'efficienza.

Esempi:

- trasformo l'energia contenuta nel gas in elettricità
- trasformo l'energia contenuta nel gas in calore
- trasformo l'energia contenuta nella benzina in energia di movimento

Le misure di efficienza energetica sono interventi, pratiche e tecnologie adottate per ridurre il consumo di energia, aumentando le prestazioni del sistema (veicolo, edificio, processo industriale). L'obiettivo principale è ottenere lo stesso livello di servizio con una minore quantità di energia, riducendo così l'impatto ambientale, i costi energetici e le emissioni di gas serra.

PRO: ha molti co-benefici

CONTRO: richiede investimenti iniziali; c'è un limite all'aumento di efficienza

Produzione energia non fossile

- Energia eolica
- Energia solare (fotovoltaica, termica e a concentrazione)
- Energia da biomasse
- Energia idroelettrica
- Energia geotermica
- Energia da moto ondoso o dalle maree
- Energia nucleare: non usa combustibili fossili

Alcune forme di energia rinnovabile sono molto antiche (es. biomasse, idroelettrico), altre più recenti (es. fotovoltaica)

PRO: grande risparmio di gas serra; bassi impatti ambientali se confrontati con quelli delle fonti fossili; vantaggi economici

CONTRO: ci sono alcuni impatti residui: paesaggistico, materiali (es. minerali) utilizzati e recupero o smaltimento dei rifiuti, energia necessaria per la costruzione; non programmabilità e intermittenza della sorgente

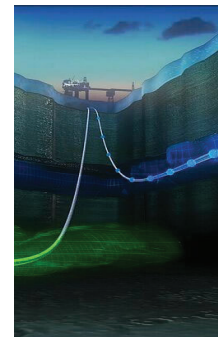
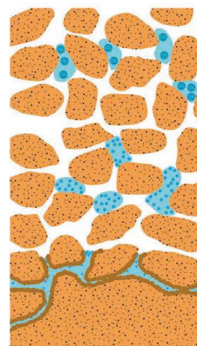
Cattura di CO₂ dai fumi e stoccaggio del carbonio

(Carbon Capture and Storage – CCS)

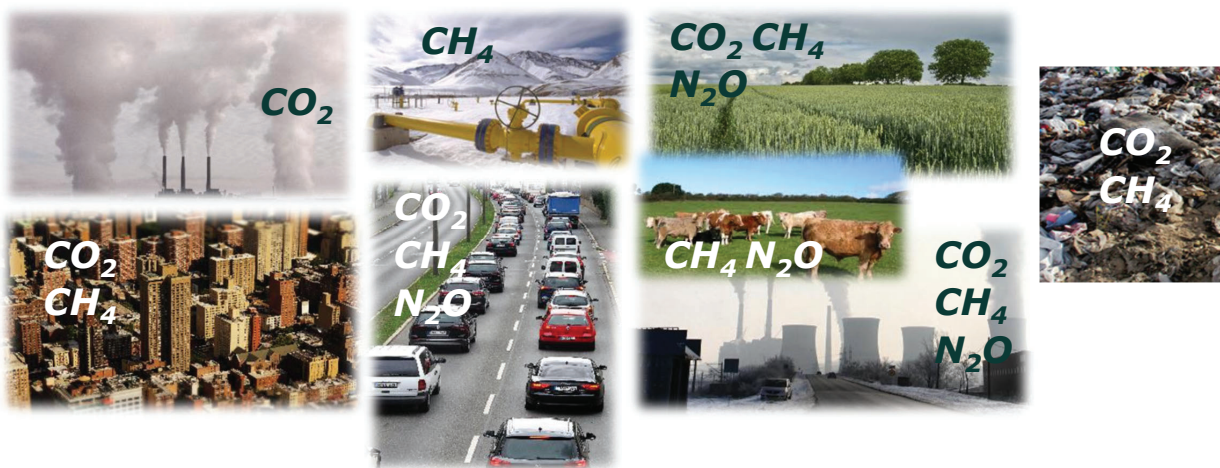
cattura di CO₂ dalle sorgenti di emissione, successivo trasporto stoccaggio sicuro e permanente

Utilizzi previsti:

- centrali termoelettriche a carbone e gas ?
 - produzione cemento e calce
 - industria siderurgica (es. produzione acciaio)
 - industria della carta
 - industria chimica
- I costi energetici ed economici sono elevati
 - La difficoltà dello stoccaggio è stata sottovalutata
 - È improbabile che il costo del CCS possa rendere competitiva la produzione di elettricità in centrali termoelettriche a carbone o gas, che già senza CCS soffrono la competitività dell'energia solare e eolica. Il CCS potrebbe trovare applicazione nei settori «hard to abate»: produzione di cemento, calce, acciaio, vetro, industria chimica
 - C'è interesse del mondo industriale (~40 impianti esistenti/ in costruzione/ in progetto)



Modifica delle diete alimentari e attività agricole (CH₄, N₂O)



Le emissioni di CH₄ derivano tipicamente da attività agricole (es. gestioni liquami) e allevamenti, in particolare di ruminanti

Ci sono importanti emissioni di CH₄ «fuggitive» dall'estrazione dei combustibili fossili e dalla loro distribuzione

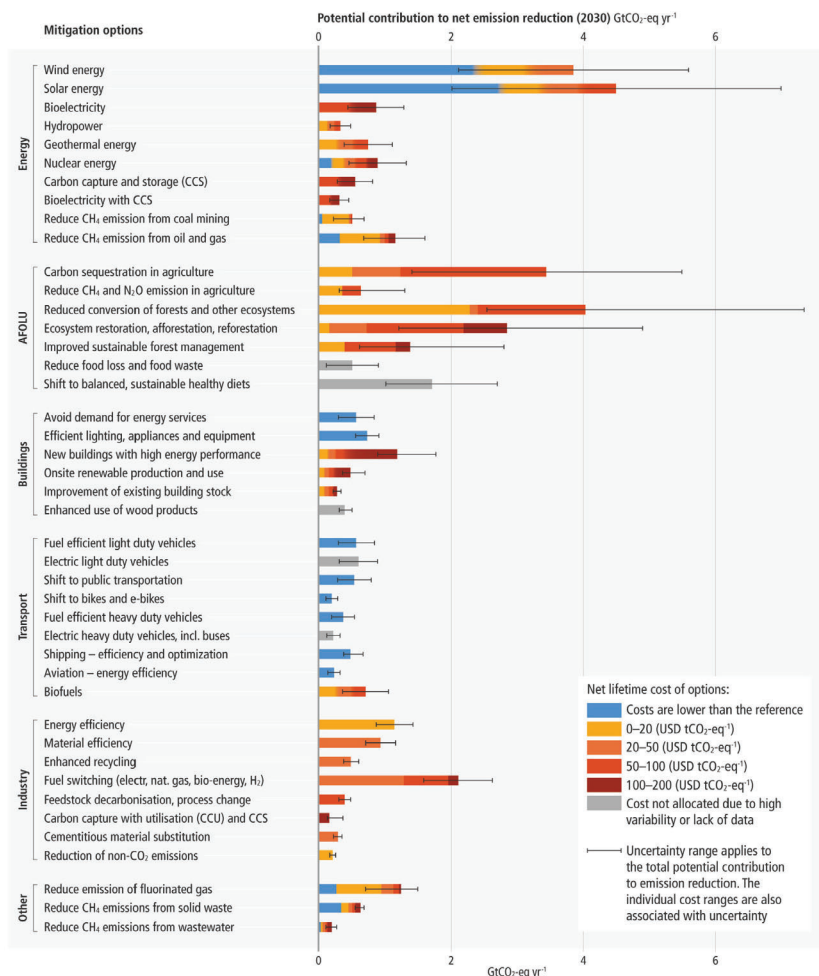
Le discariche di rifiuti sono fonti di emissioni di metano.

Le emissioni di N₂O derivano dalla produzione e dall'utilizzo di fertilizzanti

Altre azioni più o meno importanti

Nel terzo volume (WG3) dei rapporti IPCC sono confrontati i potenziali di riduzione delle emissioni stimati nella letteratura scientifica per tante diverse opzioni tecnologiche

Fonte: IPCC, AR6, WG3, fig. SPM7



L'energia solare e eolica giocheranno un ruolo cruciale

Grande sviluppo dell'energia solare fotovoltaica e eolica, a causa della grande riduzione dei loro costi: in molte zone del pianeta sono diventate le forme di produzione di energia elettrica più convenienti.



- Su coperture



- Parchi solari a terra



- Agrivoltaico

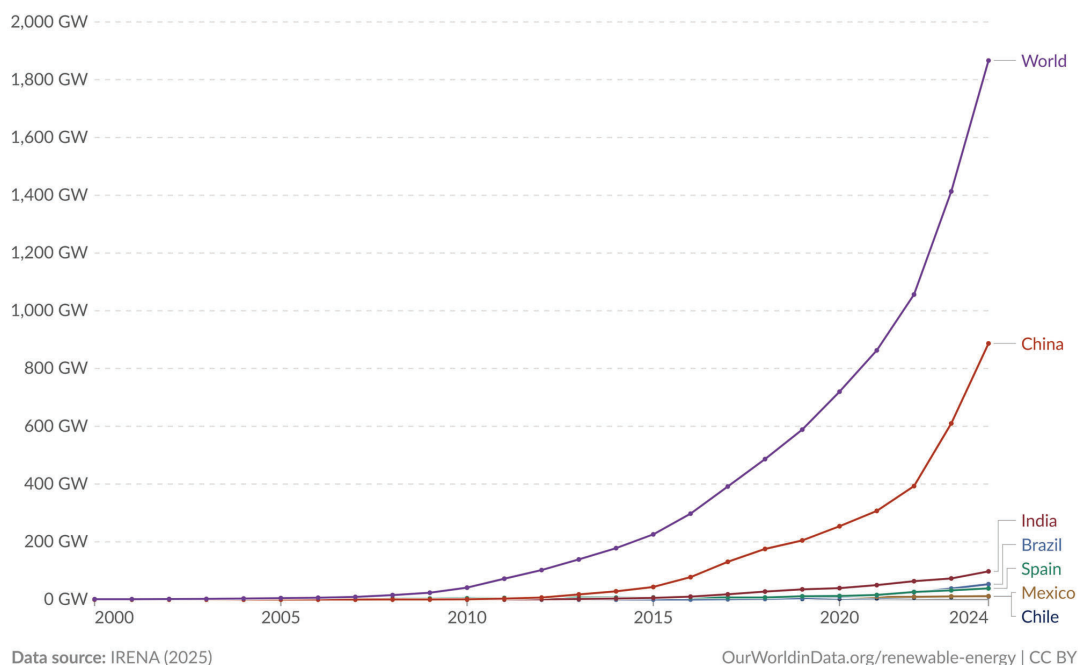


- Galleggiante



Energia fotovoltaica

Potenza cumulata installata di energia fotovoltaica a fine 2024: 1866 GW_p

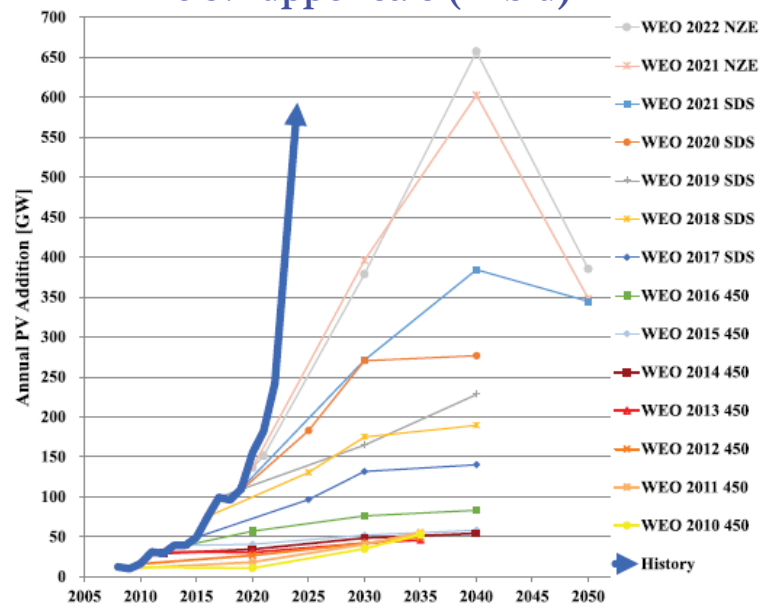


<https://ourworldindata.org/grapher/installed-solar-pv-capacity>

Potenza fotovoltaica aggiunta annualmente: scenari dell'Agenzia Internazionale dell'energia e sviluppo reale (in blu)

L'installazione di energia fotovoltaica e eolica sta aumentando più di quanto era stato previsto dagli esperti del settore

In media, le reali installazioni fotovoltaiche sono state tre volte superiori alla media quinquennale prevista

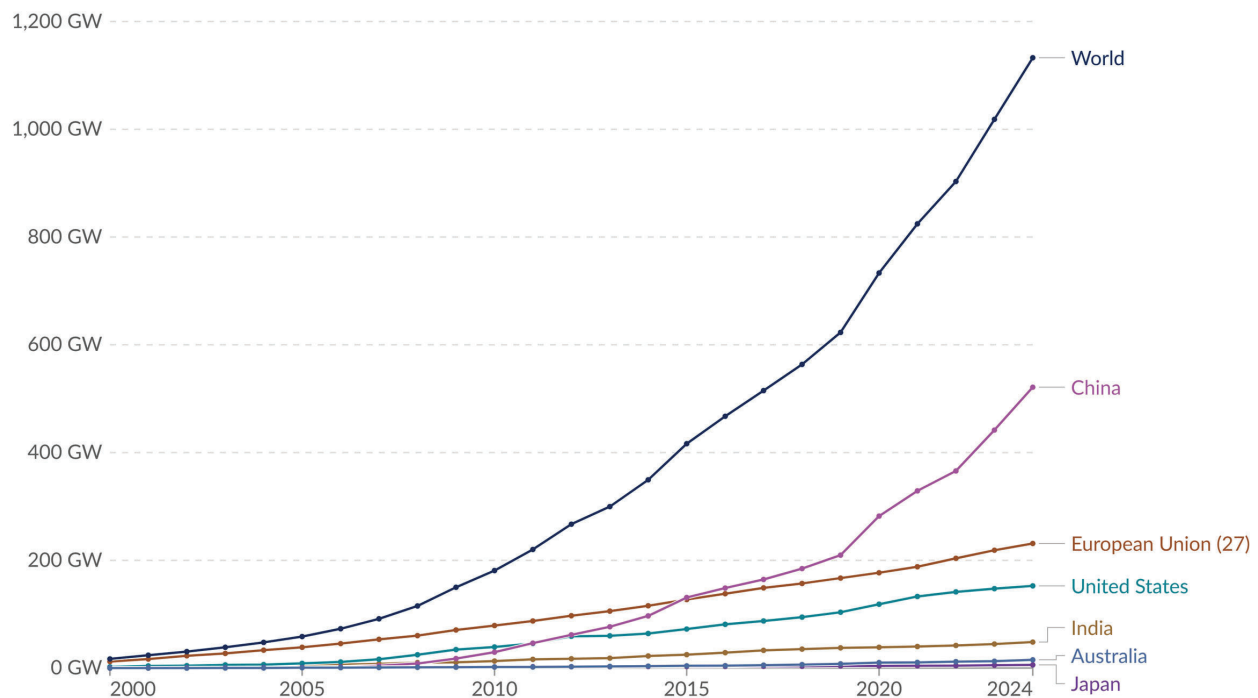


450: scenario in cui le concentrazioni di CO₂ sono stabilizzate a 450 ppm
SDS: Sustainable Development Scenarios
NZE: Net-Zero Emission Scenarios

Fonte: Lopez et al., 2024 Paving the way towards a sustainable future or lagging behind? An ex-post analysis of the International Energy Agency's World Energy Outlook. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 212, 115371

Potenza cumulata installata eolica a fine 2024: 1132 GWp

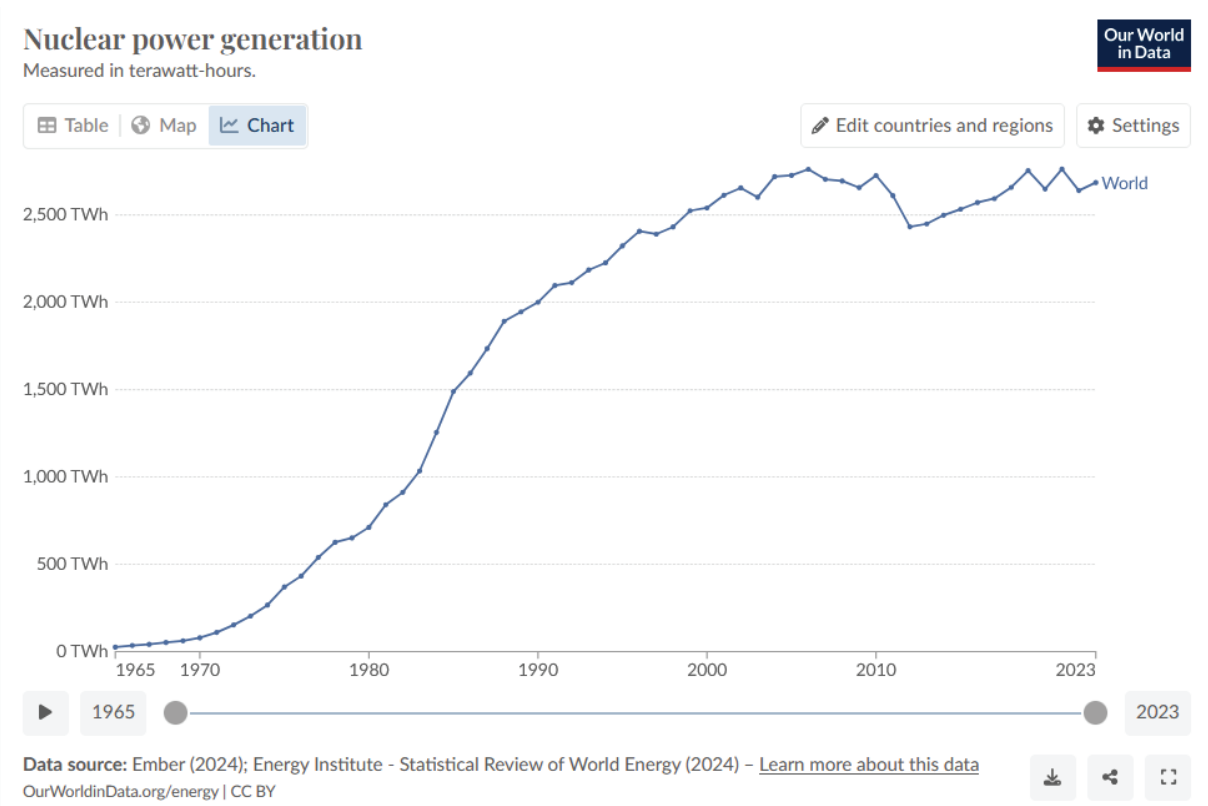
Energia eolica



Data source: IRENA (2025)

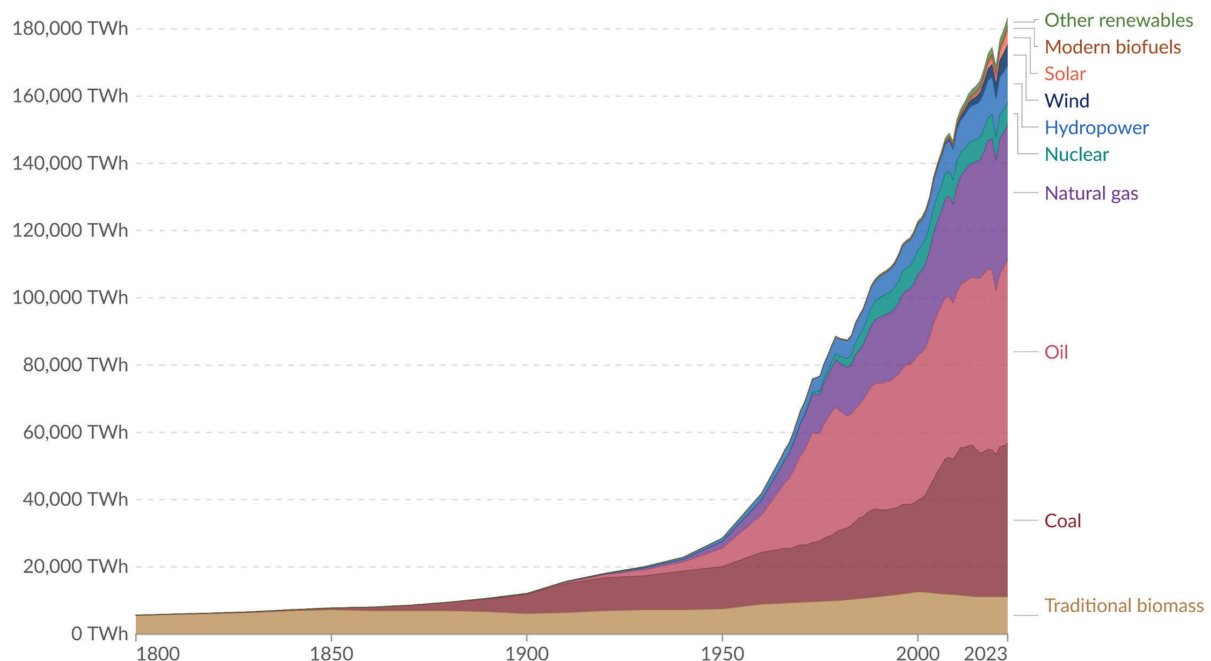
OurWorldinData.org/renewable-energy | CC BY

Energia nucleare



Il mondo però oggi è ancora largamente dominato dai combustibili fossili

Consumo di energia primaria per tipo di fonte



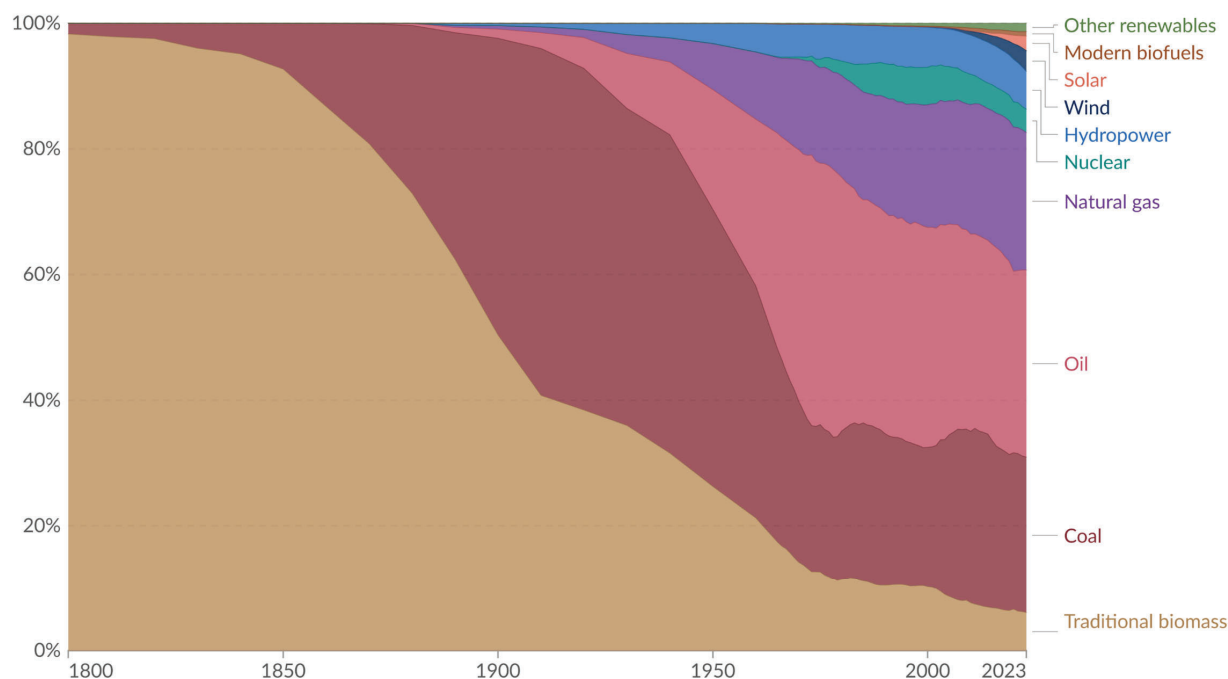
Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024); Smil (2017)

Note: In the absence of more recent data, traditional biomass is assumed constant since 2015.

OurWorldinData.org/energy | CC BY

<https://ourworldindata.org/energy-mix>

Consumo di energia primaria per tipo di fonte: percentuale sul totale



Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024); Smil (2017)

OurWorldinData.org/energy | CC BY

Note: In the absence of more recent data, traditional biomass is assumed constant since 2015.

<https://ourworldindata.org/energy-mix>

Sarà necessario accumulare tanta energia

La decarbonizzazione spinta, basata su un grande contributo di energia solare e eolica, per loro natura variabili, richiede di accumulare energia per renderla disponibile quando la produzione di energia rinnovabile è minore

La produzione solare è variabile

- a livello giornaliero (assente di notte)
- a livello stagionale (d'inverno è molto inferiore)

La produzione eolica è variabile, ma senza un rilevante chiaro ciclo giornaliero o stagionale

Di conseguenza c'è bisogno di accumulare energia per renderla disponibile in momenti diversi.

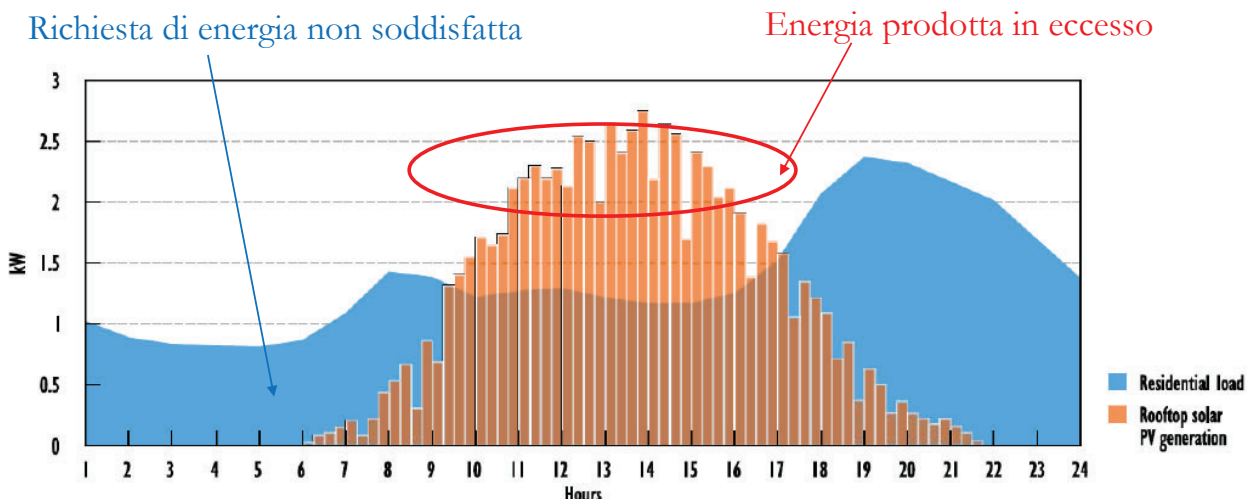
Stoccaggio giornaliero di elettricità: **ore centrali del giorno → sera e notte**

Stoccaggio stagionale di calore: **estate → inverno**

Molta della richiesta di energia elettrica (civile e industriale) avviene di sera (consumi domestici), e di notte (illuminazione pubblica) quando si riduce o è assente la potenza fotovoltaica

Nelle ore centrali della giornata gli impianti FV domestici producono elettricità che non è consumata direttamente, e viene ceduta alla rete.

È utile riuscire a coprire anche i consumi serali con l'energia in eccesso



© IEA 2016

Fino ad oggi la potenza di picco dell'energia rinnovabile è comunque inferiore a quella richiesta dalla rete

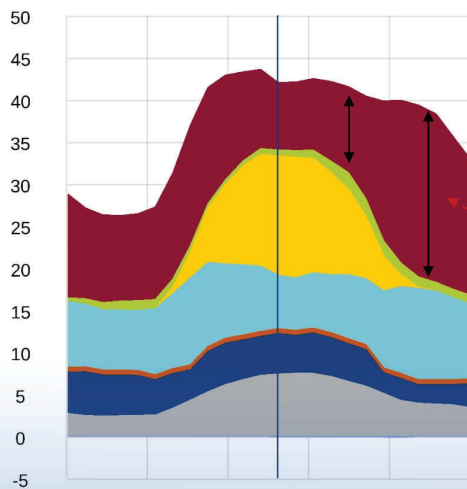
App Terna



Bilancio Energia orario

05.06.2024

☒ Autoconsumo 7,35 GWh	☒ Estero 4,80 GWh	☒ Geotermico 0,58 GWh
☒ Idrico 6,35 GWh	☒ Pompaggi -0,08 GWh	☒ Fotovoltaico 14,17 GWh
☒ Eolico 0,72 GWh	☒ Termico 8,01 GWh	



Attualmente le turbine a gas assicurano transitori rapidi per erogare la potenza necessaria (es. per la punta serale) quando la generazione da fotovoltaico si riduce

Strategie per aumentare la quota di energia rinnovabile con potenza variabile

- cercare di «spostare» quote di domanda di elettricità dalla sera alle ore centrali della giornata
→ politiche sui prezzi dell'energia che favoriscano lo spostamento dei consumi programmabili (es. elettrodomestici) nelle ore di maggiore insolazione
- potenziare la rete di trasmissione, per collegare nel sistema elettrico più sistemi di generazione posti in luoghi diversi, per ridurre l'influenza di fenomeni meteo locali sulla variabilità della produzione
→ Costruzione di infrastrutture (elettrodotti) per collegare i diversi luoghi di produzione e di consumo
- **stoccaggio dell'energia**

Lo stoccaggio dell'energia è possibile con diverse tecniche, fra cui:

1. Batterie
2. Pompaggi idroelettrici
3. Stoccaggio gravitazionale
4. Produzione di idrogeno e successivo riutilizzo

Il prezzo delle batterie è diminuito notevolmente nell'ultimo decennio, più di quanto previsto dagli esperti del settore.

L'accoppiata energia fotovoltaica + batterie sta diventando via via più conveniente e competitiva rispetto al sistema elettrico tradizionale.



Potenziati impatti ambientali delle batterie:

- Paesaggio
- Consumo di suolo
- Approvvigionamento materiali (es. litio)
- Recupero e smaltimento

L'aumento dell'efficienza energetica deve riguardare tutti i settori

Aumento efficienza energetica nella produzione di energia elettrica

Aumento efficienza energetica nella produzione di energia termica

Aumento efficienza energetica nel consumo finale di energia elettrica e

Aumento efficienza energetica nel consumo finale di energia termica

Aumento efficienza nel settore dei trasporti individuali

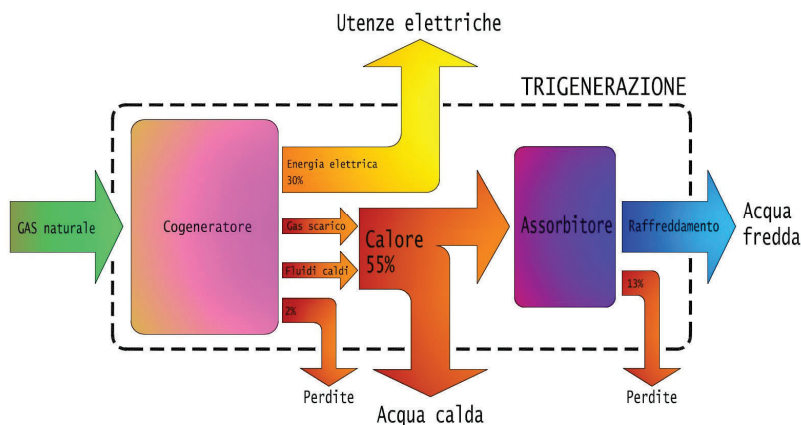
Aumento efficienza nel settore dei trasporti collettivi



Efficienza energetica nella produzione di energia

L'efficienza nella produzione di energia elettrica è notevolmente aumentata negli ultimi decenni, grazie a:

- macchine con maggiori rendimenti;
- utilizzo di impianti cogenerativi (che producono energia elettrica e termica) o trigenerativi (che producono energia elettrica, termica e frigorifera).



Gli impianti di cogenerazione o trigenerazione tipicamente alimentano reti di teleriscaldamento e teleraffreddamento

In un impianto di cogenerazione si produce sia energia elettrica che termica (recuperata dai fumi caldi). Nella trigenerazione si produce anche freddo.

Efficienza nei consumi finali elettrici e termici

Illuminazione

L'uso della lampade a Led comporta risparmi di energia del 75-80%
- a parità di illuminazione fornita – rispetto alle lampade tradizionali



Elettrodomestici e dispositivi elettronici

Esistono classi di efficienza energetica (definite a livello europeo)
per frigoriferi, lavatrici, lavastoviglie, forni, condizionatori.

Classe	Consumo kWh/anno
A+++	INFERIORE A 154
A++	da 173 a 154
A+	da 196 a 174
A	da 226 a 197
B	da 256 a 227
C	da 289 a 257
D	290 E SUPERIORE

Edifici

- isolamento pareti esterne e coperture
- sostituzione serramenti esterni
- pompe di calore
- criteri costruttivi per l'isolamento dei nuovi edifici
- interventi di isolamento su edifici esistenti più costosi



Efficienza nella produzione di energia termica: le pompe di calore

La pompa di calore trasferisce calore da un corpo a temperatura più bassa (aria esterna o acqua di una falda) ad un corpo a temperatura più alta (un'abitazione), grazie ad un compressore azionato da energia elettrica.

La pompa di calore è energeticamente conveniente rispetto al tradizionale sistema a caldaia: risparmio di energia primaria (combustibile) superiore al 40% se l'energia elettrica è prodotta a partire dal gas. Se si usa elettricità rinnovabile il vantaggio è molto maggiore

La tecnologia delle pompe di calore è ormai molto diffusa e sono molto numerosi i complessi residenziali di piccole e grandi dimensioni riscaldati tramite pompe di calore.

VANTAGGI

- Assenza di combustione
- Alta efficienza
- Possibilità di alimentazione con energia prodotta da fonti rinnovabili
- Assenza di problemi antincendio

SVANTAGGI

- Costi elevati
- Maggiori oneri di manutenzione
- Maggiore complessità nel caso di utilizzo del calore della falda