

Federico Porcù, Dip. di Fisica ed Astronomia,
Alma Mater Studiorum - Università di Bologna
federico.porcu@unibo.it



**FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI**

Energia I

problema energetico, struttura atomica,
fissione nucleare

Energia II

fusione nucleare, centrali nucleari, energie
rinnovabili

Clima

sistema climatico, osservazione, modellazione
e tendenze



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

LAUREA MAGISTRALE IN FISICA DEL SISTEMA TERRA

HOME

IL CORSO

ISCRIVERSI

STUDIARE

OPPORTUNITÀ

BACHECA

CONTATTI

IT

EN

COVID-19 - Proseguire in sicurezza le attività - [Le misure dell'Alma Mater](#)





ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SECOND CYCLE DEGREE/TWO YEAR MASTER IN SCIENCE OF CLIMATE

[HOME](#) [PROGRAMME](#) [ADMISSION](#) [STUDYING](#) [OPPORTUNITIES](#) [NOTICE BOARD](#) [CONTACTS](#)

[IT](#) [EN](#)

COVID-19 - Resuming activities safely - [The measures adopted by the University of Bologna](#)





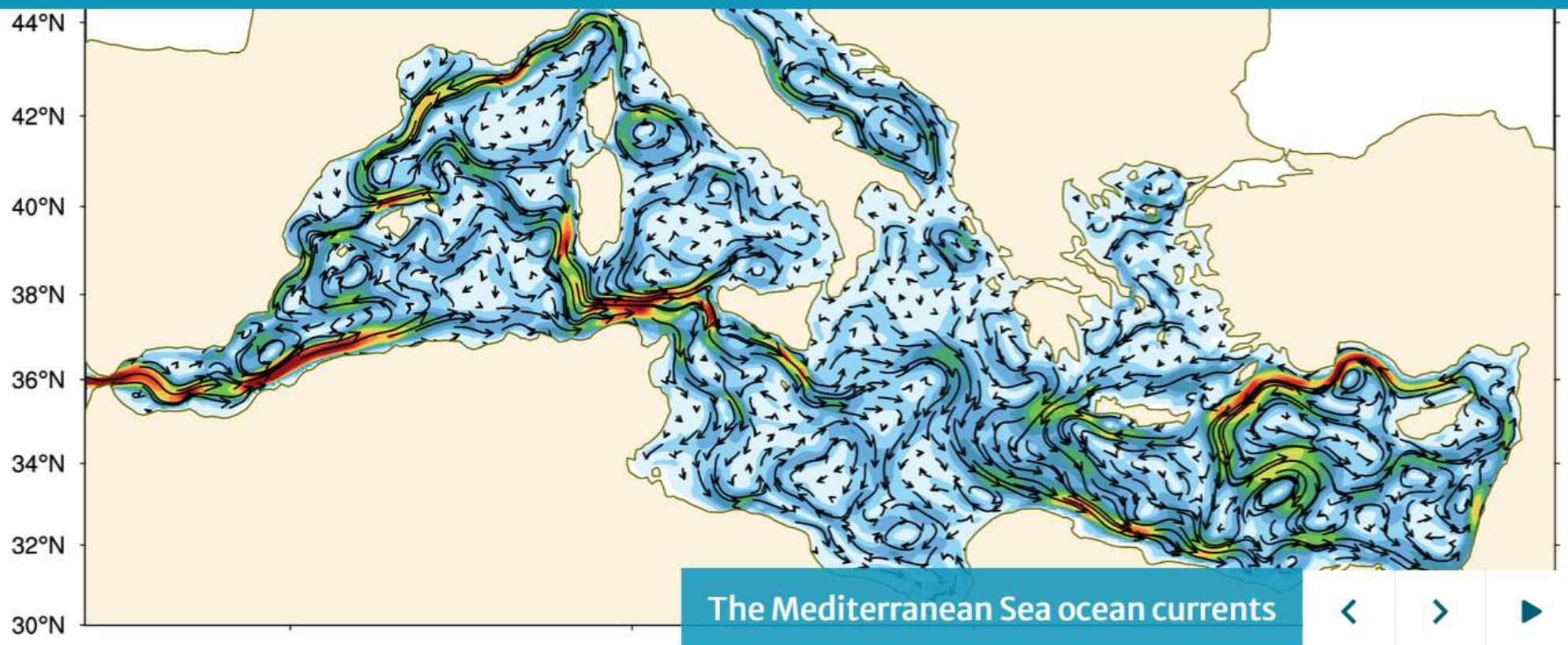
ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

PHD PROGRAMME
FUTURE EARTH, CLIMATE CHANGE AND SOCIETAL
CHALLENGES

IT EN

HOME THE PROGRAM ▾ STAFF/LECTURERS COURSES/TRAINING PARTNERS/SPONSORS HOW TO APPLY CONTACTS

STUDENTS ENROLLED ▾





**FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI**

Il problema energetico

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



unità di misura: energia

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

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

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

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

$$1 \text{ tep} = 41.87 \text{ GJ}$$

$$1 \text{ MTOE} = 4.1868 \cdot 10^{16} \text{ J}$$

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

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

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;

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**;

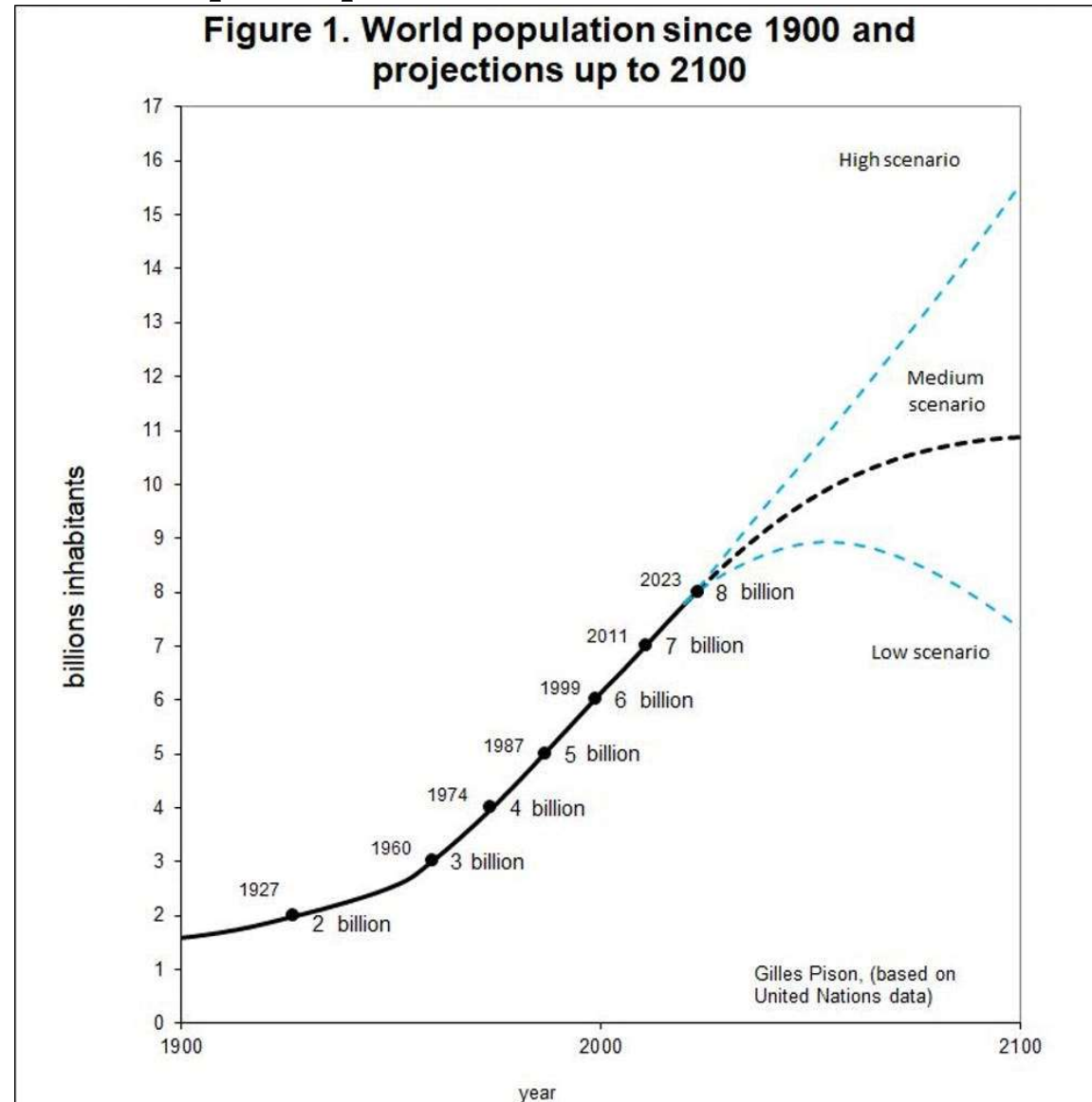
va affrontato a **diverse scale**, con approccio **multidisciplinare**.

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 7.9 miliardi attuali a ~~11~~ ~~10~~ 9.7 miliardi nel 2050



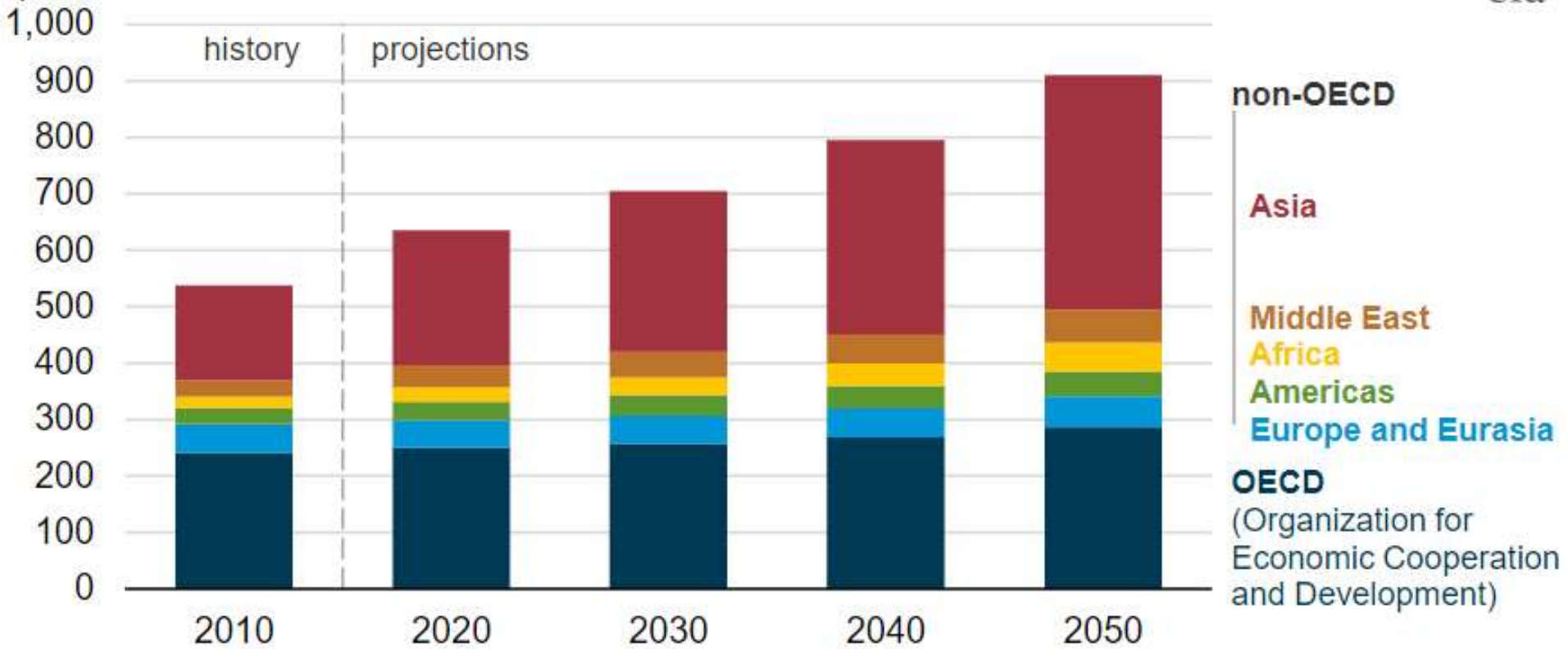
definizione del problema



2) l'aumento dei bisogni energetici dei paesi in via di sviluppo

Global primary energy consumption by region (2010-2050)

quadrillion British thermal units

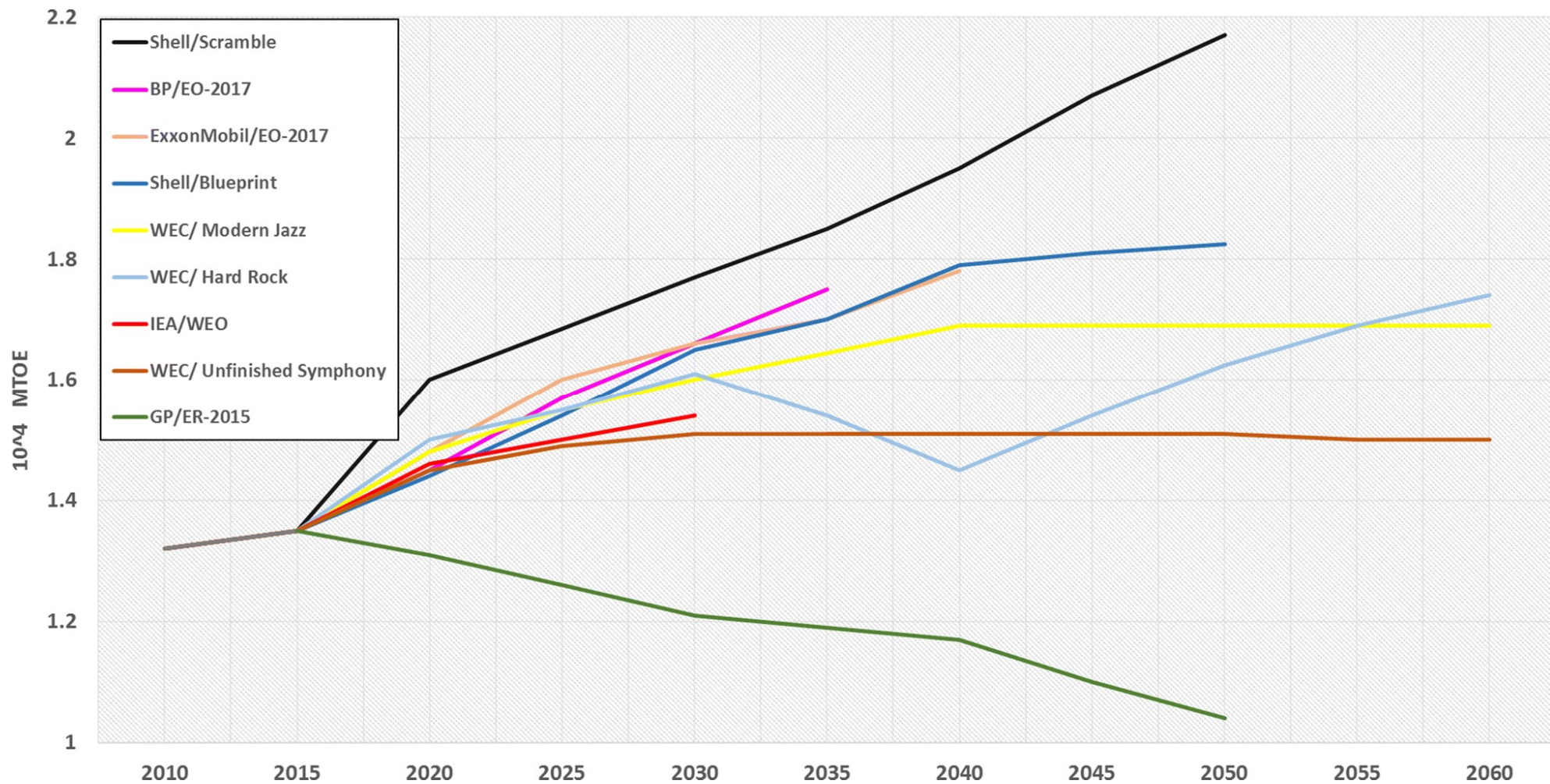


Source: U.S. Energy Information Administration, *International Energy Outlook 2019* Reference case

definizione del problema



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

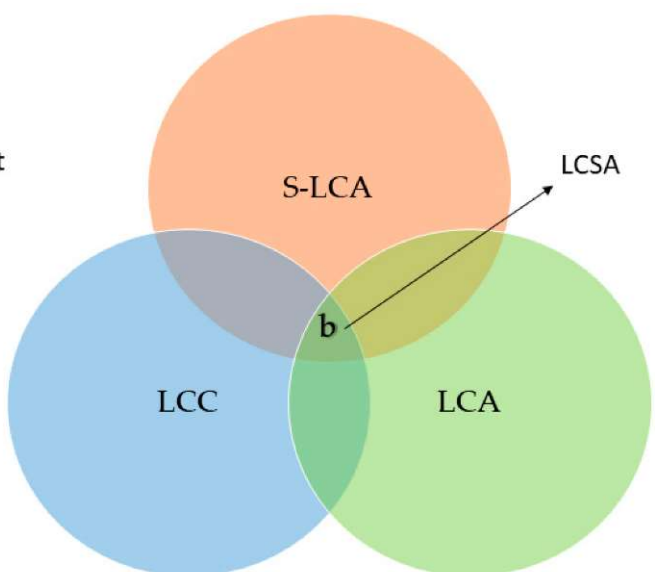
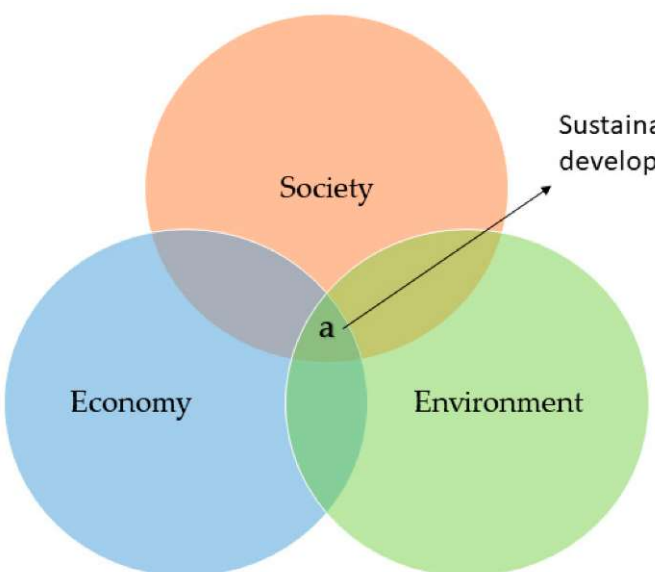
E

- 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 - LCSA

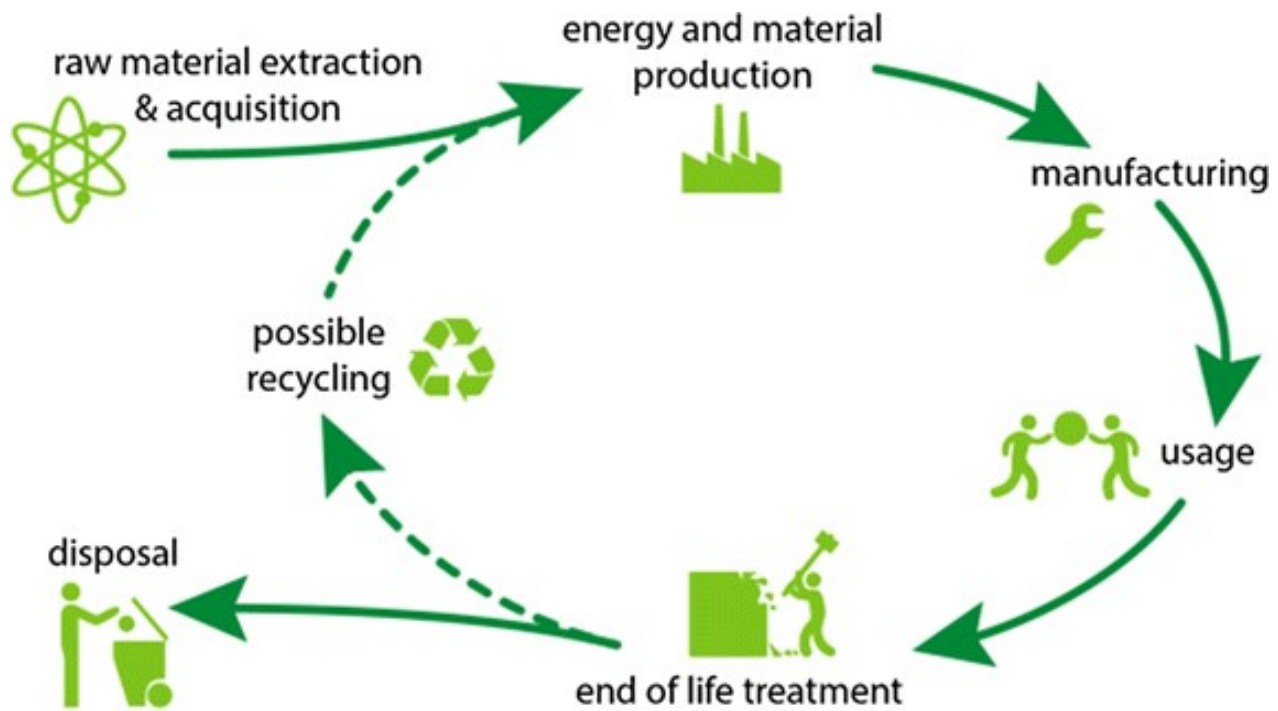


Life Cycle Costing

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,),
- 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



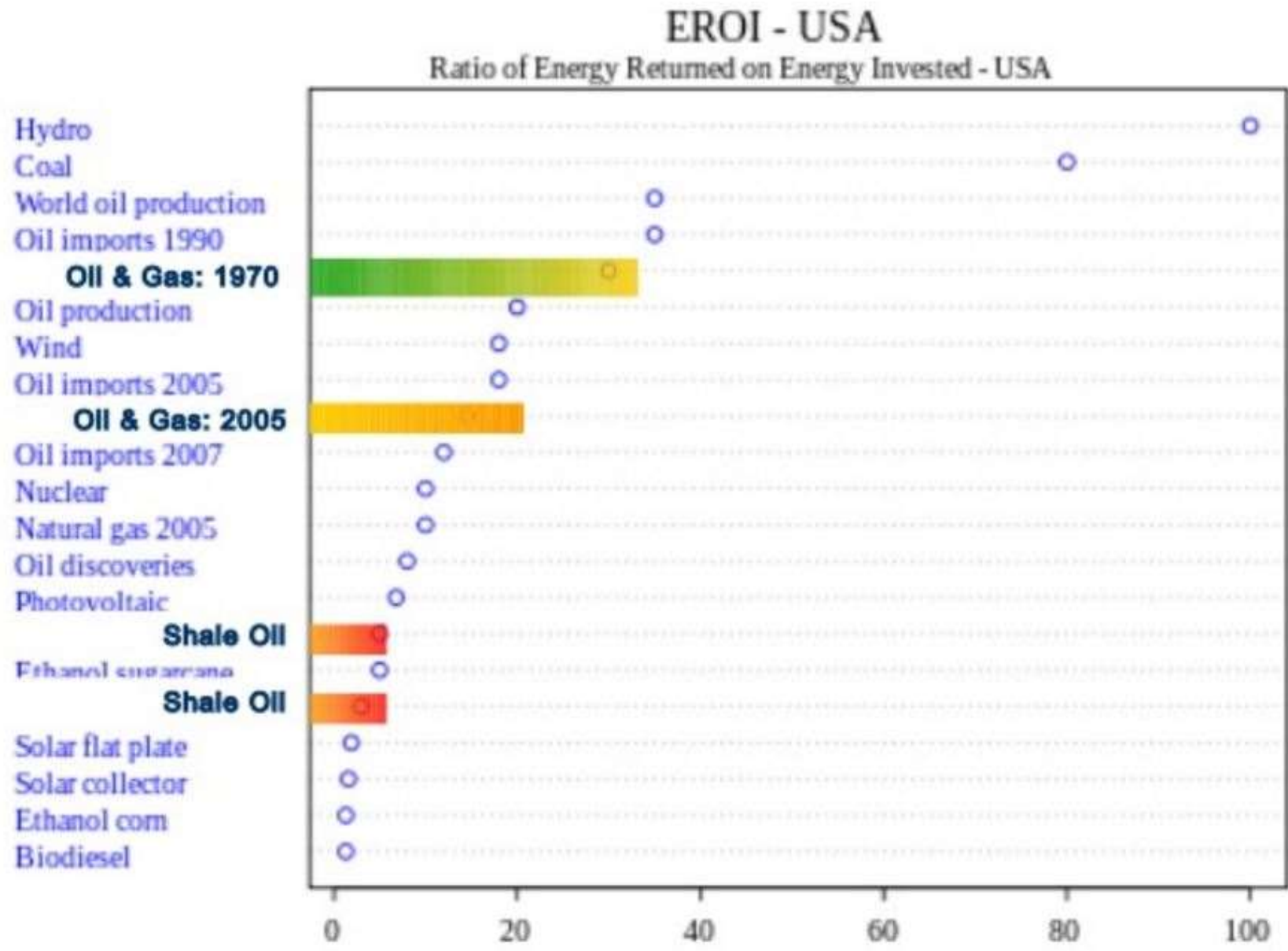
Esempio di reazione nucleare

fissione U^{235}





Energy Returned on Energy Invested



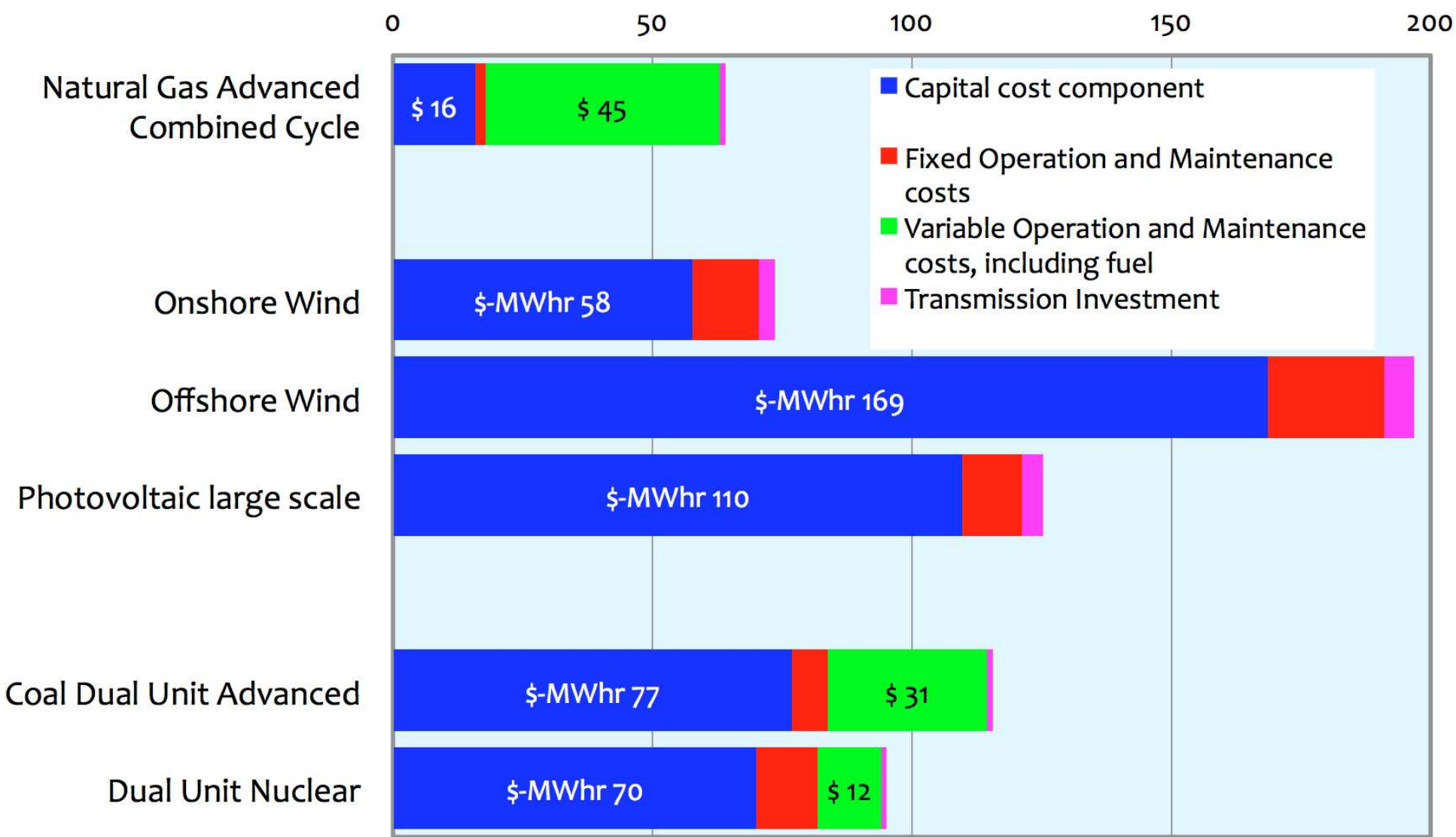
REF Murphy, D.J.; Hall, C.A.S. (2010). **Year In review EROI or energy return on (energy) invested**. *Annals of the New York Academy of Sciences*

fonti energetiche



Costi della produzione dell'energia

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

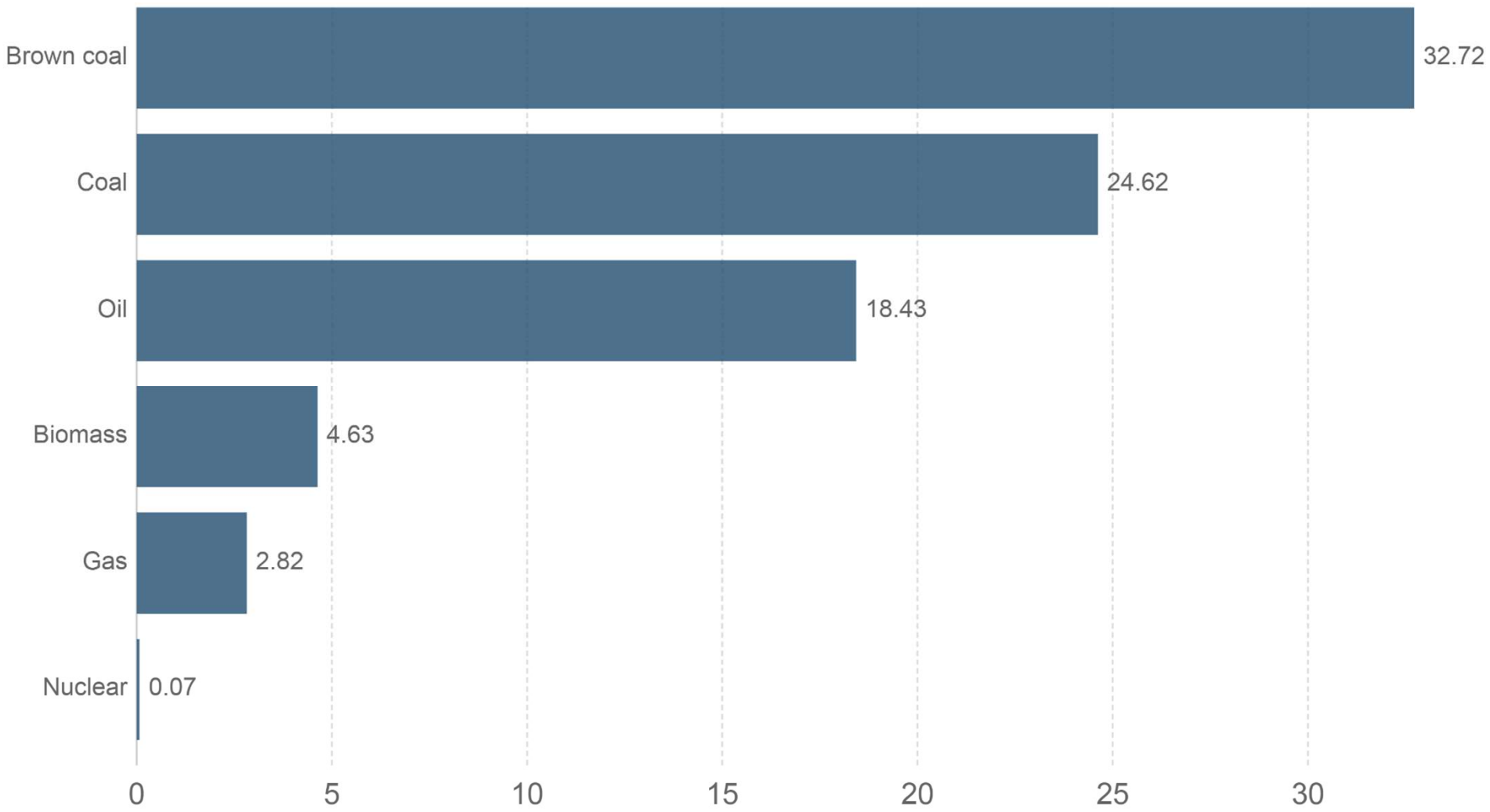




Sicurezza nella produzione dell'energia

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)



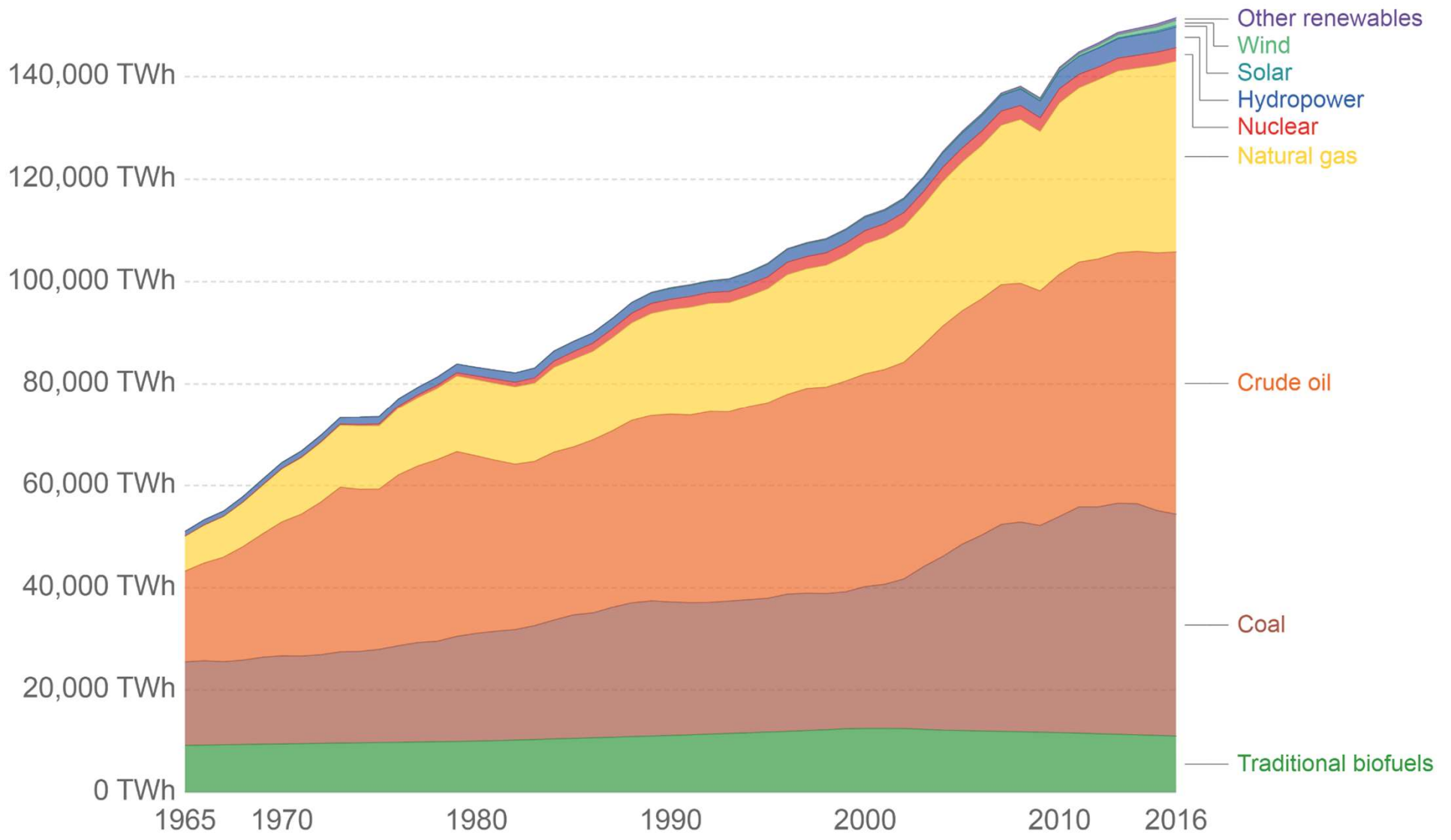
Source: Markandya and Wilkinson (2007) OurWorldInData.org/energy-production-and-changing-energy-sources/ • CC BY-SA
Note: Figures include deaths resulting from accidents in energy production and deaths related to air pollution impacts. Deaths related to air pollution are dominant, typically accounting 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).



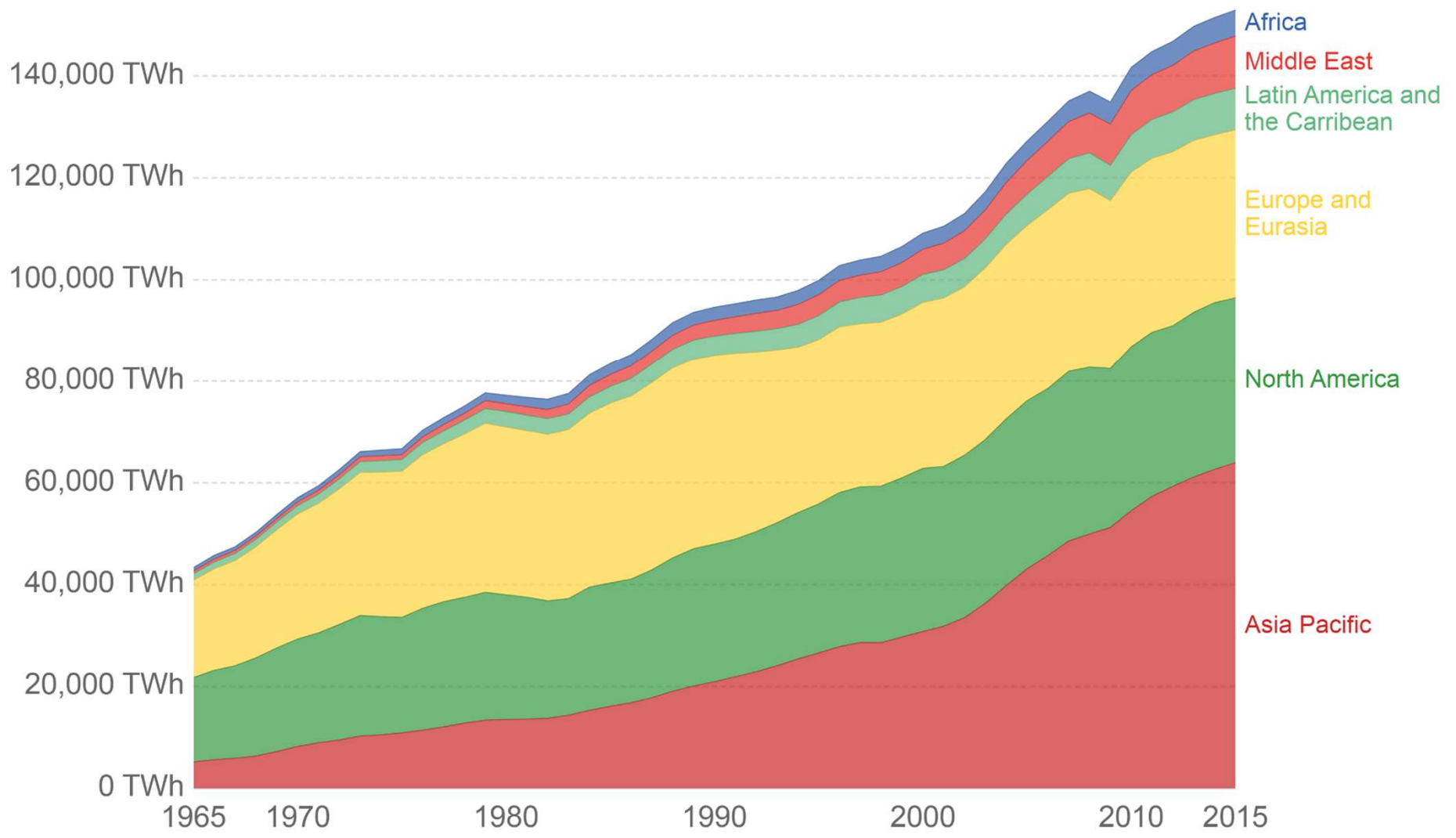
Source: Vaclav Smil (2017), Energy Transitions: Global and National Perspectives and BP Statistical Review of World Energy
OurWorldInData.org/energy-production-and-changing-energy-sources/ • CC BY-SA



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.



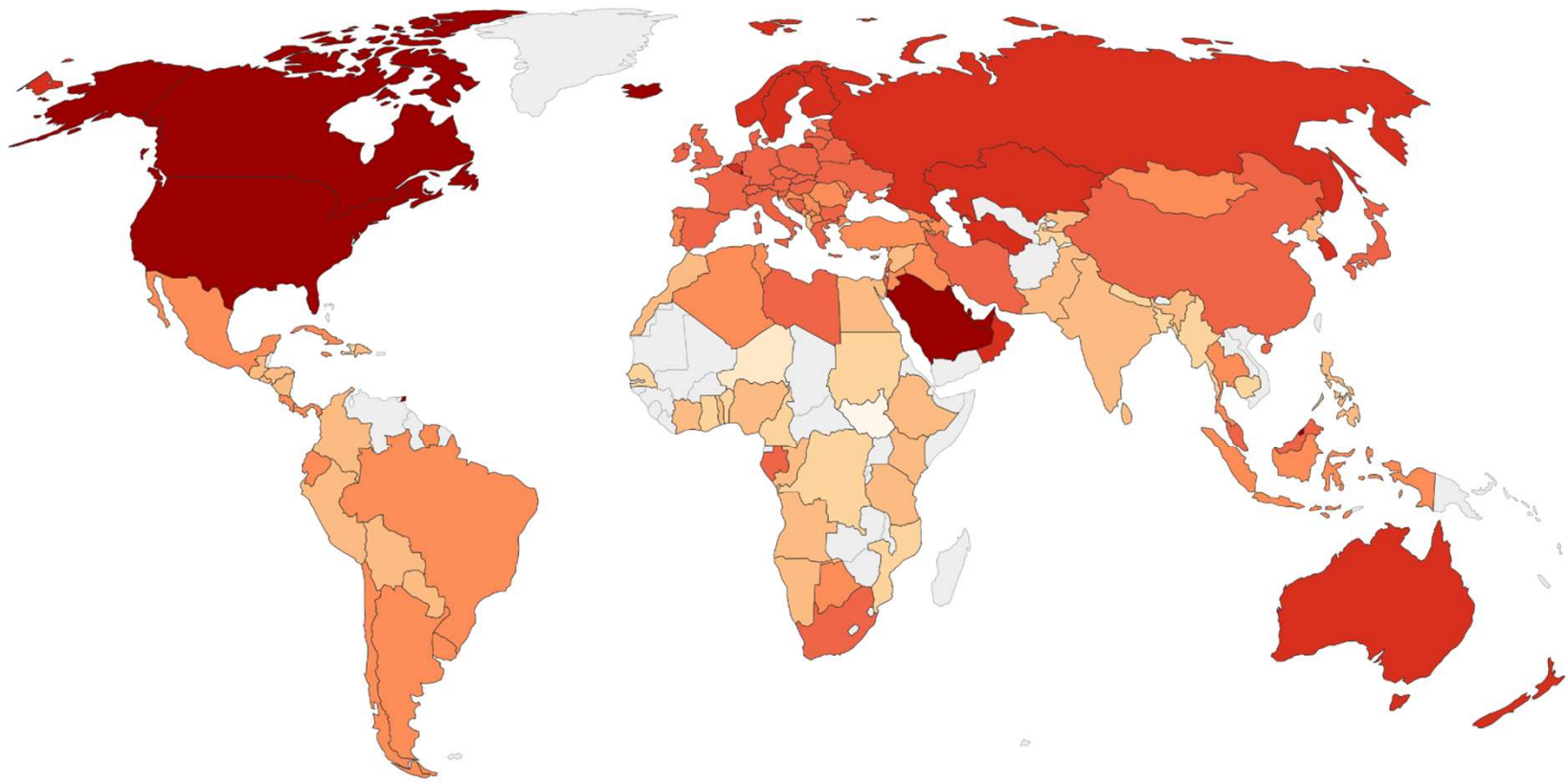
Source: BP Statistical Review 2016

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.



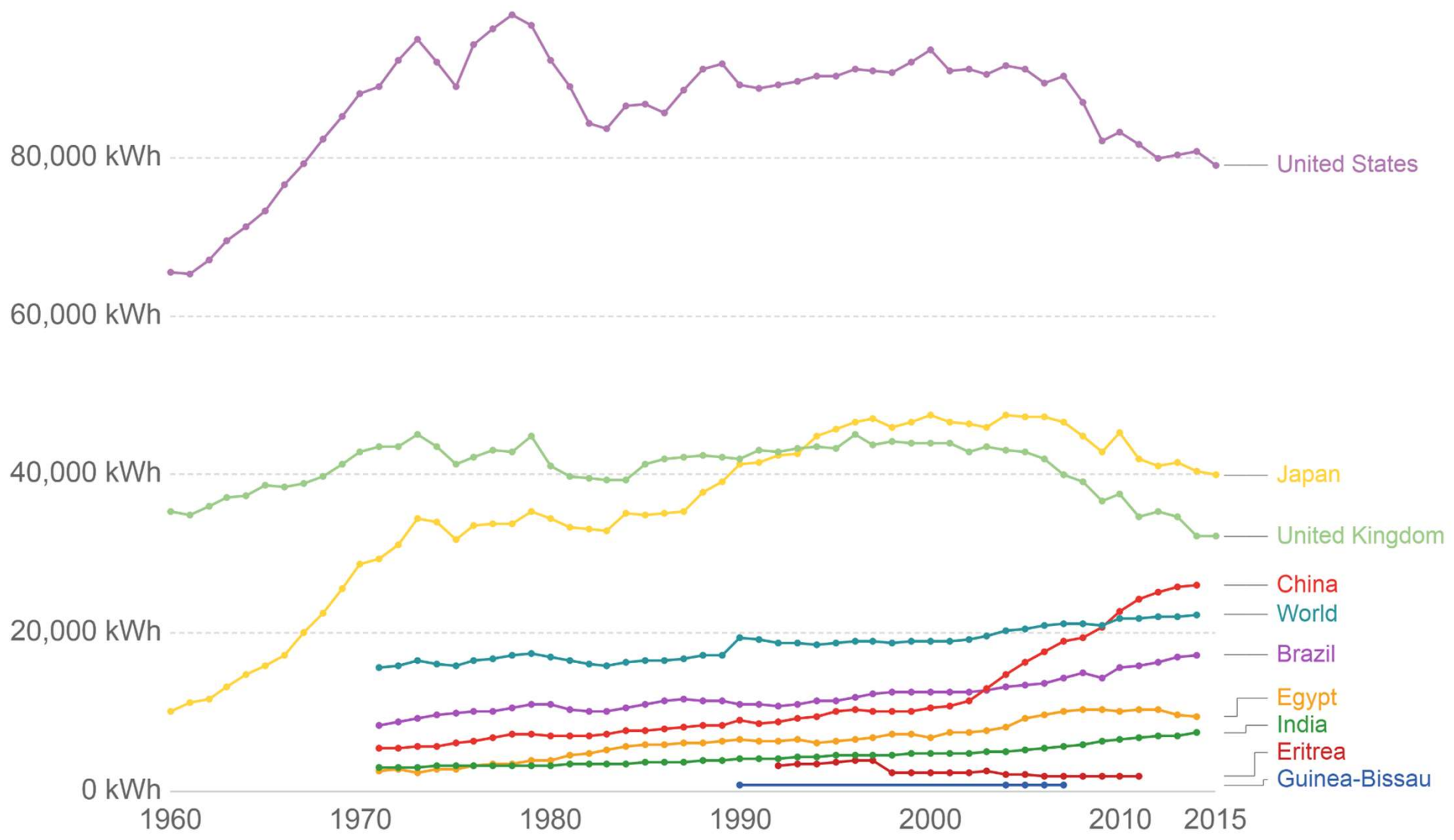
Source: International Energy Agency (IEA) via The World Bank
OurWorldInData.org/energy-production-and-changing-energy-sources/ • CC BY-SA



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**.

scenari futuri

World Energy Council



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.

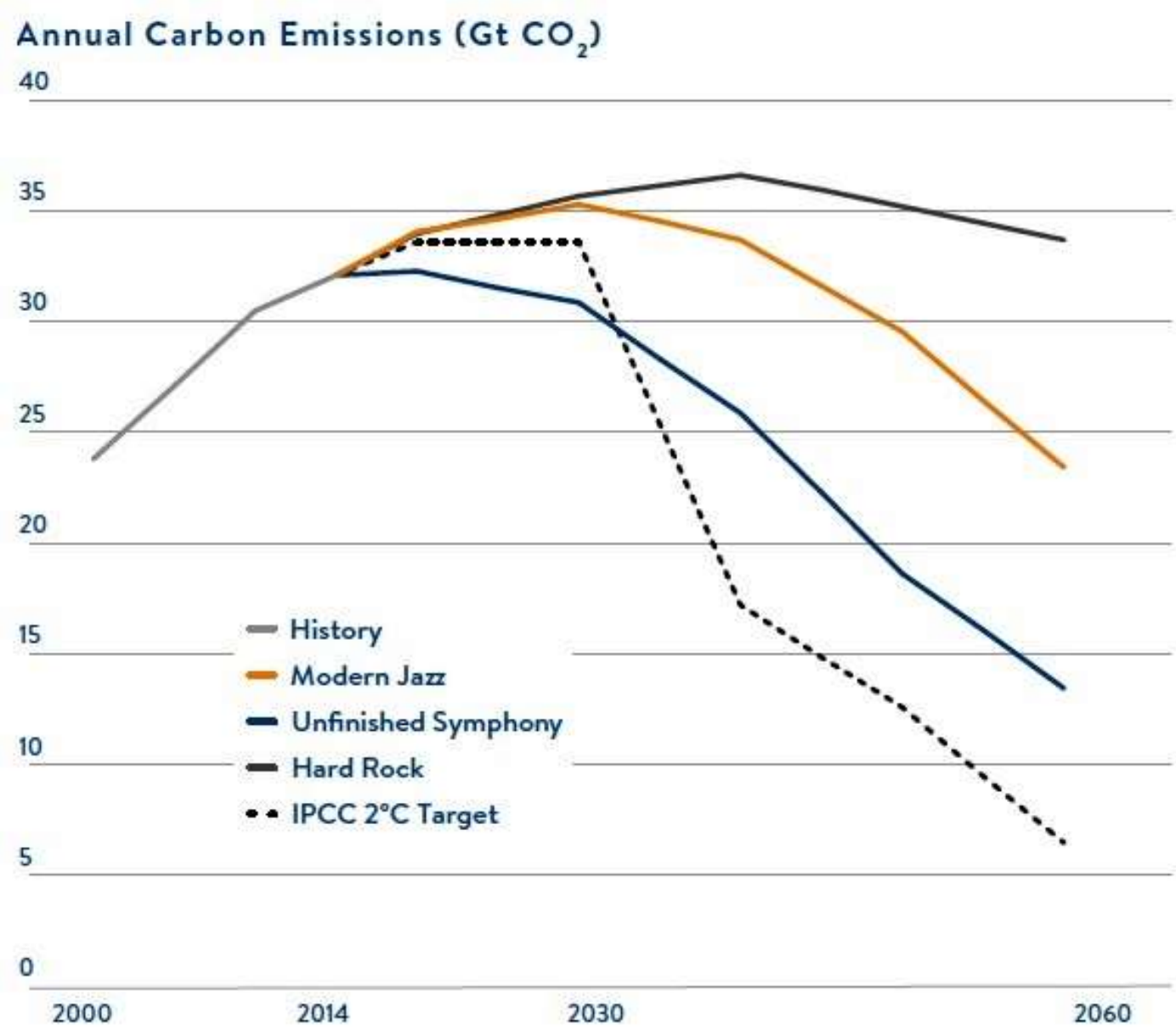
hard rock scenario frammentato, locale, dove si cerca sicurezza energetica senza però scendere a compromessi globali, politici o economici.

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 CO₂ per i vari scenari

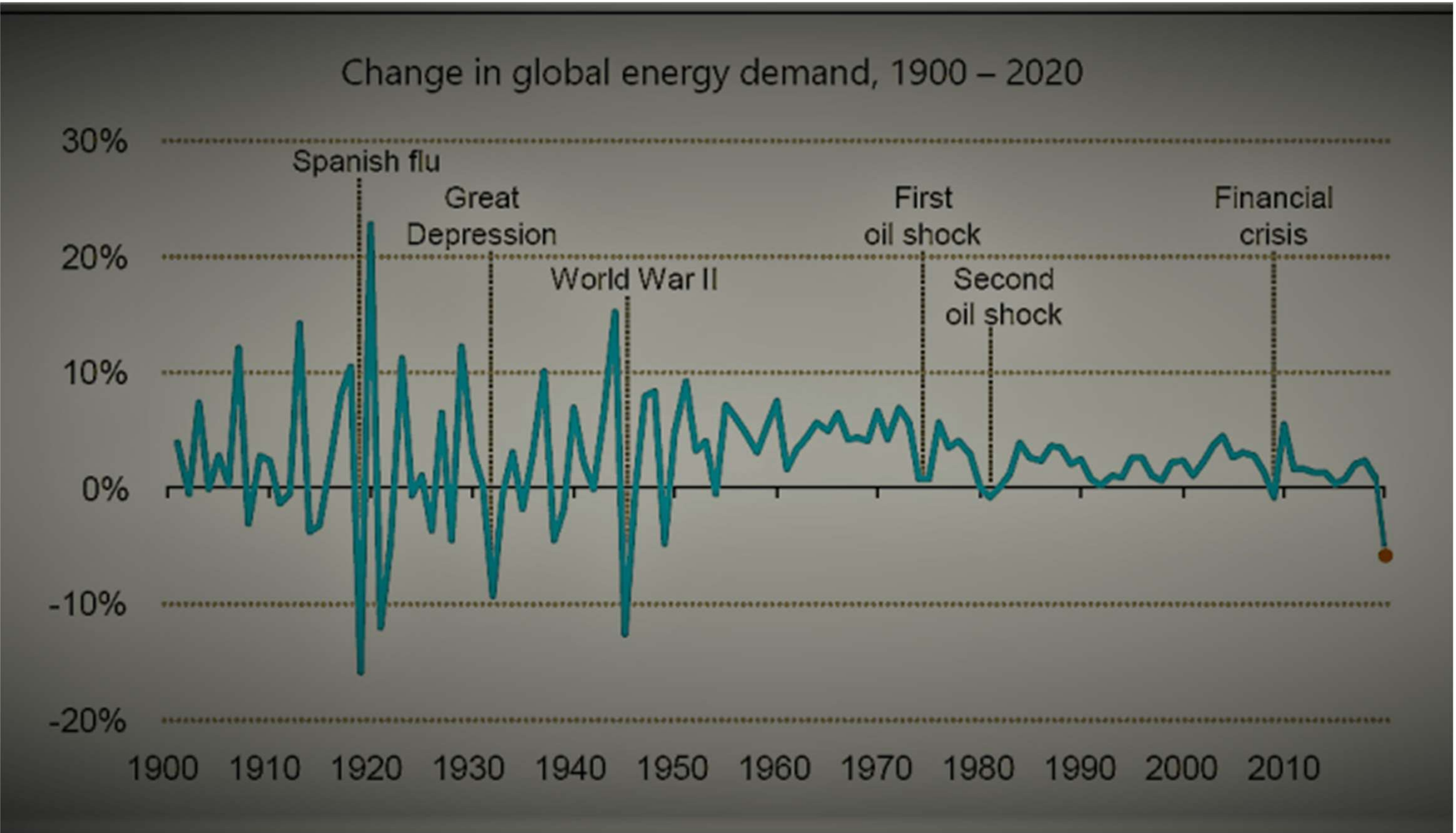


scenari futuri – imprevisti



International Energy Agency

Impatto della pandemia sul consumo energetico globale

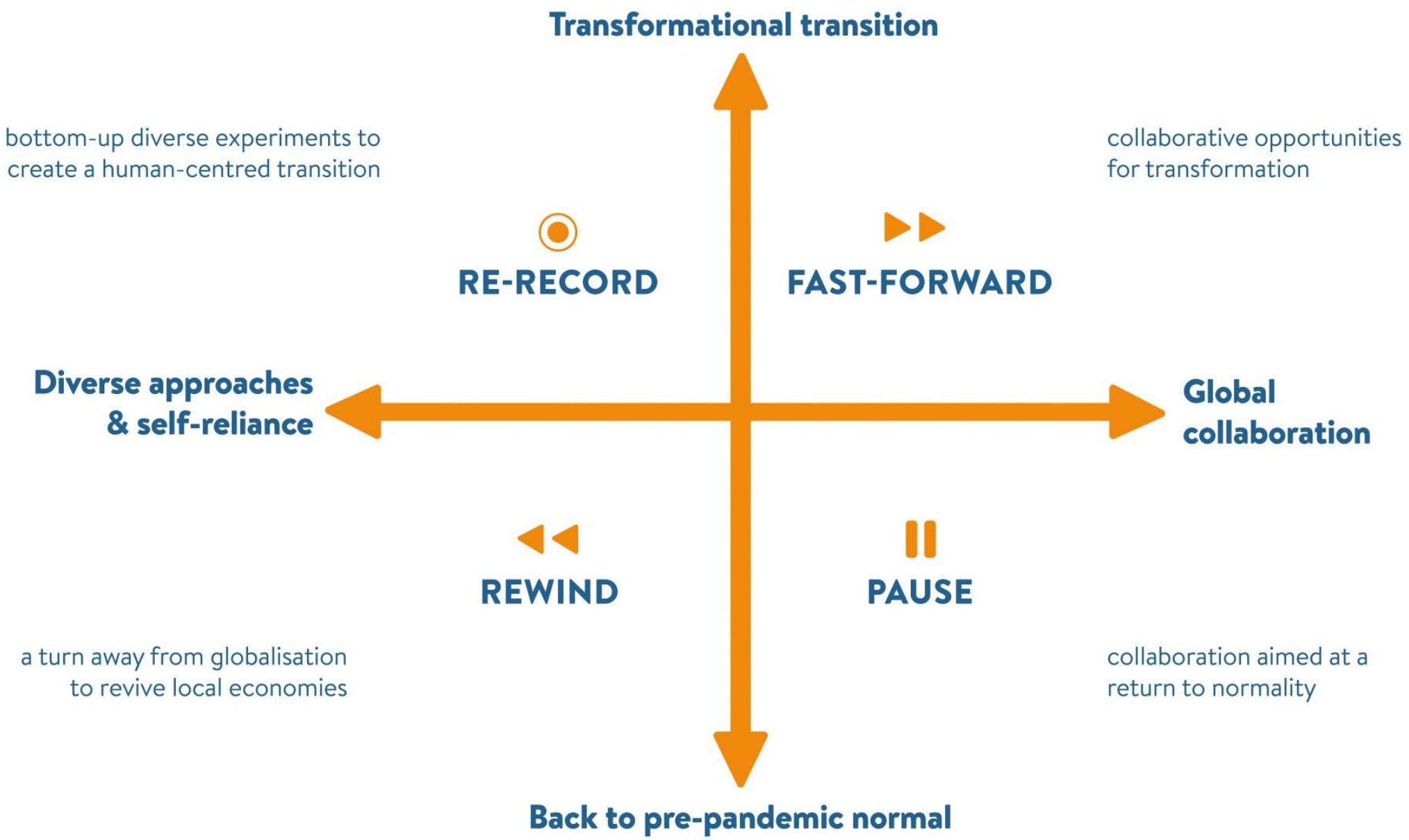


scenari futuri – post epidemia

World Energy Council



Diversi scenari per l'uscita dall'emergenza





scenari futuri – post guerra (?)

Se attuate quest'anno, le misure qui proposte potrebbero ridurre le importazioni di gas russo di oltre un terzo, con ulteriori opzioni temporanee per portare tali riduzioni fino a ben oltre la metà degli attuali consumi e, nel contempo, diminuire le emissioni inquinanti.

Azione 1



Non firmare alcun nuovo contratto di fornitura di gas con la Russia

Impatto: approfittare dell'imminente scadenza dei contratti a lungo termine con la Russia ridurrà i livelli minimi contrattuali di "take-or-pay" per le importazioni russe e consentirà una maggiore diversificazione delle forniture.

Azione 2



Sostituire le forniture di gas russo con gas proveniente da fonti alternative

Impatto: incremento di circa 30 miliardi di metri cubi la fornitura di gas proveniente da fonti non russe.

Azione 3



Introdurre obblighi minimi di stoccaggio del gas per aumentare la resilienza del mercato

Impatto: aumento della resilienza del sistema del gas, sebbene i fabbisogni di iniezioni più robuste per rimpinguare i livelli di stoccaggio nel 2022 incrementeranno la domanda di gas e determineranno un aumento dei prezzi.

Azione 4



Accelerare la realizzazione di nuovi progetti eolici e solari

Impatto: ulteriori 35 TWh generati da nuovi progetti nel settore delle rinnovabili nel corso del prossimo anno, che si aggiungono al già previsto aumento della generazione da queste fonti, riducendo il consumo di gas di 6 miliardi di metri cubi.

Azione 5



Massimizzare la generazione dalle attuali fonti dispacciabili a basse emissioni: bioenergia e nucleare

Impatto: ulteriori 70 TWh generati dalle attuali fonti dispacciabili a basse emissioni, riducendo di 13 miliardi di metri cubi il consumo di gas per l'elettricità.

Azione 6



Attuare misure a breve termine per proteggere dal caro prezzi dell'elettricità i consumatori vulnerabili

Impatto: riduce gli importi delle bollette per i consumatori anche quando i prezzi del gas naturale rimangono elevati, rendendo disponibili fino a 200 miliardi di euro per ammortizzare gli impatti sulle fasce di consumatori vulnerabili.

Azione 7



Accelerare la sostituzione delle caldaie a gas con pompe di calore

Impatto: risparmio di ulteriori 2 miliardi di metri cubi di gas per riscaldamento in un anno.

Azione 8



Accelerare gli interventi di efficientamento energetico degli edifici e dell'industria

Impatto: riduce il consumo di gas per riscaldamento di ulteriori 2 miliardi di metri cubi circa in un anno, abbassando il costo delle bollette, migliorando i livelli di comfort e potenziando la competitività industriale.

Azione 9



Incoraggiare i consumatori a regolare temporaneamente il termostato su temperature più basse

Impatto: ridurre di appena 1°C la temperatura sul termostato degli impianti di riscaldamento degli edifici farebbe diminuire la domanda di gas di circa 10 miliardi di metri cubi all'anno.

Azione 10



Intensificare gli sforzi volti a diversificare e decarbonizzare le fonti di flessibilità del sistema elettrico

Impatto: una forte spinta all'innovazione nel breve termine può, nel tempo, attenuare la profonda interrelazione tra la fornitura di gas naturale e la sicurezza dell'approvvigionamento elettrico in Europa. I sistemi di segnalazione dei prezzi dell'elettricità in tempo reale possono favorire una domanda più flessibile, riducendo altresì i picchi, costosi e ad alta intensità di gas.

International Energy Agency

IEA (2022), A 10-Point Plan to Reduce the European Union's Reliance on Russian Natural Gas, IEA, Paris
<https://www.iea.org/reports/a-10-point-plan-to-reduce-the-european-unions-reliance-on-russian-natural-gas>



- 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).
- **Imprevisti...**