



## **25.05 Energia I**

problema energetico, struttura atomica,  
fissione nucleare

## **29.05 Energia II**

fusione nucleare, centrali nucleari, energie  
rinnovabili

## **03.06 Clima**

sistema climatico, osservazione, modellazione  
e tendenze



FONDAZIONE  
GIUSEPPE OCCHIALINI

# Il problema energetico

*Federico Porcù ([federico.porcu@unibo.it](mailto:federico.porcu@unibo.it))  
Dipartimento di Fisica e Astronomia  
Università di Bologna*



## unità di misura: energia

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ N} \times 1 \text{ m}$$

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ J} \quad 1 \text{ W} = 1 \text{ J}/1 \text{ s}$$

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u.m.a.} = 1.49 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

$$1 \text{ tep} = 42 \text{ GJ}$$

$$1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J}$$

$$1 \text{ Btu} = 1055.055 \text{ J}$$

## prefissi SI

$$\text{Kilo} = 10^3$$

$$\text{pico} = 10^{-12}$$

$$\text{Mega} = 10^6$$

$$\text{nano} = 10^{-9}$$

$$\text{Giga} = 10^9$$

$$\text{micro} = 10^{-6}$$

$$\text{Tera} = 10^{12}$$

$$1 \text{ Fermi (F)} = 10^{-15} \text{ m} = 1 \text{ fm}$$



**definizione del problema;**

**le fonti energetiche;**

**i consumi attuali;**

**scenari futuri;**

# definizione del problema



secondo i nostri attuali modello di **sviluppo**, l'evoluzione dell'umanità non può fare a meno di adeguate **risorse energetiche**;

la crescita della **popolazione** globale implica una crescita della richiesta di energia a **costi sostenibili**;

la crescente diffusione di **tecnologia** e sviluppo industriale implica anch'essa aumento di **fabbisogno** energetico;

l'attuale sistema globale di approvvigionamento energetico ha due limiti: 1) ha un impatto non trascurabile sull'**ambiente** (sistema terrestre), 2) i combustibili si **rinnovano lentamente** ( $10^4$ - $10^6$  anni);

coinvolge aspetti **economici, politici, sociali**;

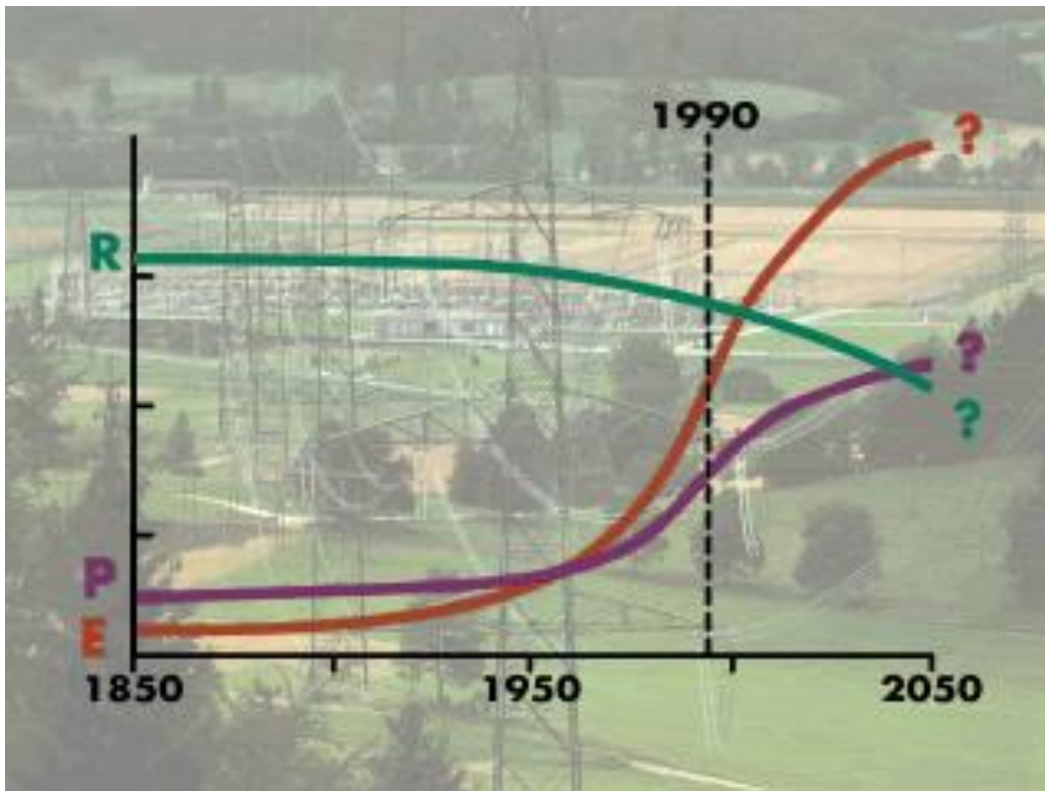
va affrontato a **diverse scale**, con approccio **multidisciplinare**.

# definizione del problema



tutte le prospettive economiche mostrano che i bisogni energetici **aumenteranno** continuamente. L'ampiezza di tali aumenti varia a seconda del tipo di **scenario** considerato comunque dipende da due cause principali:

- 1) l'aumento della popolazione mondiale, che dovrebbe passare dai 7.8 miliardi attuali a 10 miliardi nel 2050;
- 2) l'aumento dei bisogni energetici dei paesi in via di sviluppo



Previsioni difficili per:

- 1) no esperimenti,
- 2) tempi lunghi,
- 3) fattori non controllabili.

# definizione del problema



Analisi quantitativa per guidare scelte strategiche ed operative

P

- Government policy
- Political stability
- Corruption
- Foreign trade policy
- Tax policy
- Labour law
- Trade restrictions

E

- Economic growth
- Exchange rates
- Interest rates
- Inflation rates
- Disposable income
- Unemployment rates

S

- Population growth rate
- Age distribution
- Career attitudes
- Safety emphasis
- Health consciousness
- Lifestyle attitudes
- Cultural barriers

T

- Technology incentives
- Level of innovation
- Automation
- R&D activity
- Technological change
- Technological awareness

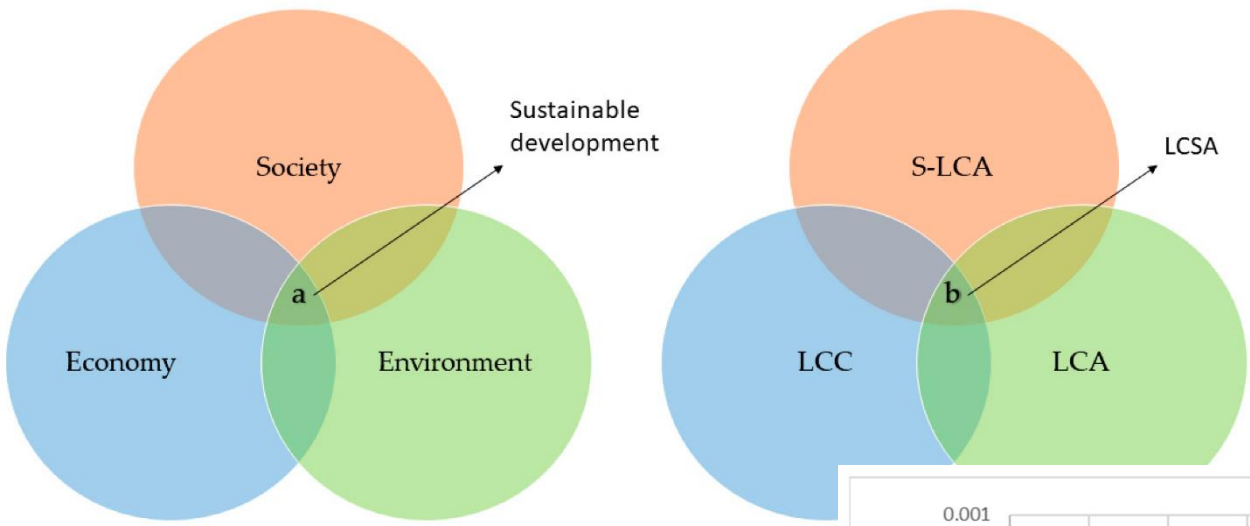
E

- Weather
- Climate
- Environmental policies
- Climate change
- Pressures from NGO's

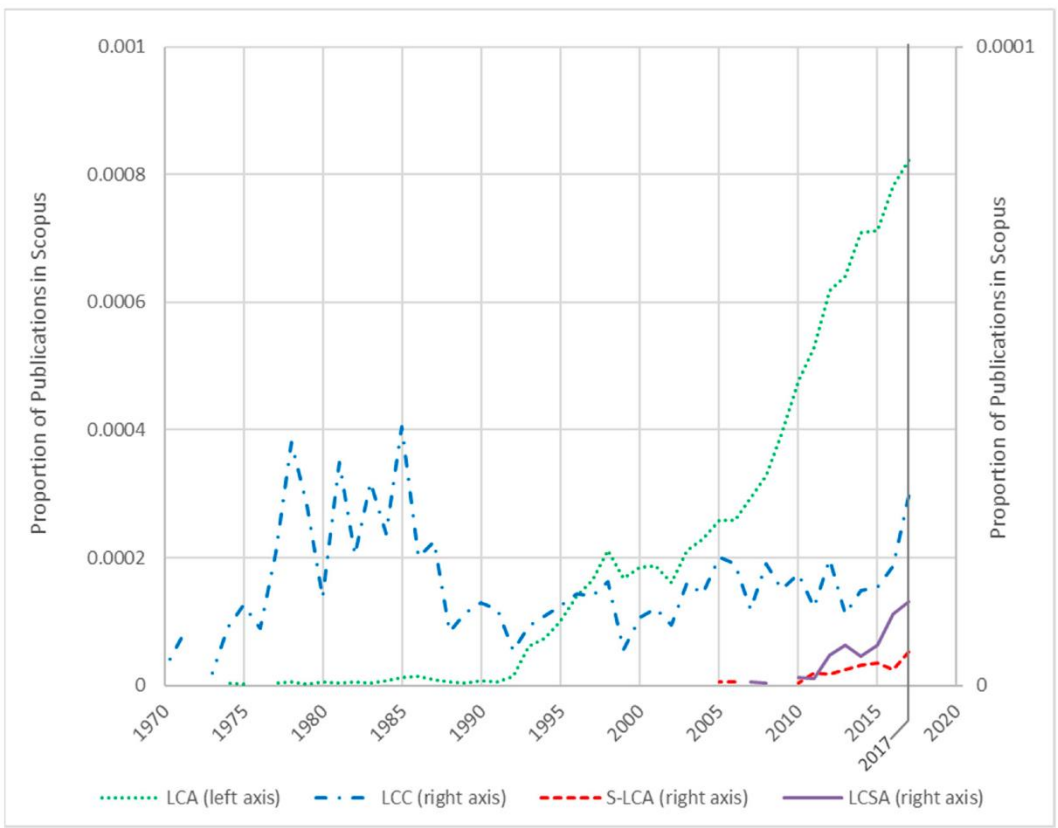
L

- Discrimination laws
- Antitrust laws
- Employment laws
- Consumer protection laws
- Copyright and patent laws
- Health and safety laws

# definizione del problema



- Life Cycle Costing
- Life Cycle Assessment
- Social Life Cycle Assessment
- Life Cycle Sustainability Assessment





# fonti energetiche



combustione di idrocarburi fossili (olio, carbone, gas) in centrali termoelettriche;

fissione nucleare (U, P) in centrali termonucleari;

fusione nucleare (H+D) in ITER;

energia solare (1): pannelli fotovoltaici;

energia solare (2): centrali termosolari;

energia eolica da turbine in parchi eolici;

energia idroelettrica sfruttando flussi d'acqua naturali o forzati;

energia geotermica sfruttando il calore proveniente dal sottosuolo;

energia marina estraibile dai flussi di acqua (correnti, onde, maree) o attraverso i gradienti (termico, salino);

energia da biomasse (3 generazioni).



Distinguiamo le fonti energetiche in primarie e secondarie:

Primarie : quelle presenti in natura prima di avere subito una qualunque trasformazione.

Sono fonti primarie:

- le fonti energetiche lentamente rinnovabili (petrolio grezzo, gas naturale, carbone, materiali fissili),
- le fonti di energia rinnovabili quali energia solare, eolica, idrica, biomasse, geotermica.

Secondarie : quelle che derivano, in qualunque modo, da una trasformazione di quelle primarie.

Sono fonti secondarie:

- la benzina (perché deriva dal trattamento del petrolio greggio),
- il gas di città (che deriva dal trattamento di gas naturali),
- l'energia elettrica (trasformazione di energia meccanica o chimica).

L'energia secondaria più diffusa e quella elettrica: è trasportabile, immagazzinabile, misurabile (vendibile, tassabile).

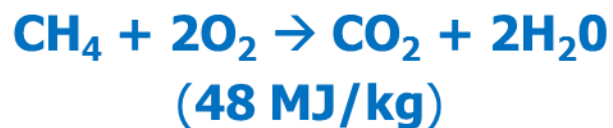


Densità energetica (quantità di energia immagazzinata in un dato sistema o regione dello spazio per unità di volume o per unità di massa) delle diverse fonti: è  $10^6$  volte maggiore per sorgenti nucleari rispetto alle sorgenti fossili.

La differenza fondamentale tra sorgenti fossili e sorgenti nucleari è che le prime rilasciano energia attraverso reazioni chimiche (ad esempio la combustione) che avvengono a livello degli elettroni degli atomi dei combustibili (petrolio, gas, carbone) mentre le seconde si basano su reazioni nucleari che (quali la fissione e la fusione) che avvengono a livello dei nuclei degli atomi dei combustibili (uranio, deuterio, trizio).

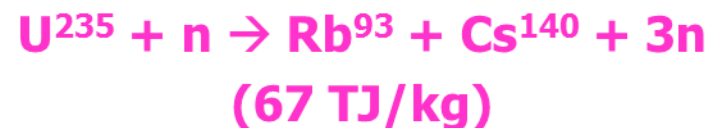
## Esempio di reazione chimica

combustione del metano



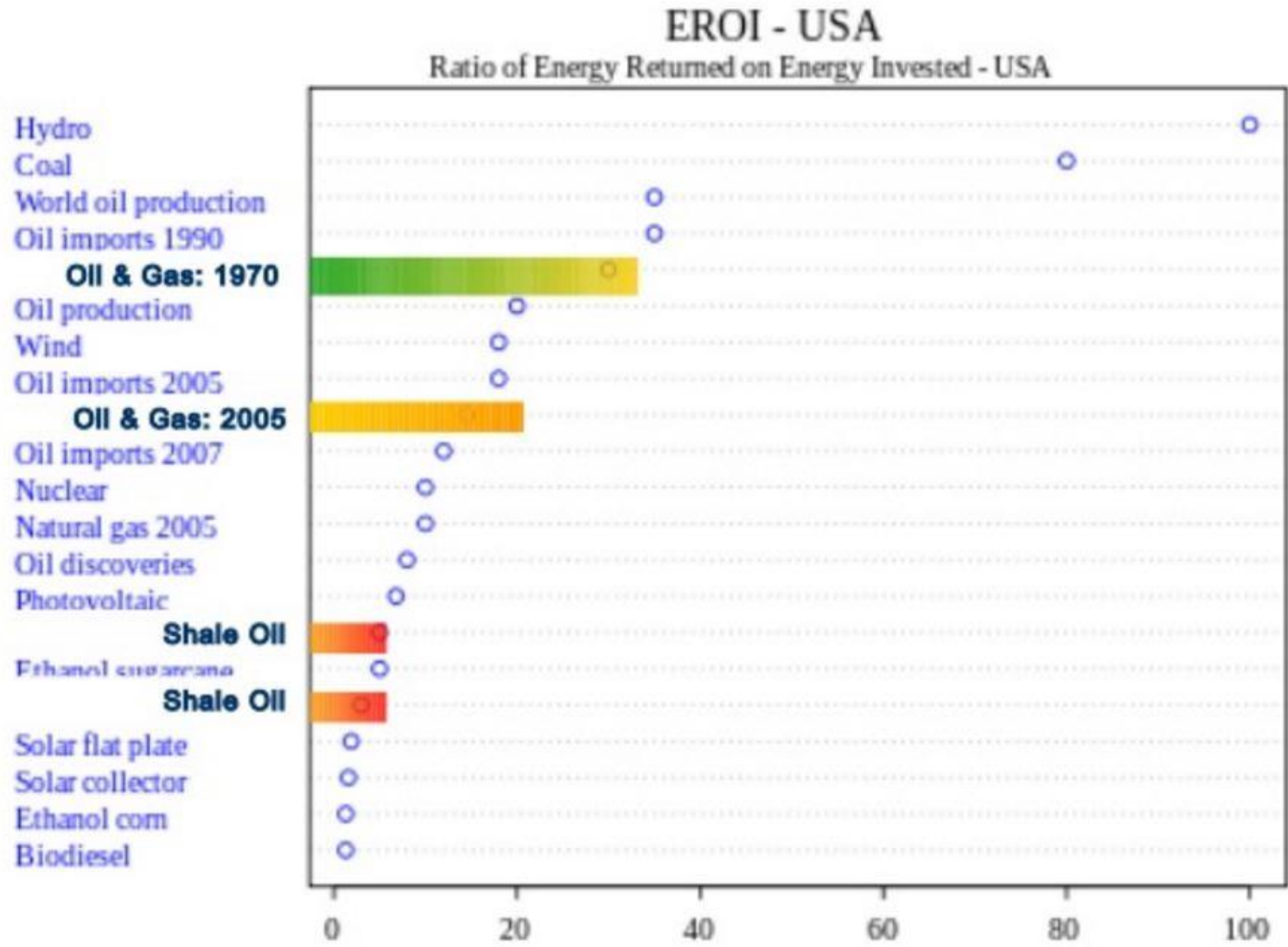
## Esempio di reazione nucleare

fissione  $\text{U}^{235}$





## Energy Returned on Energy Invested

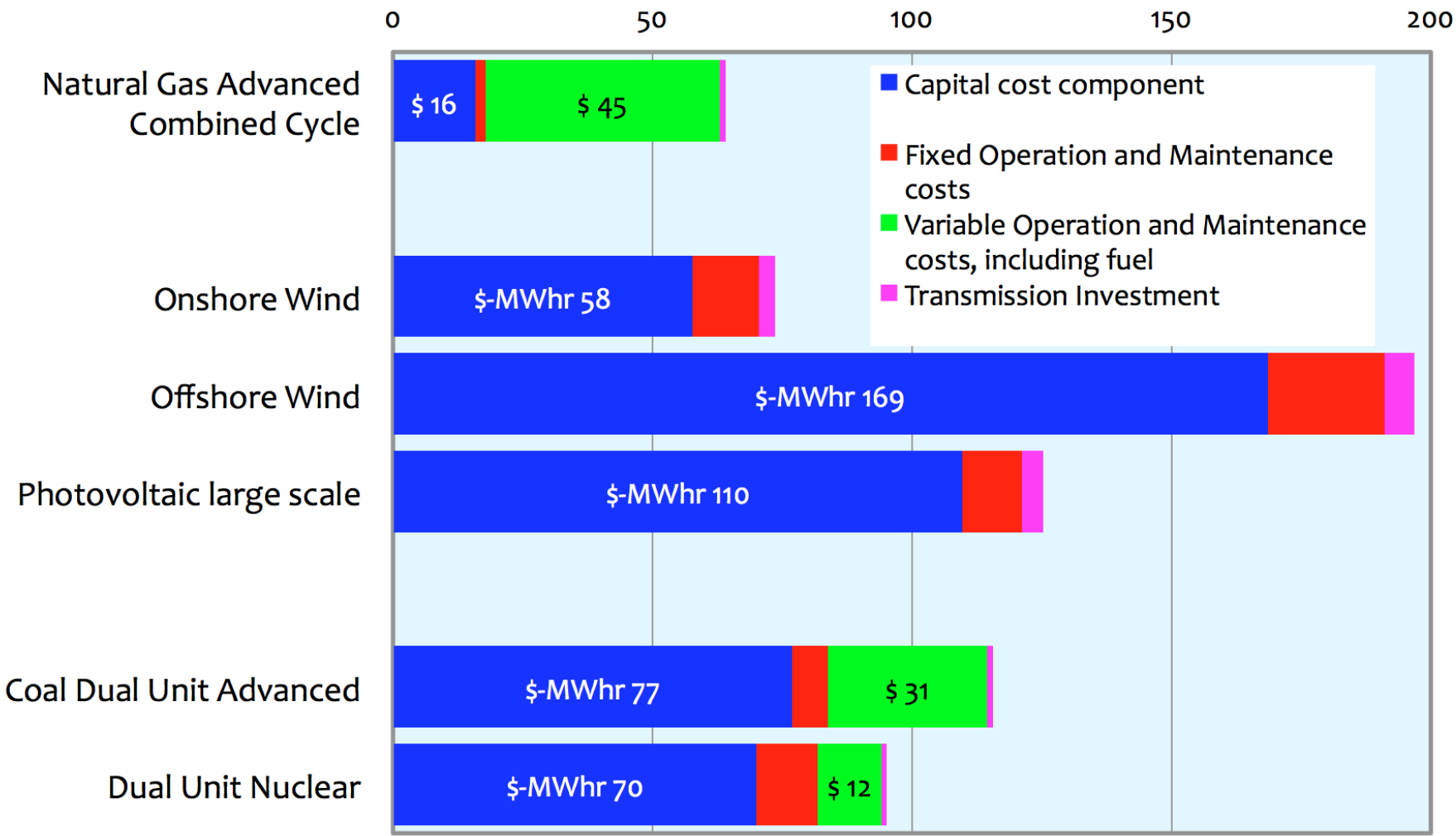


REF Murphy, D.J.; Hall, C.A.S. (2010). **Year In review EROI or energy return on (energy) invested**. *Annals of the New York Academy of Sciences*



## Costi della produzione dell'energia

US EIA data compative costs of electricity generation: \$ / MW hr

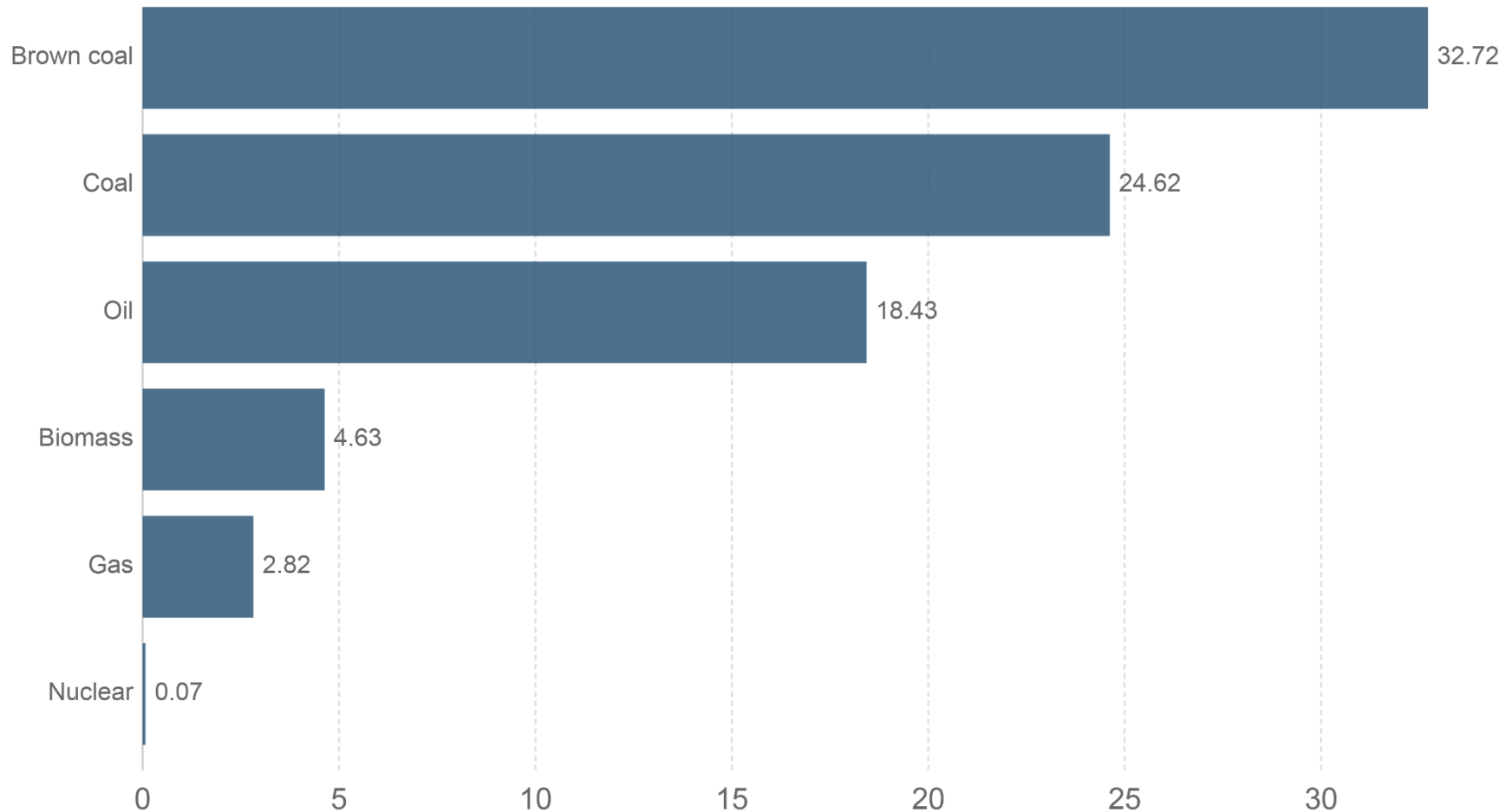




## Sicurezza nella produzione dell'energia

### Death rates from energy production per TWh

Death rates from air pollution and accidents related to energy production, measured in deaths per terawatt hours (TWh)



Source: Markandya and Wilkinson (2007)

[OurWorldInData.org/energy-production-and-changing-energy-sources/](https://OurWorldInData.org/energy-production-and-changing-energy-sources/) • CC BY-SA

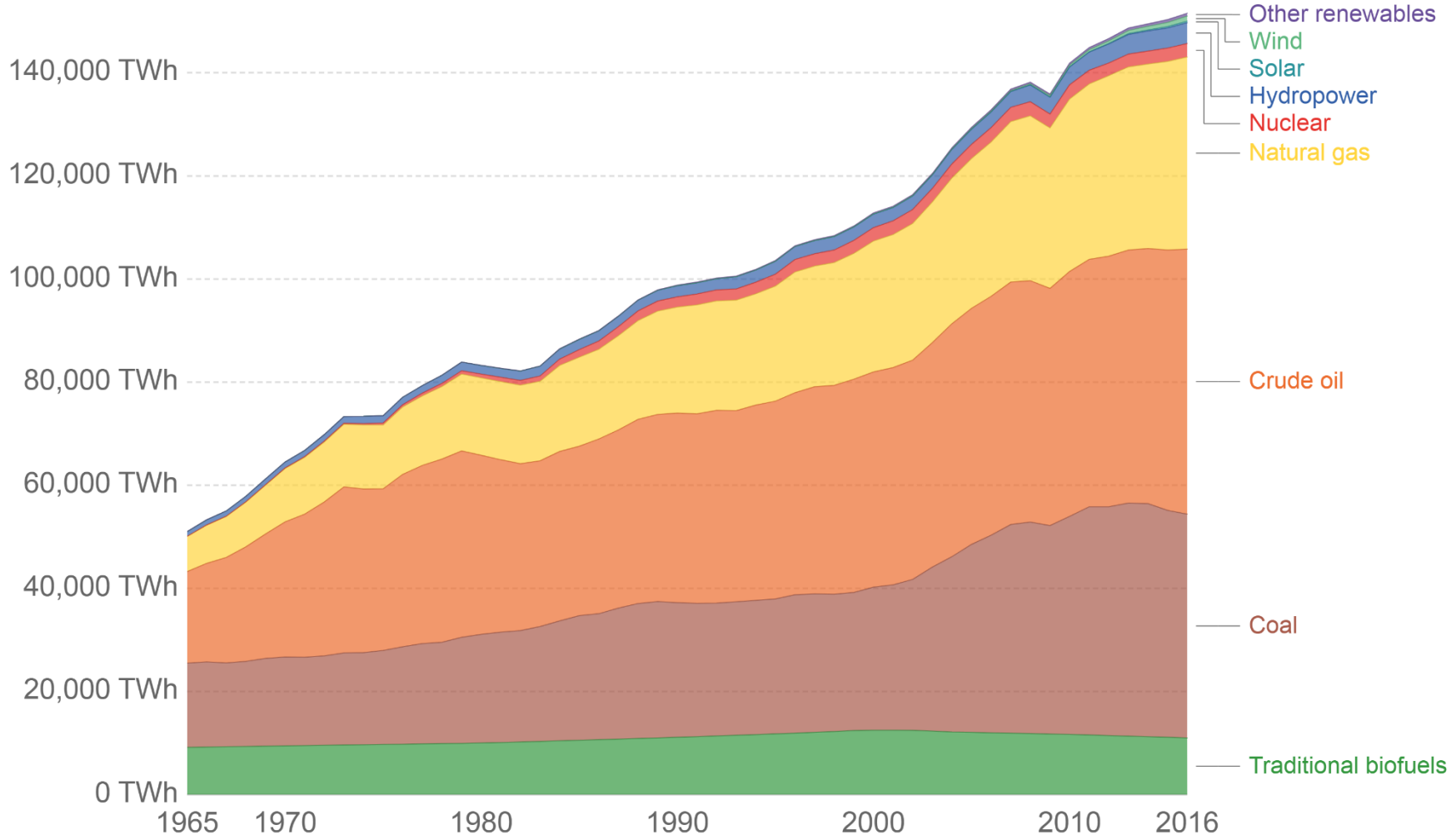
Note: Figures include deaths resulting from accidents in energy production and deaths related to air pollution impacts. Deaths related to air pollution are dominant, typically accounting for greater than 99% of the total.



## Uso delle diverse fonti energetiche a scala globale

### Global primary energy consumption

Global primary energy consumption by source, measured in terawatt-hours (TWh).



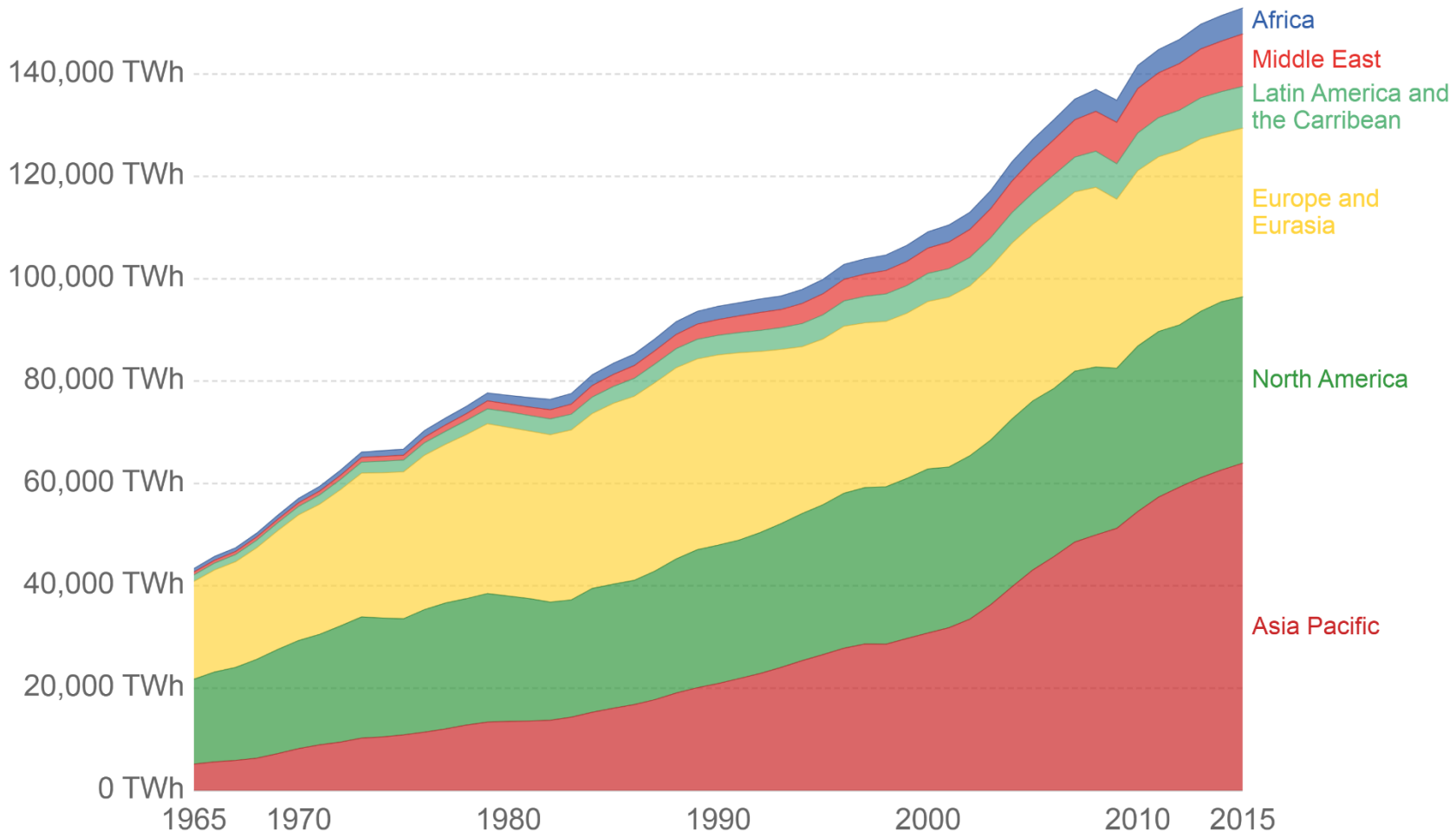
Source: Vaclav Smil (2017), Energy Transitions: Global and National Perspectives and BP Statistical Review of World Energy  
OurWorldInData.org/energy-production-and-changing-energy-sources/ • CC BY-SA



# Consumo energetico per macroregioni

## Primary energy consumption by region

Global energy consumption by region, measured in terrawatt-hours (TWh). Note that this data includes only commercially-traded fuels (coal, oil, gas), nuclear and modern renewables used in electricity production. As such, it does not include traditional biomass sources.



Source: BP Statistical Review 2016

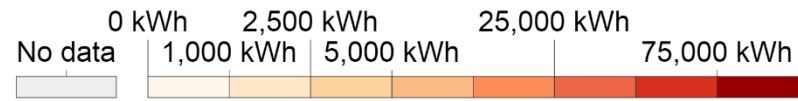
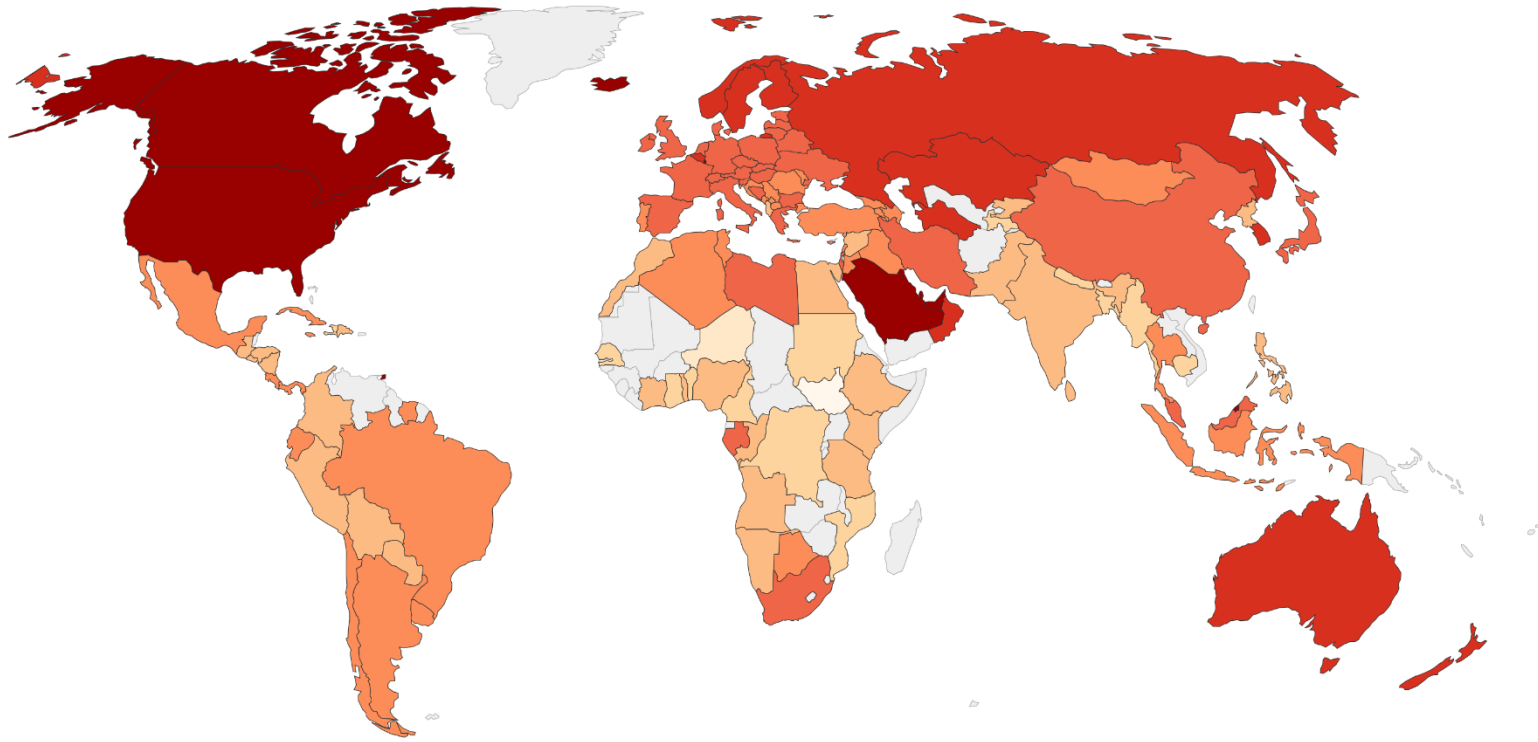




## Consumo energetico medio per abitante

### Energy use per capita, 2015

Annual average per capita energy consumption is measured in kilowatt-hours per person per year.



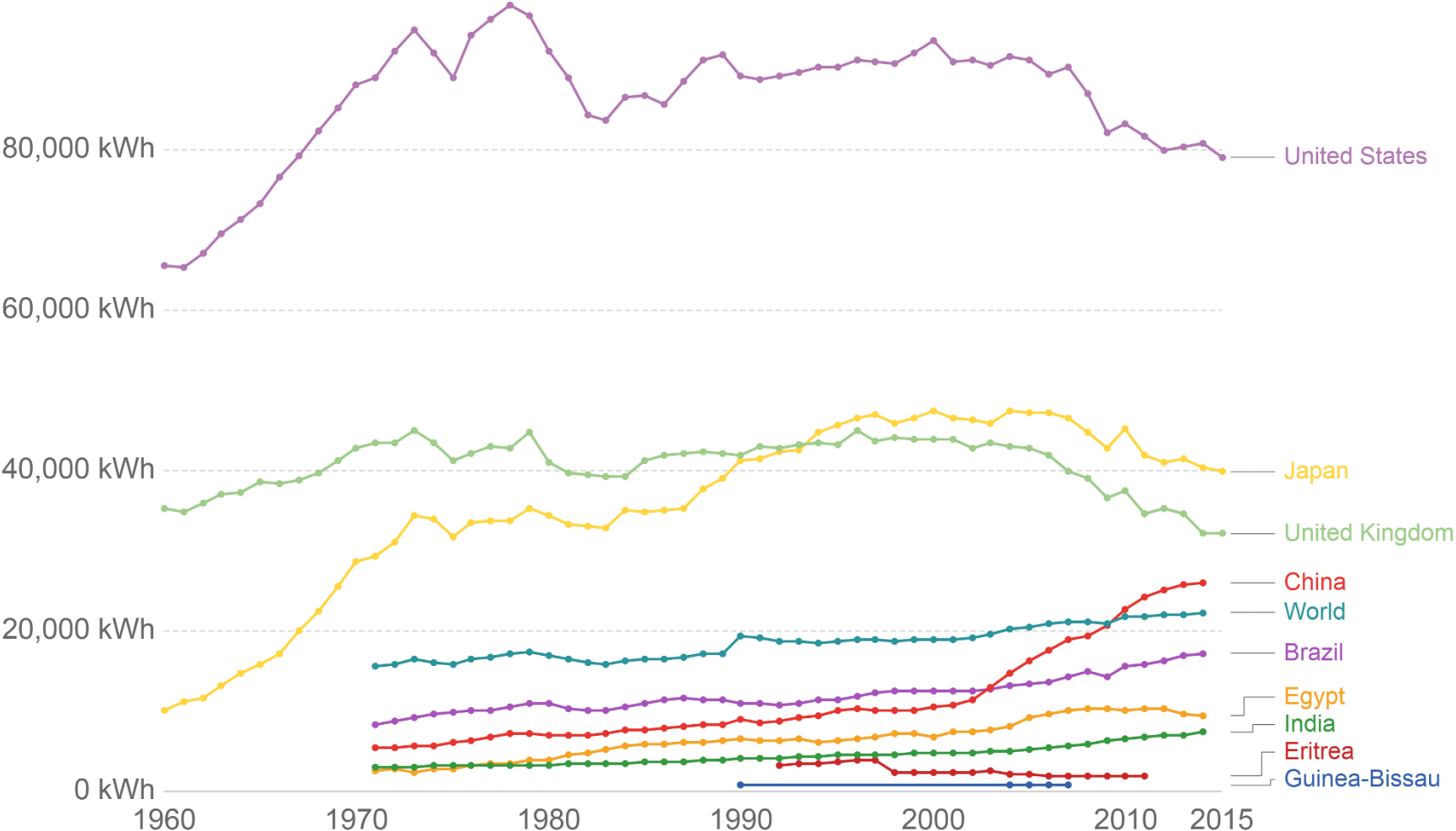
Source: International Energy Agency (IEA) via The World Bank  
OurWorldInData.org/energy-production-and-changing-energy-sources/ • CC BY-SA



## Variazione del consumo energetico medio per abitante

### Energy use per capita

Annual average per capita energy consumption is measured in kilowatt-hours per person per year.



Source: International Energy Agency (IEA) via The World Bank  
OurWorldInData.org/energy-production-and-changing-energy-sources/ • CC BY-SA



Fondato nel 1923 è costituito da oltre **90** Paesi Membri che aderiscono all'organizzazione attraverso Comitati Nazionali rappresentativi delle **realità energetiche** dei Paesi Membri. L'Organizzazione è accreditata presso le Nazioni Unite ha carattere **no profit**, non governativo, non commerciale e non allineato.

«To promote the sustainable supply and use of energy for the greatest benefit of all people»

- realizza **studi**, e **ricerche** in campo energetico i cui risultati vengono divulgati e presentati a livello internazionale,
- pubblica una **dichiarazione** su un tema energetico di particolare importanza con cui esprime la sua visione e le sue raccomandazioni,
- organizza incontri, seminari e **convegni** sulle tematiche di maggior interesse in campo energetico, collabora con Istituzioni internazionali e supporta i **policy-makers** mondiali,
- organizza ogni tre anni il **Congresso Mondiale dell'Energia**.



Entro il **2050** la domanda globale di energia primaria salirà di un valore compreso tra il 27 e il **61%**. E' quanto emerso dall'ultimo World Energy Trilemma, rapporto che valuta per 129 Paesi nel Mondo gli aspetti fondamentali del concetto di “sostenibilità energetica”.

Non è solo questo dato a preoccupare: nel mondo infatti, oltre un miliardo di persone vive ancora **senza elettricità**, mentre quasi tre miliardi di esseri umani cucinano con metodi ancora rudimentali.

### World Energy Trilemma:

“energy sustainability is based on three core dimensions – energy **security**, energy **equity**, and **environmental sustainability**”



Gli studi del **WEC** mostrano tre possibili scenari per il 2060:

**modern jazz** il mercato stesso fornirà per vie imprenditoriali l'accesso all'energia a basso costo tramite l'innovazione tecnologica.

**unfinished symphony** un approccio governativo alla questione, il più incisivo, che tramite la coordinazione politica dei vari stati del mondo permetterebbe una pianificazione a lungo termine e la salvaguardia del clima planetario.

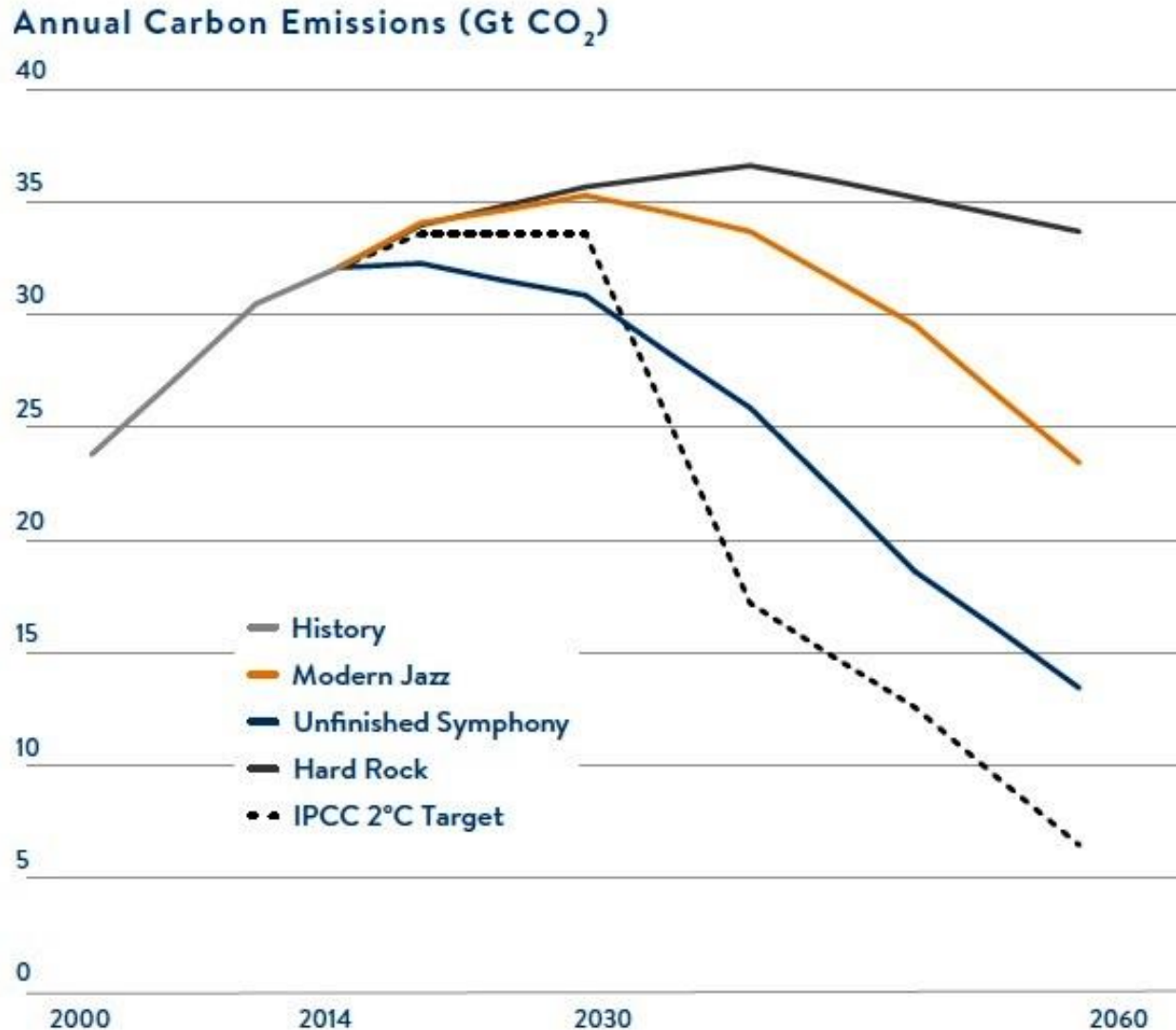
**hard rock** scenario frammentato, locale, dove si cerca sicurezza energetica senza però scendere a compromessi globali, politici o economici.

Tutti gli scenari portano a prevedere:

- il fabbisogno energetico aumenterà la sua crescita
- il fabbisogno energetico fossile globale aumenterà fino al 2030
- solare ed eolico saranno le rinnovabili più usate



### Previsioni nelle emissioni di CO<sub>2</sub> per i vari scenari





- Interesse **globale** (clima, sviluppo).
- Implicazioni **sociali** economiche e politiche (esigenze).
- Scenari **incerti** (previsioni difficili).
- Leggi del **mercato** (stato/privati).
- Ruolo della **ricerca** scientifica (ottimizzazione, novità).