



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Dipartimento di
**Ingegneria
e Architettura**

La Transizione Energetica

Elettrotecnica

A.A. 2025 - 2026

Prof. Alessandro Massi Pavan – apavan@units.it

La transizione energetica

- L'elettrotecnica comprende due principali tipi di applicazioni: applicazioni per l'informazione e applicazioni per l'**energia**
- Queste ultime sono oggi al centro di una transizione epocale che riguarda le risorse primarie utilizzate:
fonti fossili → fonti rinnovabili
- Una seconda transizione riguarda il vettore energetico energia elettrica: **generazione centralizzata**
→ **generazione ibrida centralizzata/distribuita**

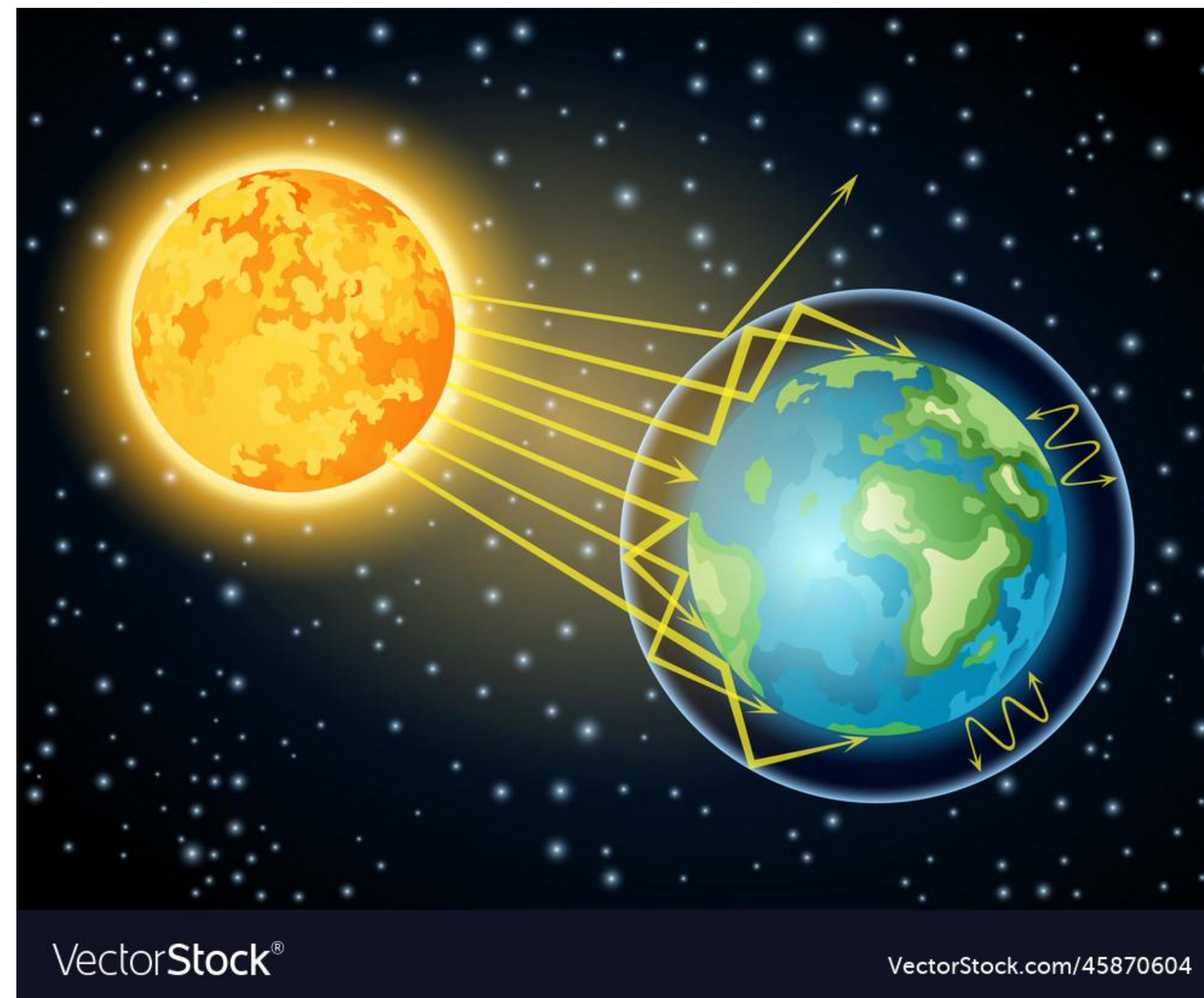
La transizione energetica

- Questa seconda transizione vede un'elettrificazione sempre più spinta dei consumi energetici
- Sempre più utilizzatori sono elettrici:
veicoli, pompe di calore, fornelli a induzione, ...
- Nuovi generatori distribuiti entrano nelle nostre case
- Le tecnologie ICT sono fondamentali per abilitare la transizione
- Così come il nuovo mercato elettrico in cui tutto è in divenire

Fonti energetiche primarie

Sono direttamente **reperibili in natura**

Combustibili fossili, radiazione solare, vento, biomasse ...



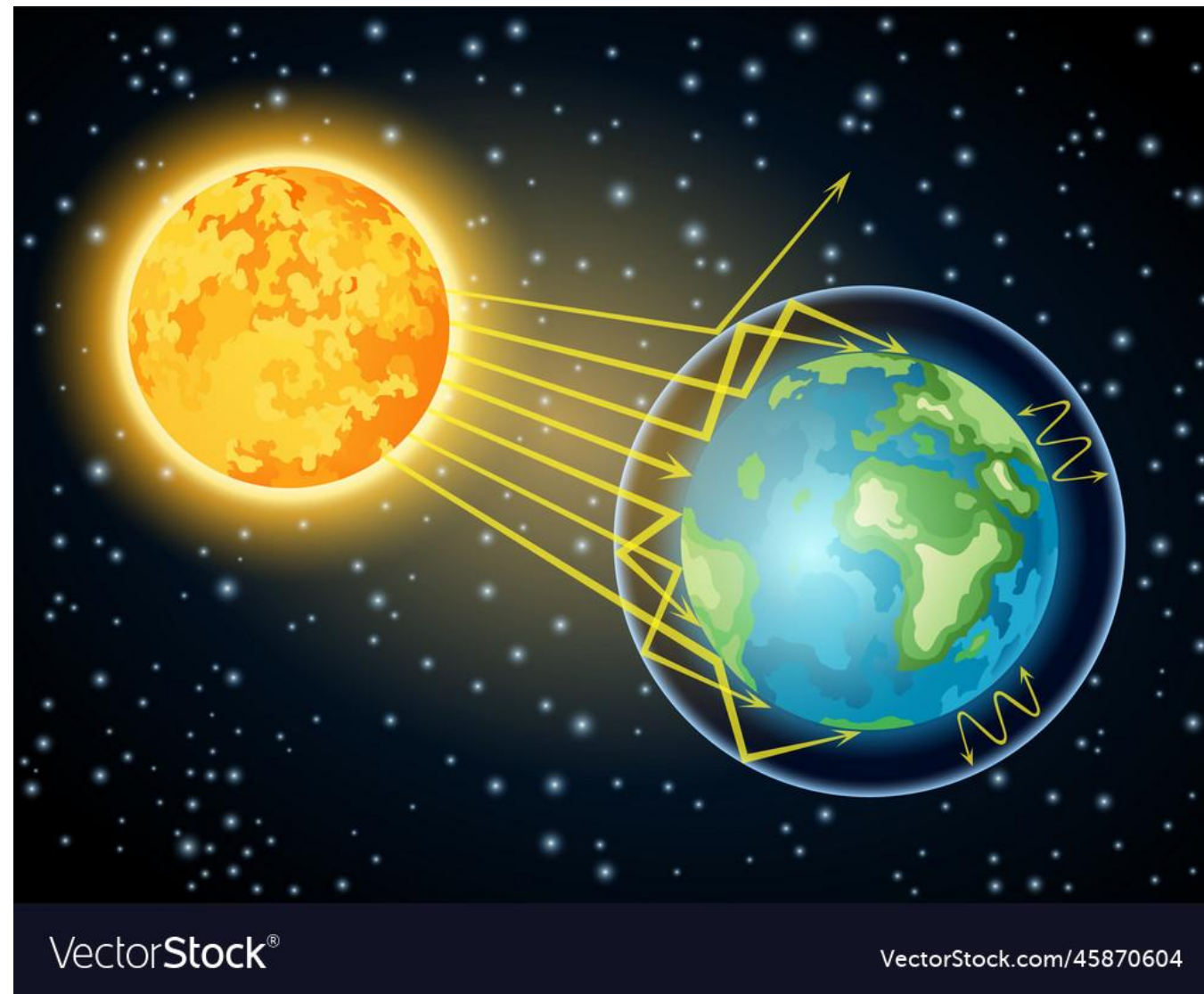
Fonti rinnovabili

Fonti energetiche che **non si esauriscono** in quanto vengono reintegrate nel sistema a una velocità maggiore rispetto al loro consumo



Fonti alternative

Fonti energetiche **diverse dai combustibili fossili**



Vettori energetici

Sostanze che possono essere convertite in altre forme come, ad esempio, calore o lavoro meccanico e quindi utilizzate «direttamente»

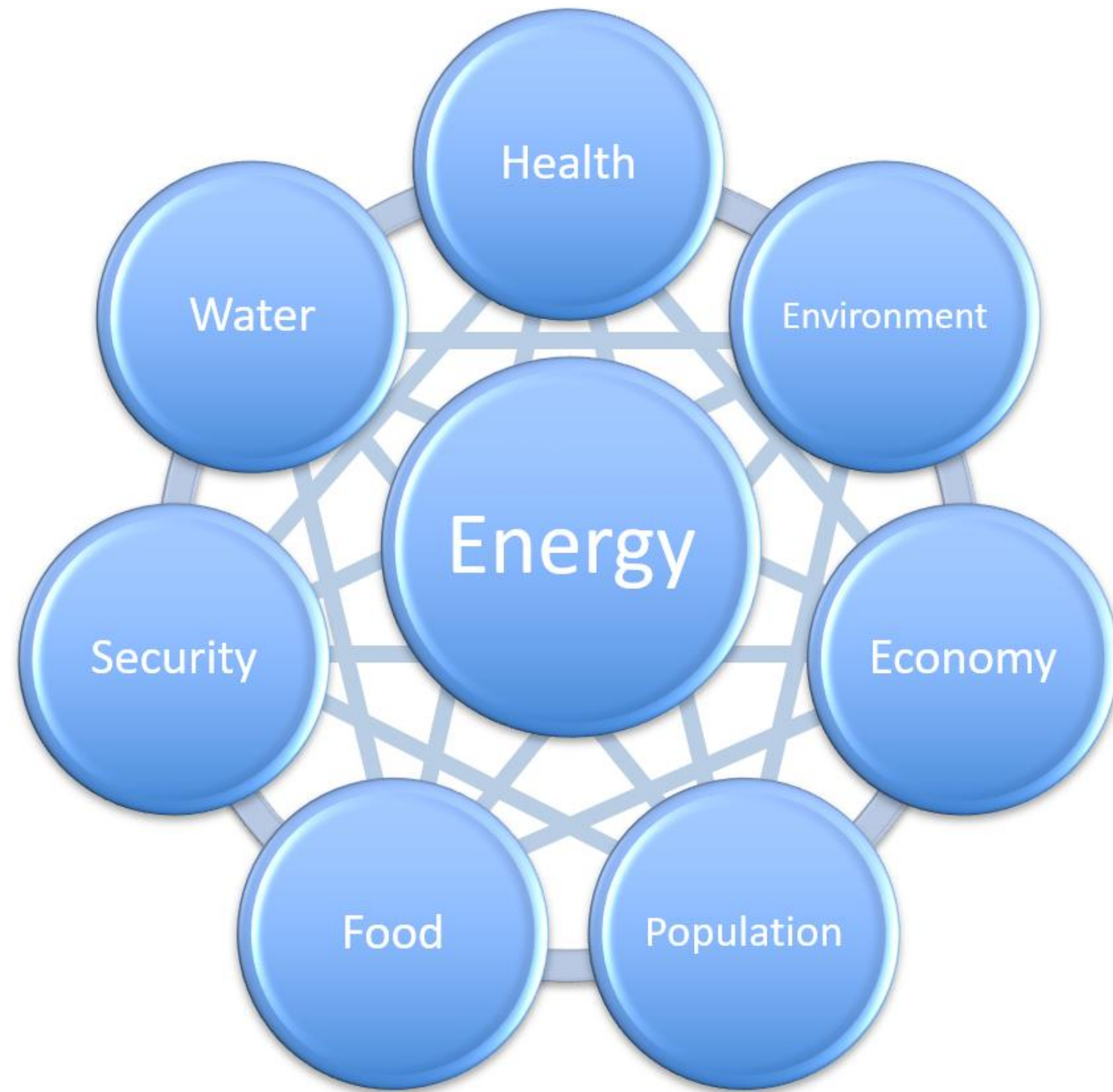
Alcuni esempio sono l'energia elettrica, l'idrogeno, la benzina, ...



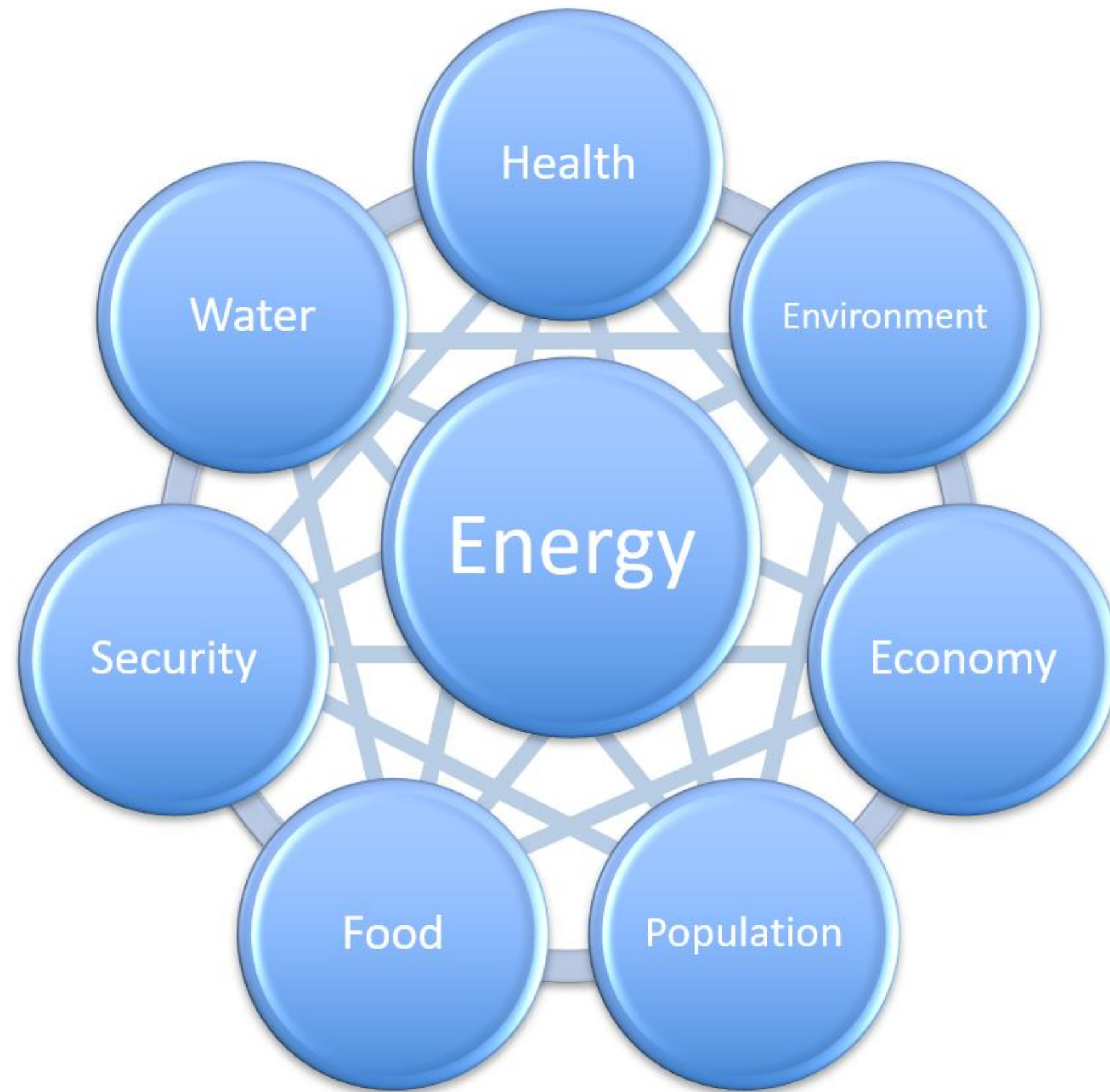
Complessità del sistema energetico



Complessità del sistema energetico



Complessità del sistema energetico



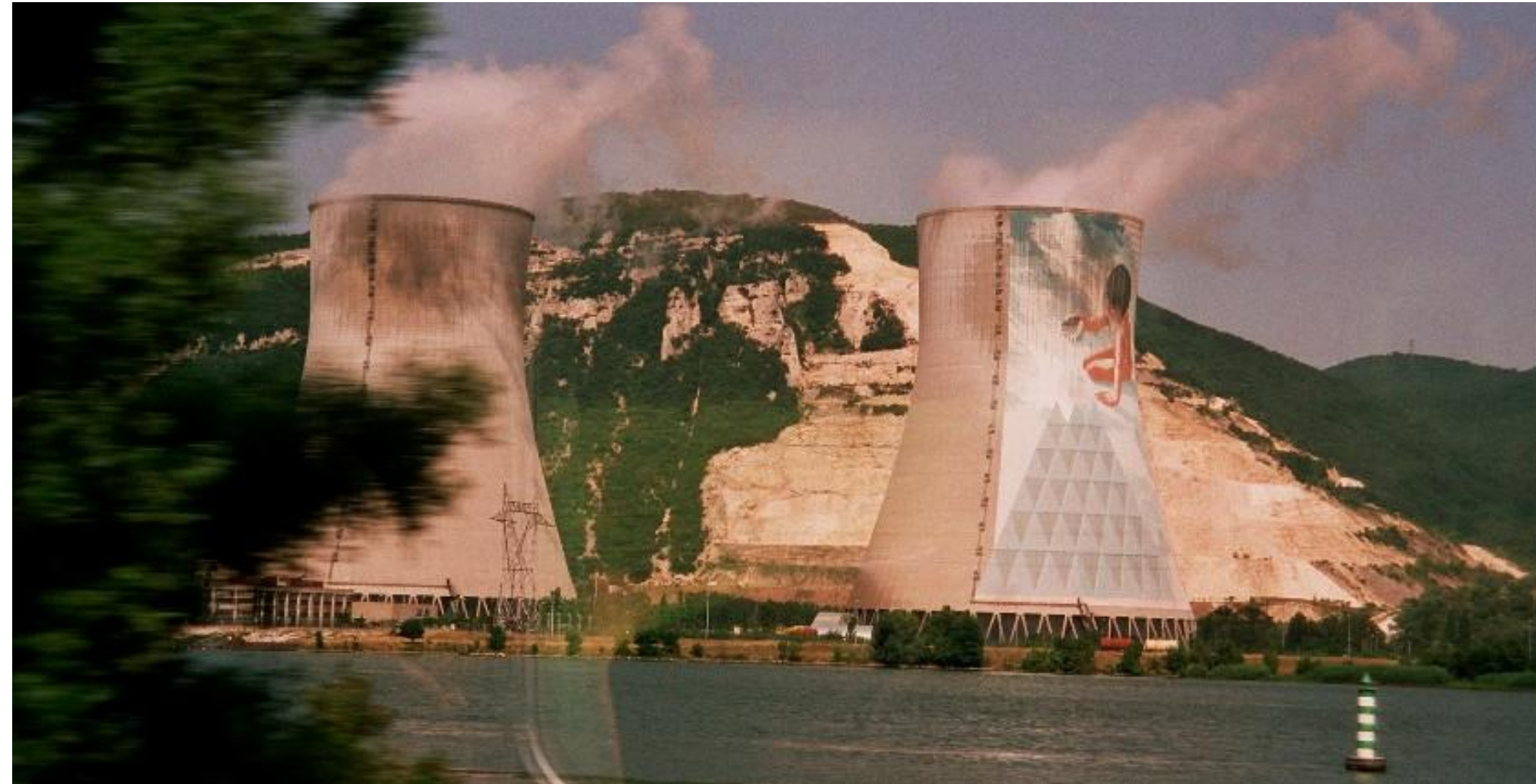
La crisi del sistema energetico

Monthly average Henry Hub natural gas prices (Jan 1997–Jun 2024)
dollars per million British thermal units (\$/MMBtu)



La crisi del sistema energetico

Climate change, water scarcity jeopardizing French nuclear fleet



PRODUZIONE IDROELETTRICA ITALIA	
ANNO	ENERGIA [TWh]
2015	46
2018	49
2021	45
2022	28
2023	41

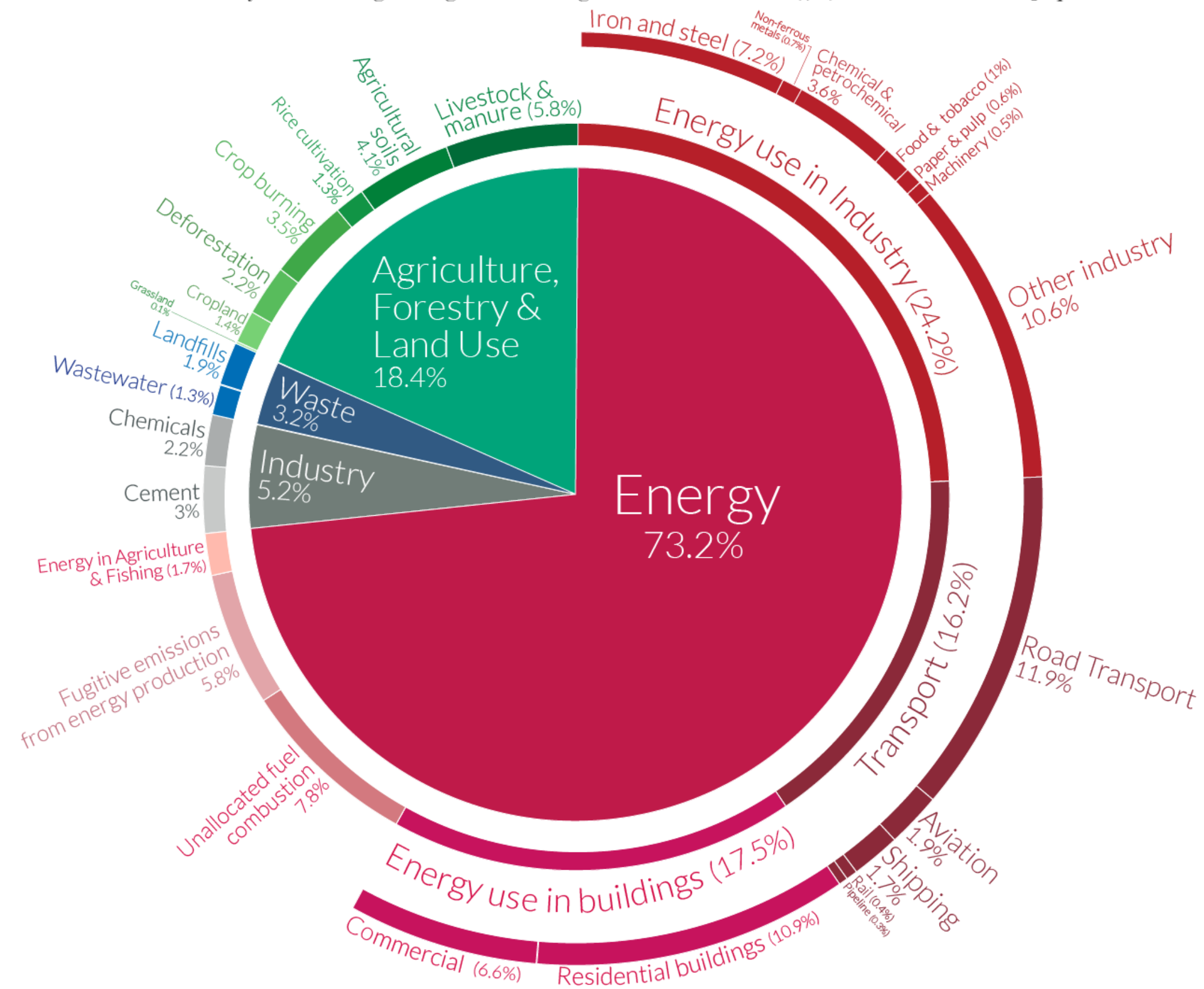
China's Hydro Power Crisis Is Just the Start

Climate-fueled droughts could make climate change even worse. Plus, more of the week's top opinions.

Il grande emettitore di gas serra

Global greenhouse gas emissions by sector

This is shown for the year 2016 – global greenhouse gas emissions were 49.4 billion tonnes CO₂eq.



OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Source: Climate Watch, the World Resources Institute (2020).

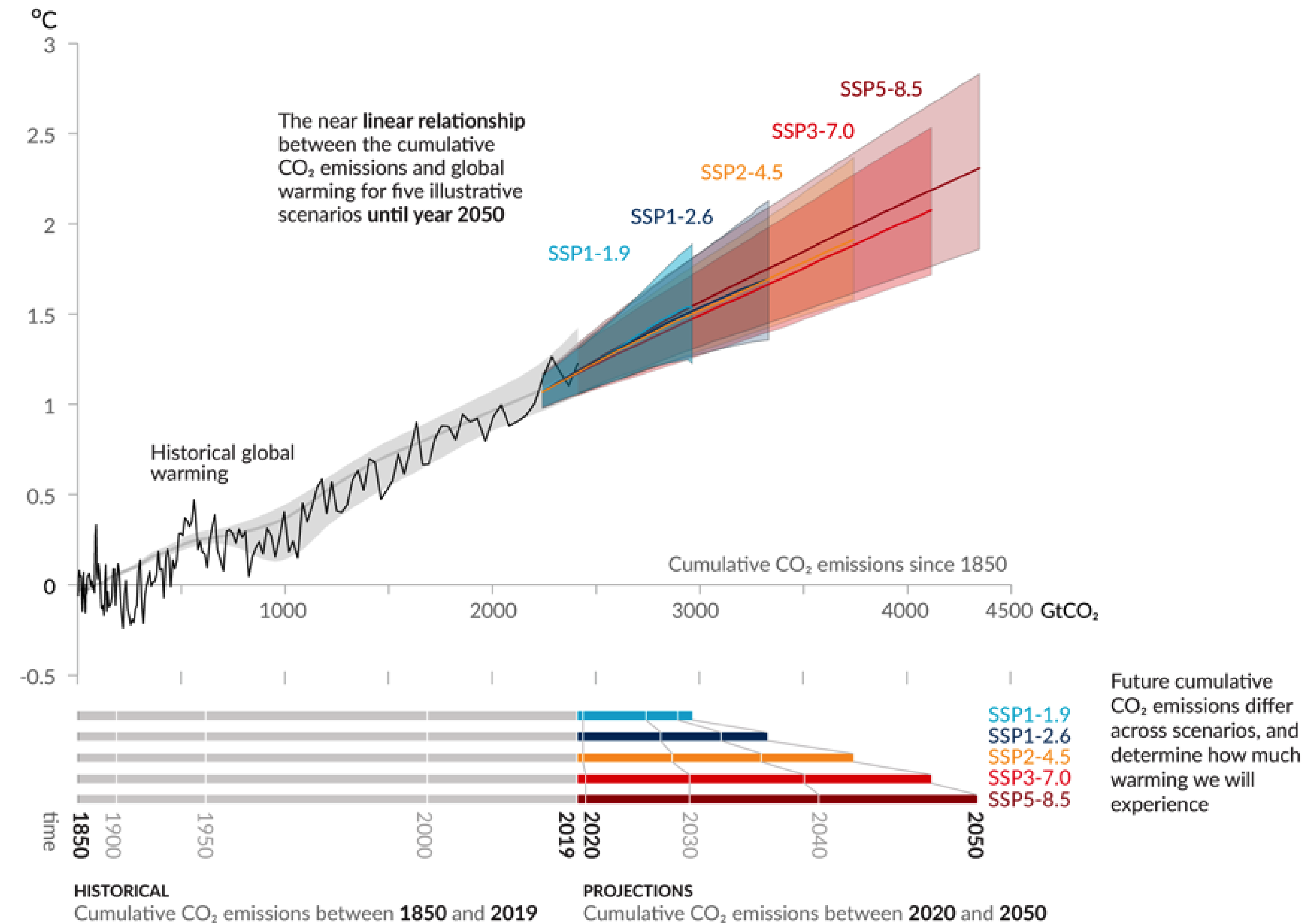
Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (2020).

Il sistema energetico basato sull'uso dei combustibili fossili è il principale emettitore di gas serra e responsabile del riscaldamento globale di origine antropica e dei conseguenti cambiamenti climatici

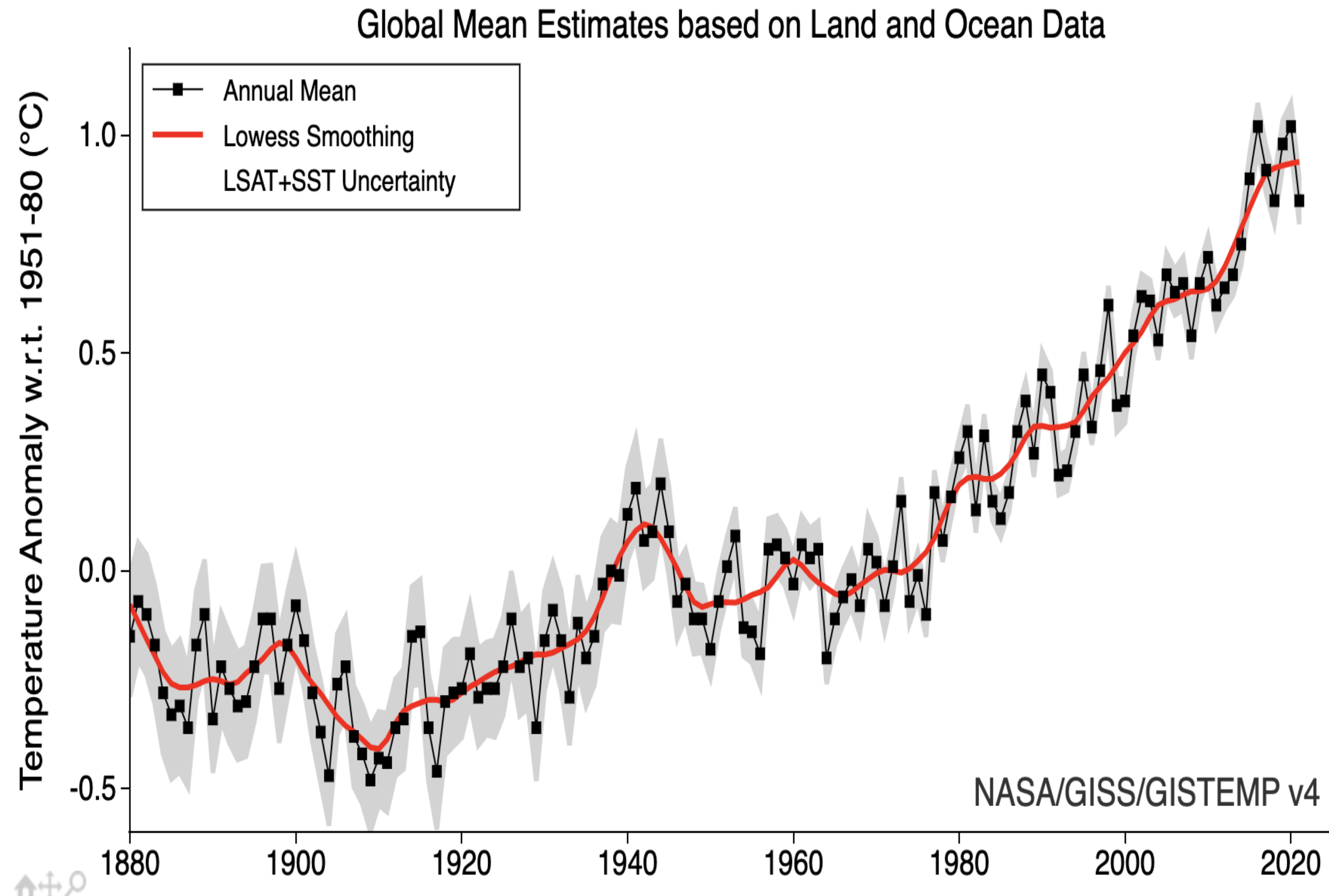
Riscaldamento globale

Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming

Global surface temperature increase since 1850-1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)

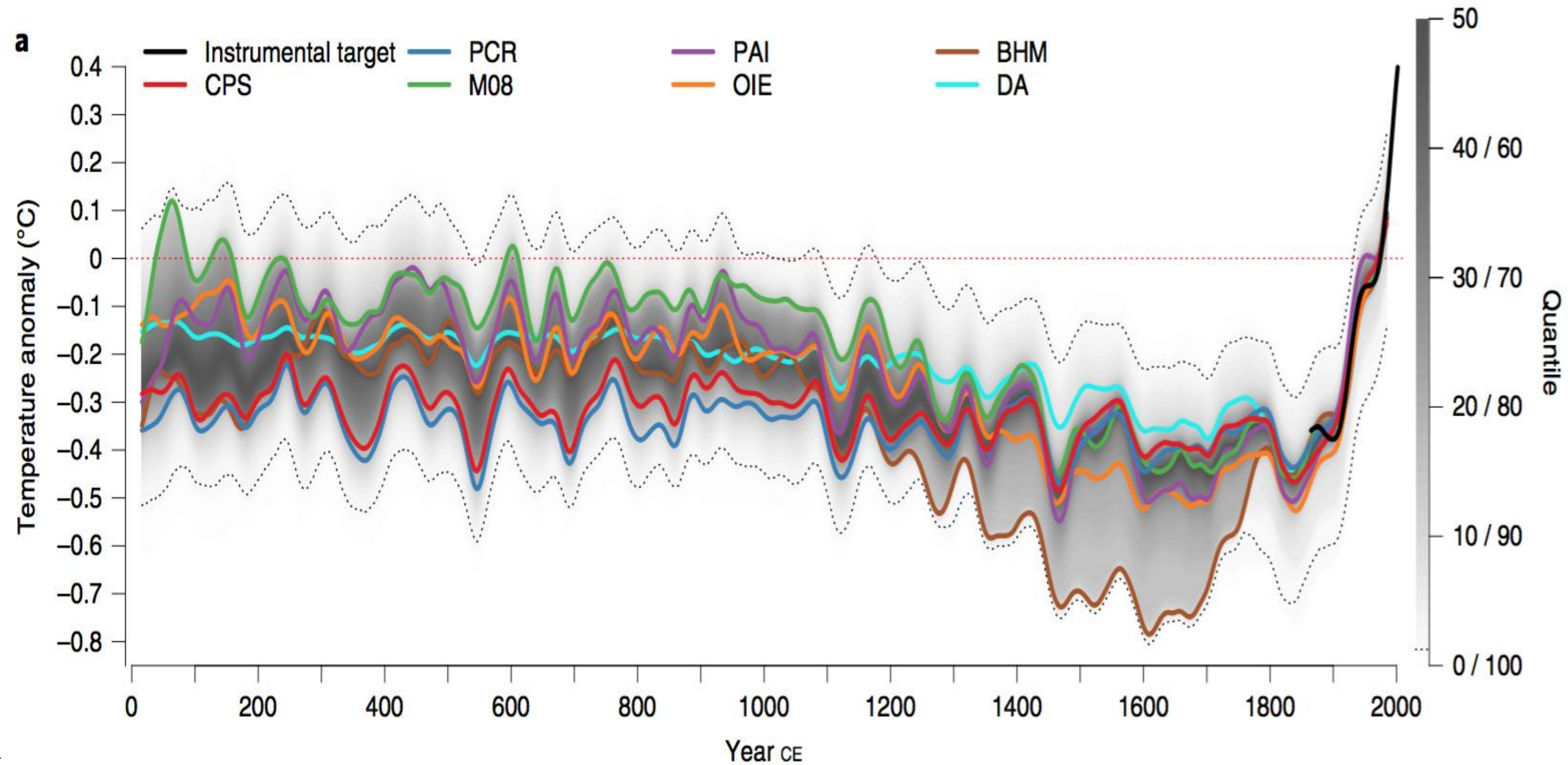


Riscaldamento globale



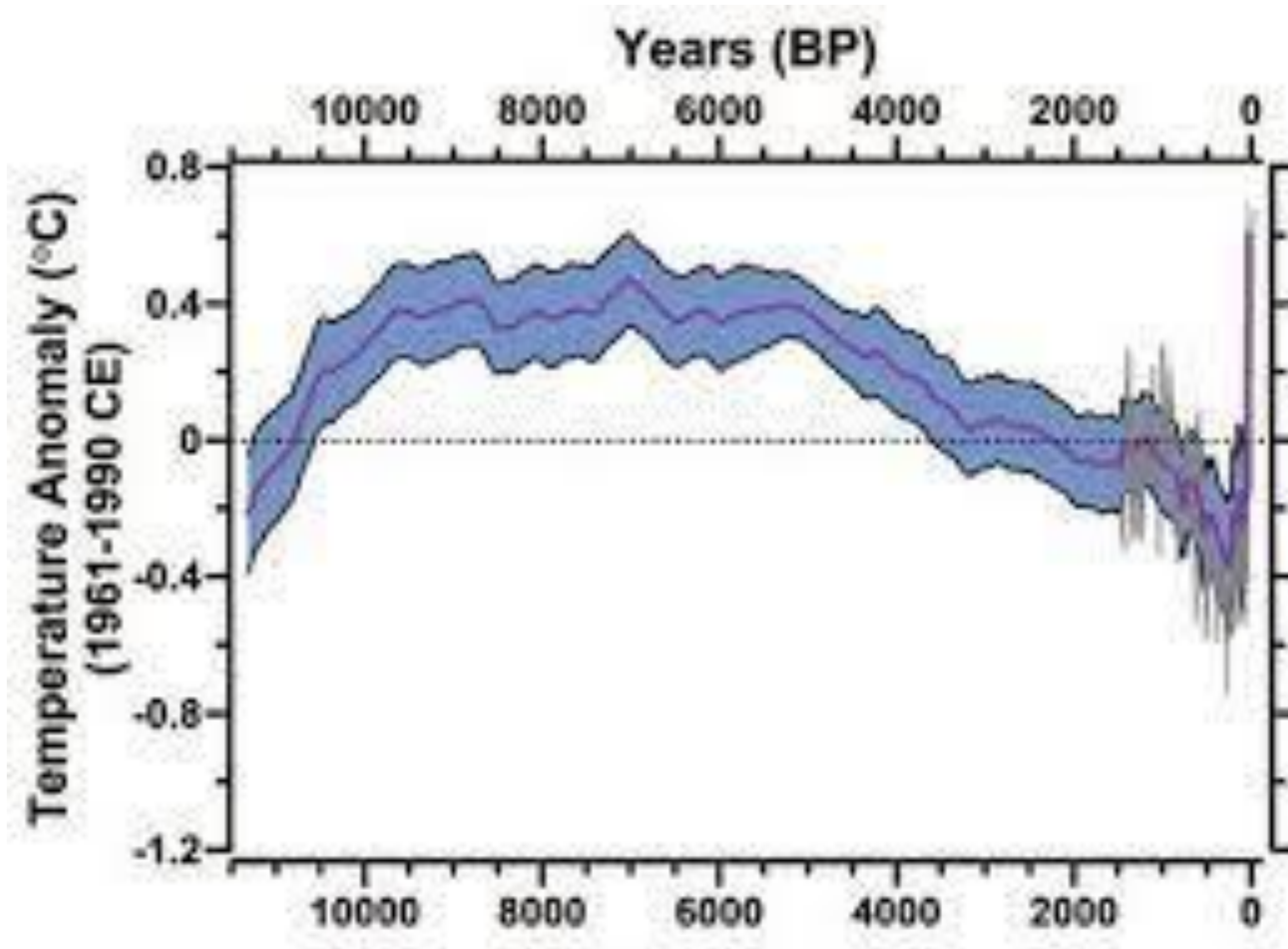
- + 1.1 ° C in 120 anni
- L'ultimo decennio è stato il più caldo mai registrato
- Il 2024 l'anno più caldo

Riscaldamento globale

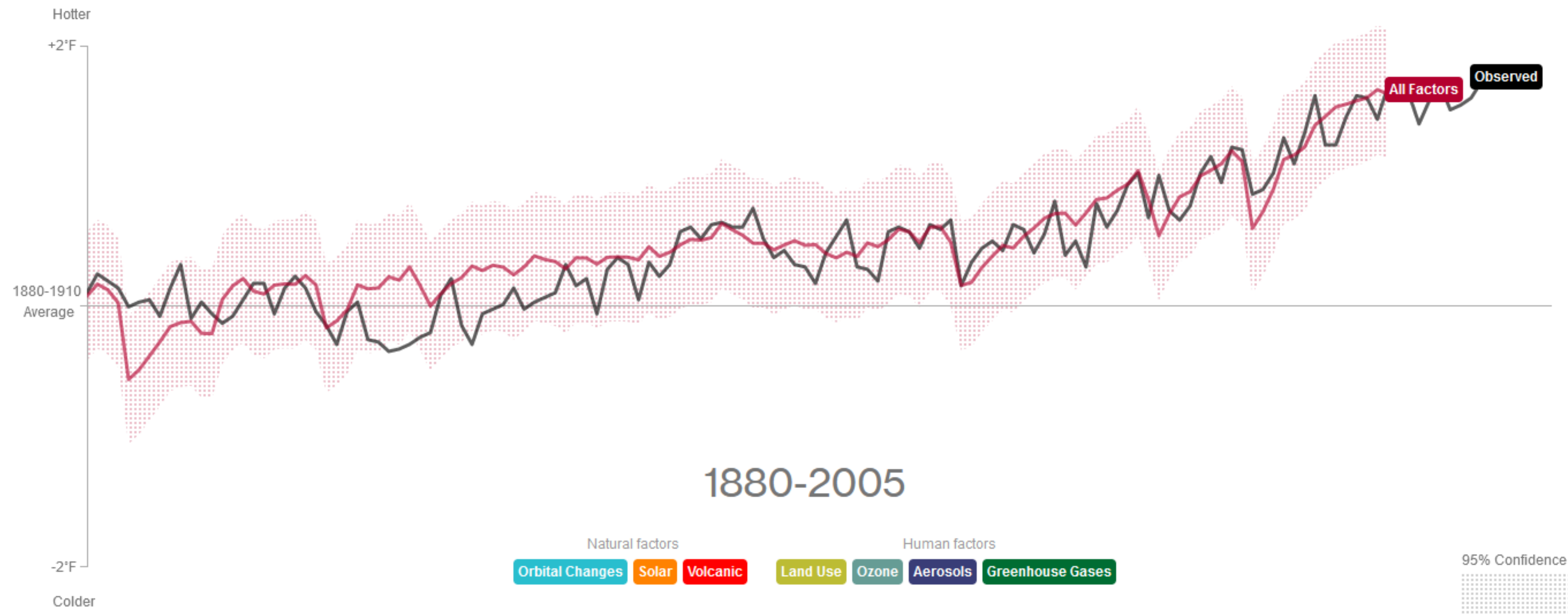


Pages2k
Nature Geoscience 2019

Riscaldamento globale

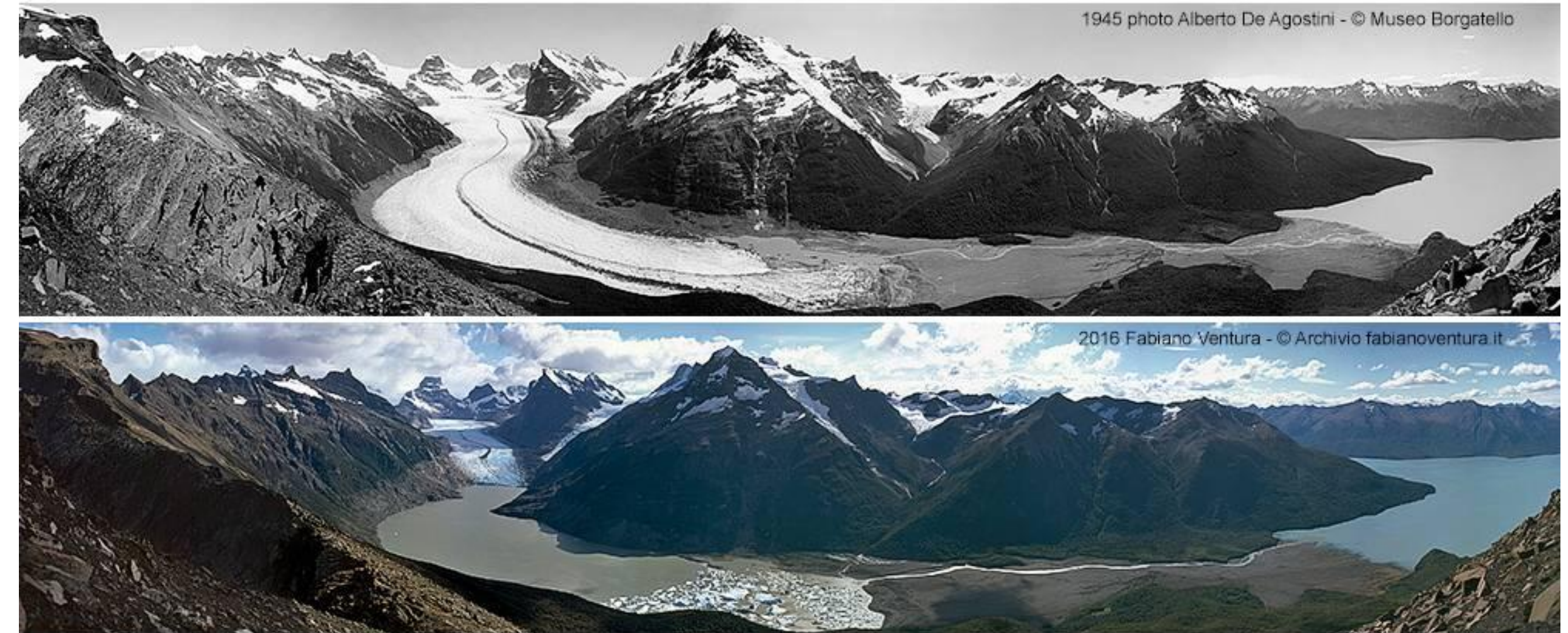
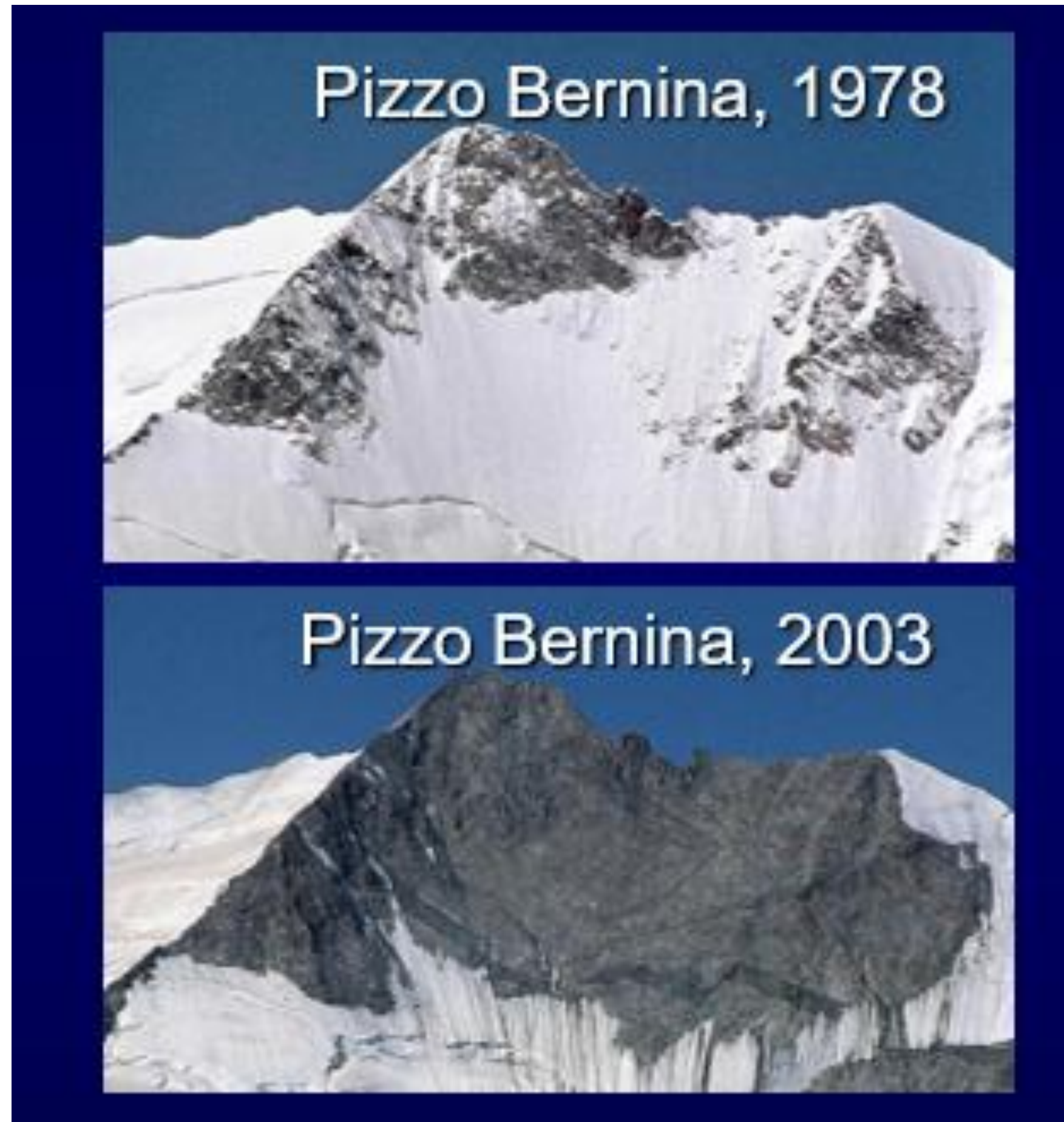


Ma cosa sta realmente scaldando il pianeta?

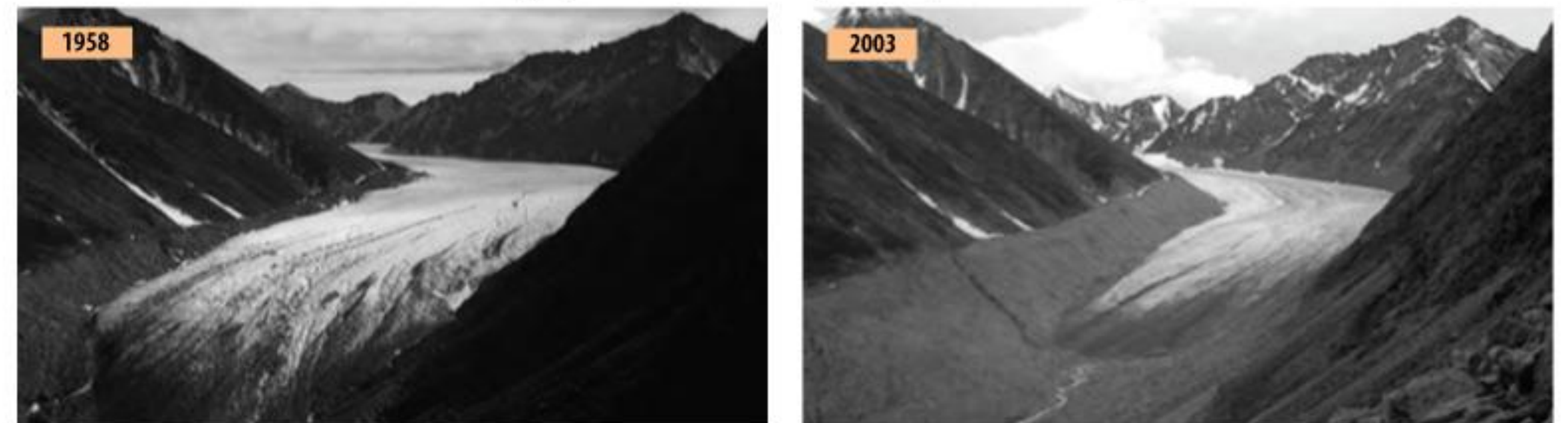


<https://www.bloomberg.com/graphics/2015-whats-warming-the-world/>

Conseguenze: scioglimento dei ghiacciai



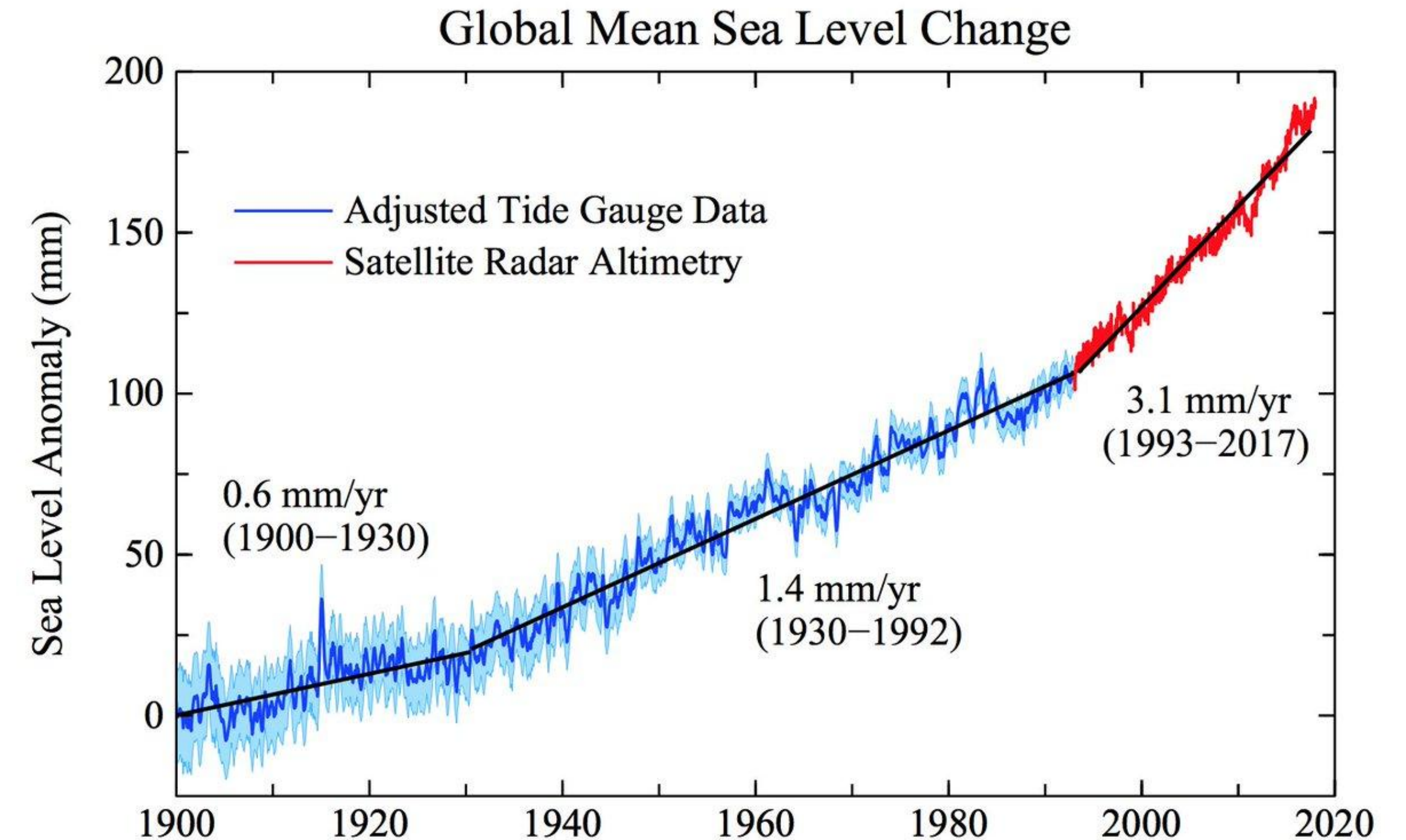
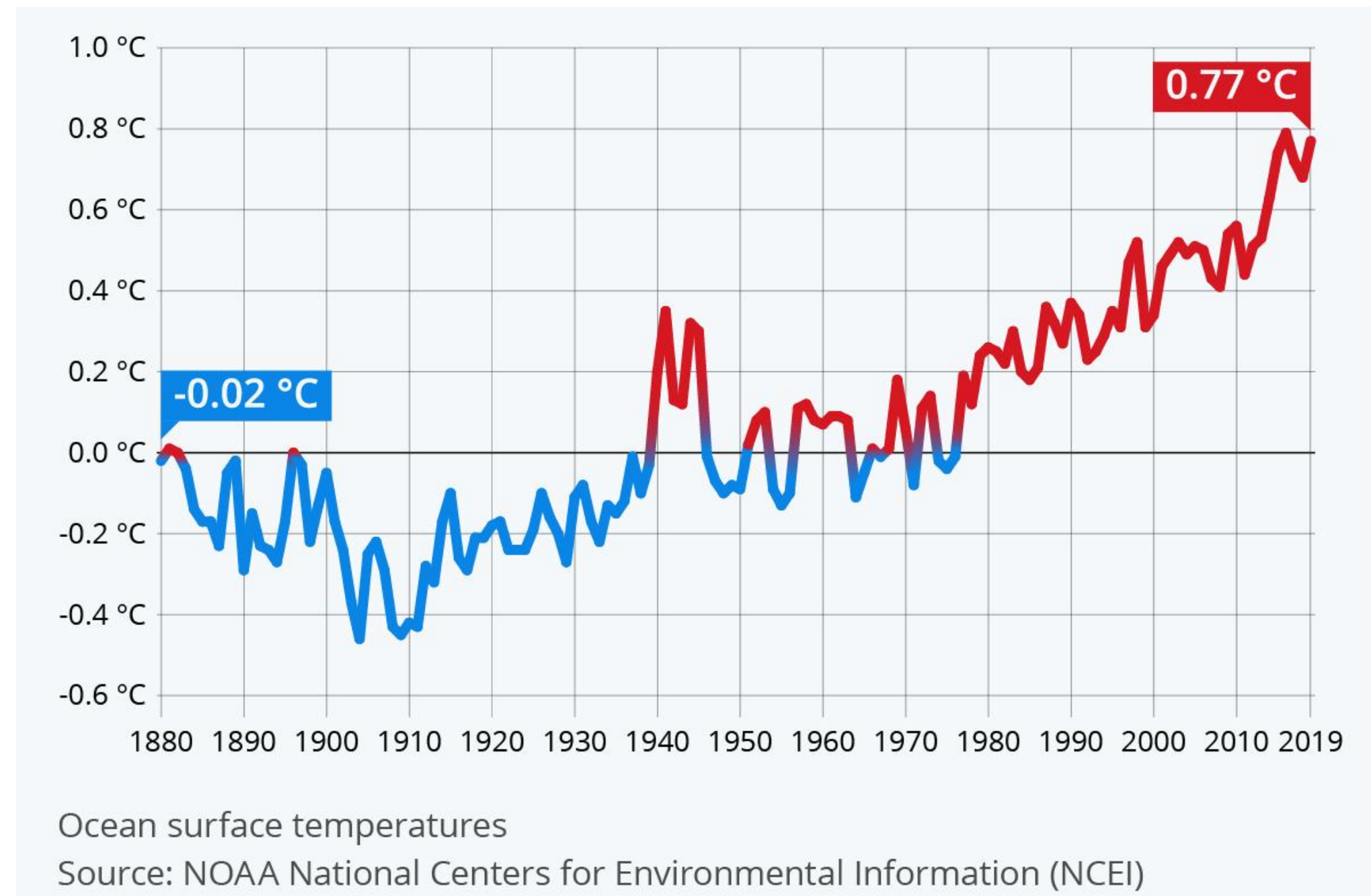
Photographs of McCall Glacier, Alaska (1958 and 2003)



Conseguenze: scioglimento ghiaccio artico e permafrost



Conseguenze: innalzamento del livello del mare

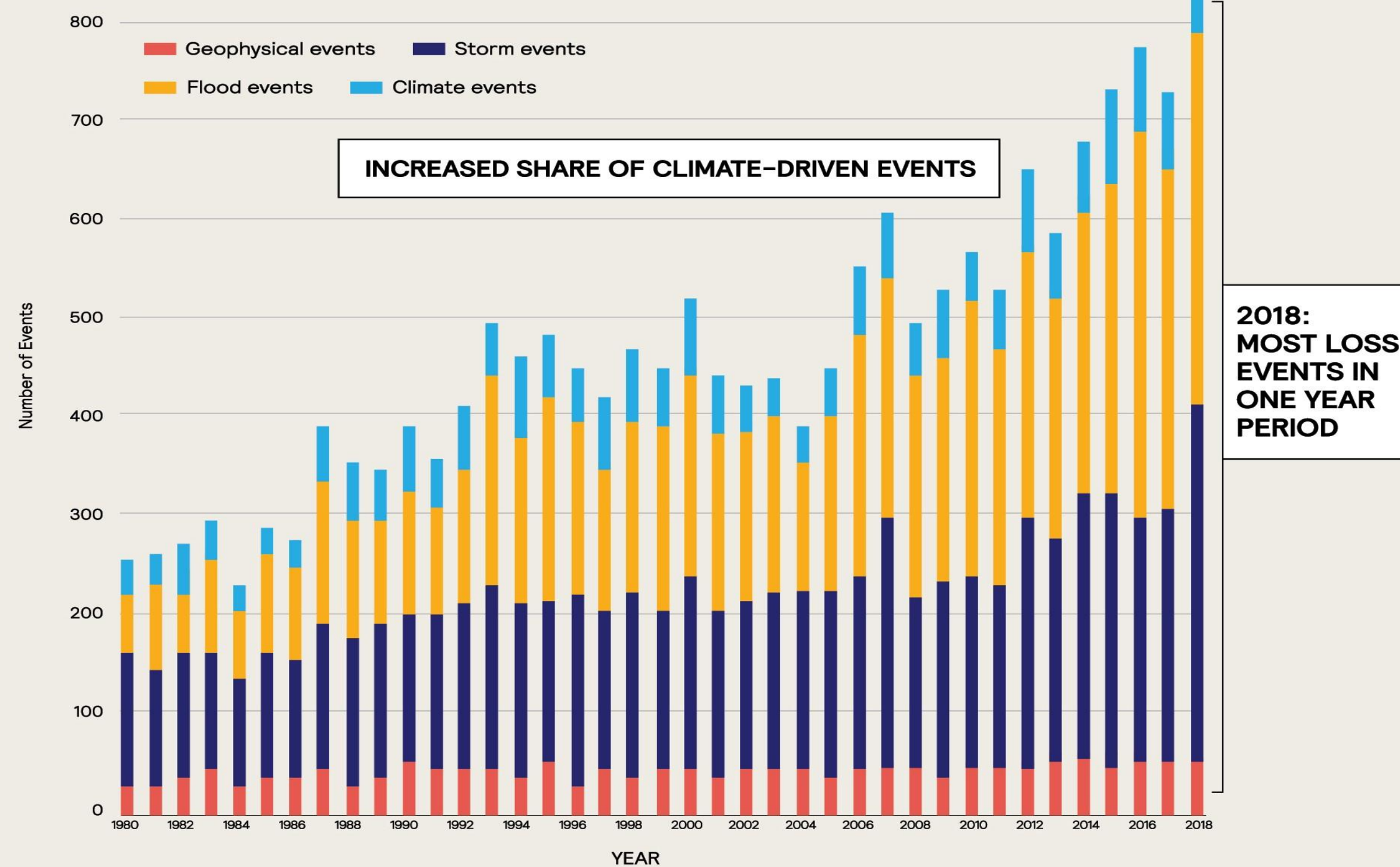


Conseguenze: inondazioni e siccità



Eventi estremi in aumento

Figure 5: Number of Natural Catastrophe Events Worldwide – 1980 to 2018 (Source: Munich Re)

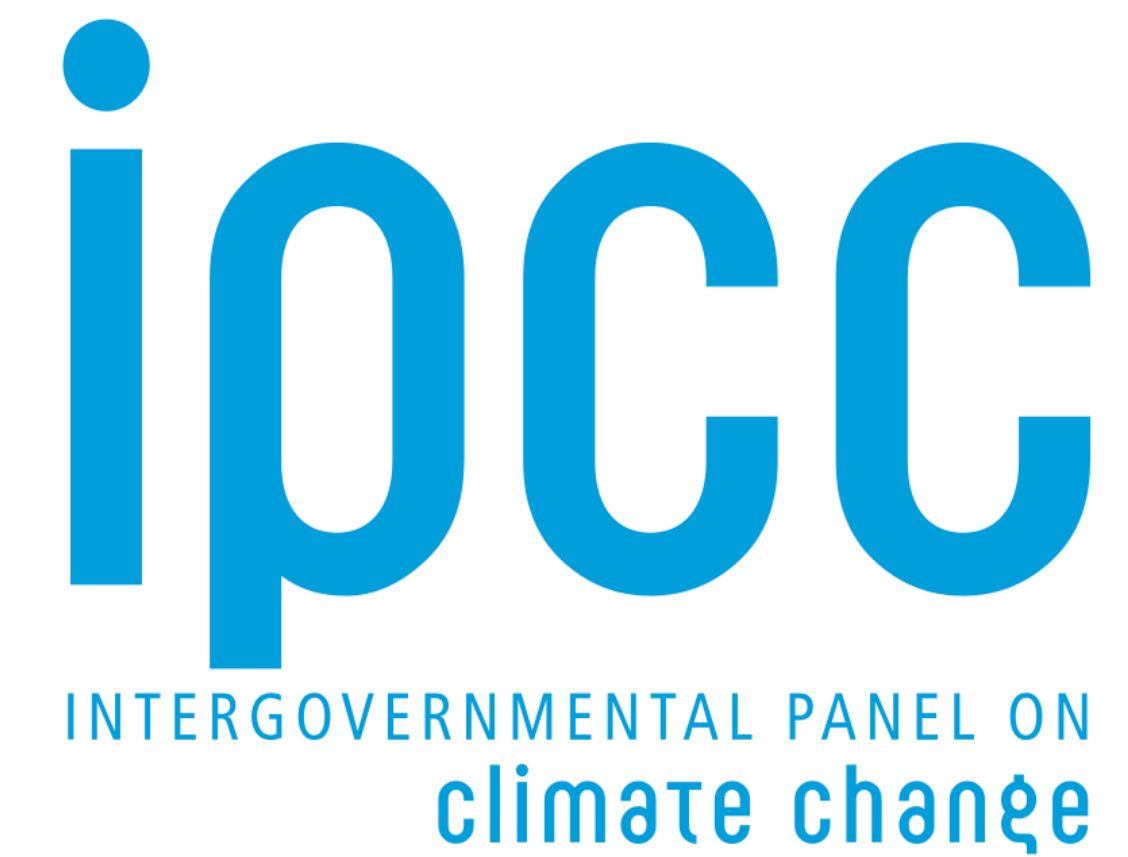


Accounted events have caused at least one fatality and/or produced normalised losses \geq US\$ 100k, 300k, 1m, or 3m (depending on the assigned World Bank income group of the affected country).

E ancora ...

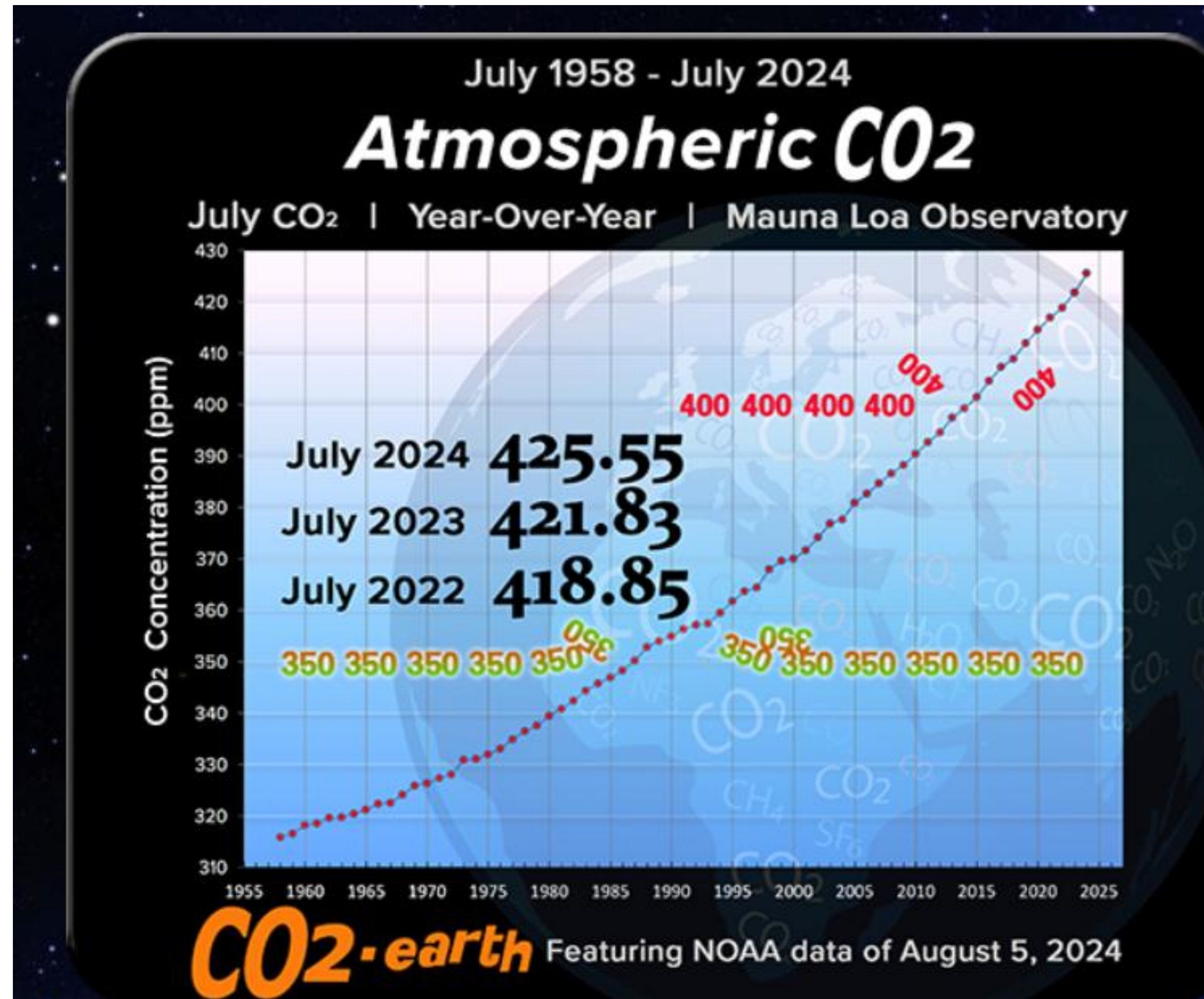
- Modifica della produttività delle piante con raccolti e rese inferiori
- Meno acqua a disposizione
- Sconvolgimento della distribuzione specie vegetali e animali
(estinzioni e migrazioni)
- Maggior diffusione di malattie
- Migrazioni e guerre
- Collasso dell'economia mondiale

E quindi!?



- Adattamento
- Contenimento del riscaldamento
- Diminuzione delle emissioni del 45% rispetto al 2010 entro il 2030 e annullamento entro il 2050 >> 1.5° C
(nel 2024 +1.56° C!!!)
- Diminuzione delle emissioni del 25% rispetto al 2010 entro il 2030 e annullamento entro il 2075 >> 2.0° C

Però ...





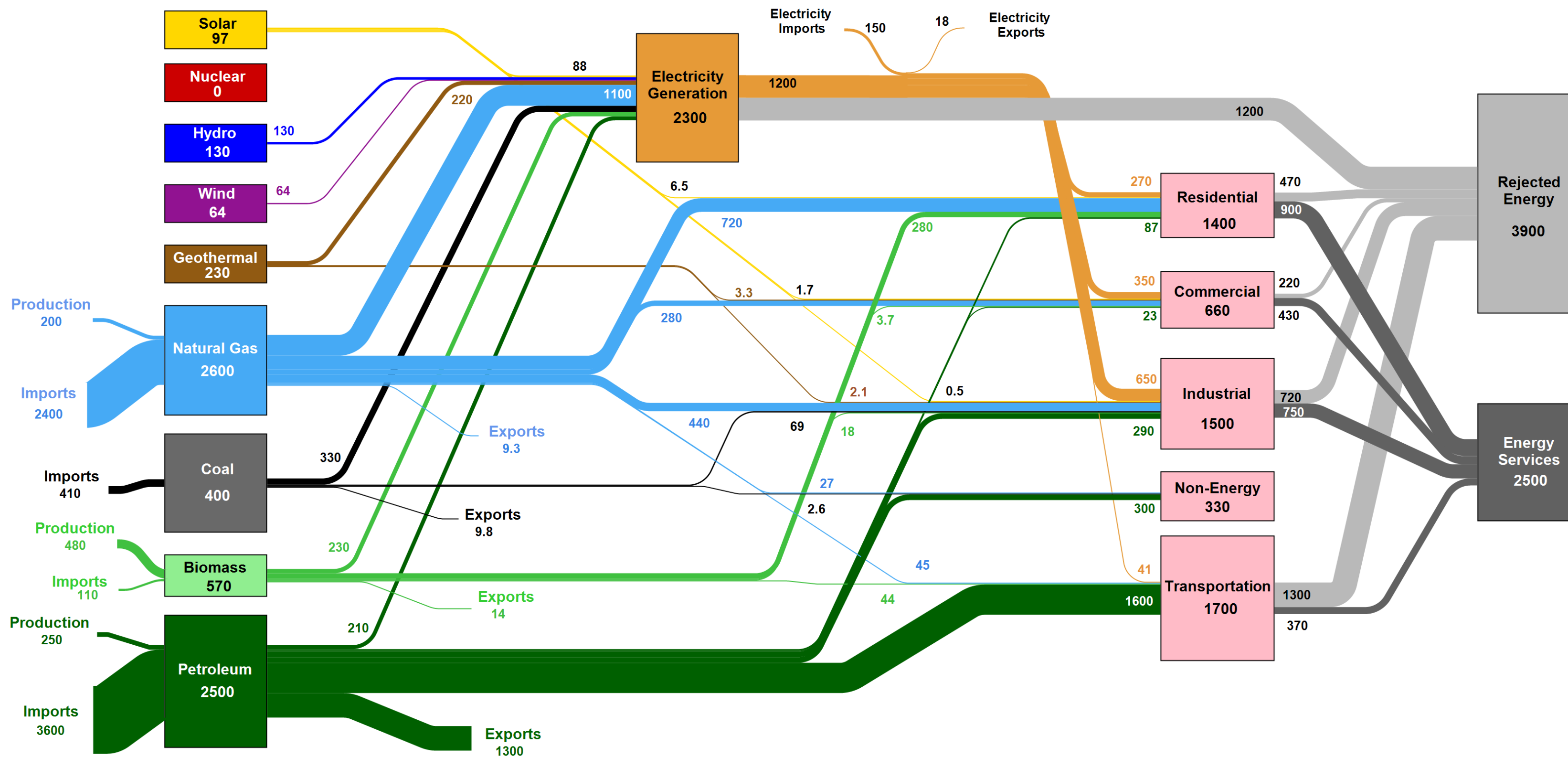
Observed Warming and its Causes

Human activities, principally through emissions of greenhouse gases, have unequivocally caused global warming, with global surface temperature reaching 1.1°C above 1850–1900 in 2011–2020. Global greenhouse gas emissions have continued to increase, with unequal historical and ongoing contributions arising from unsustainable energy use, land use and land-use change, lifestyles and patterns of consumption and production across regions,

Filiera energetica Italia

Italy Energy Flow in 2017: 6,700 PJ

Lawrence Livermore National Laboratory

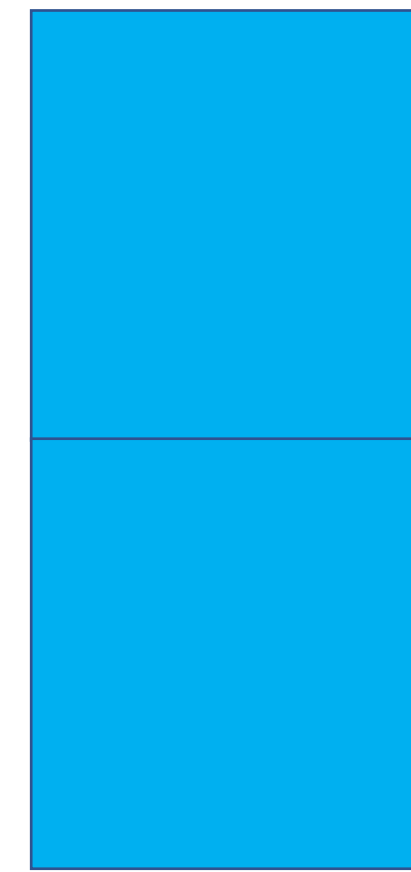
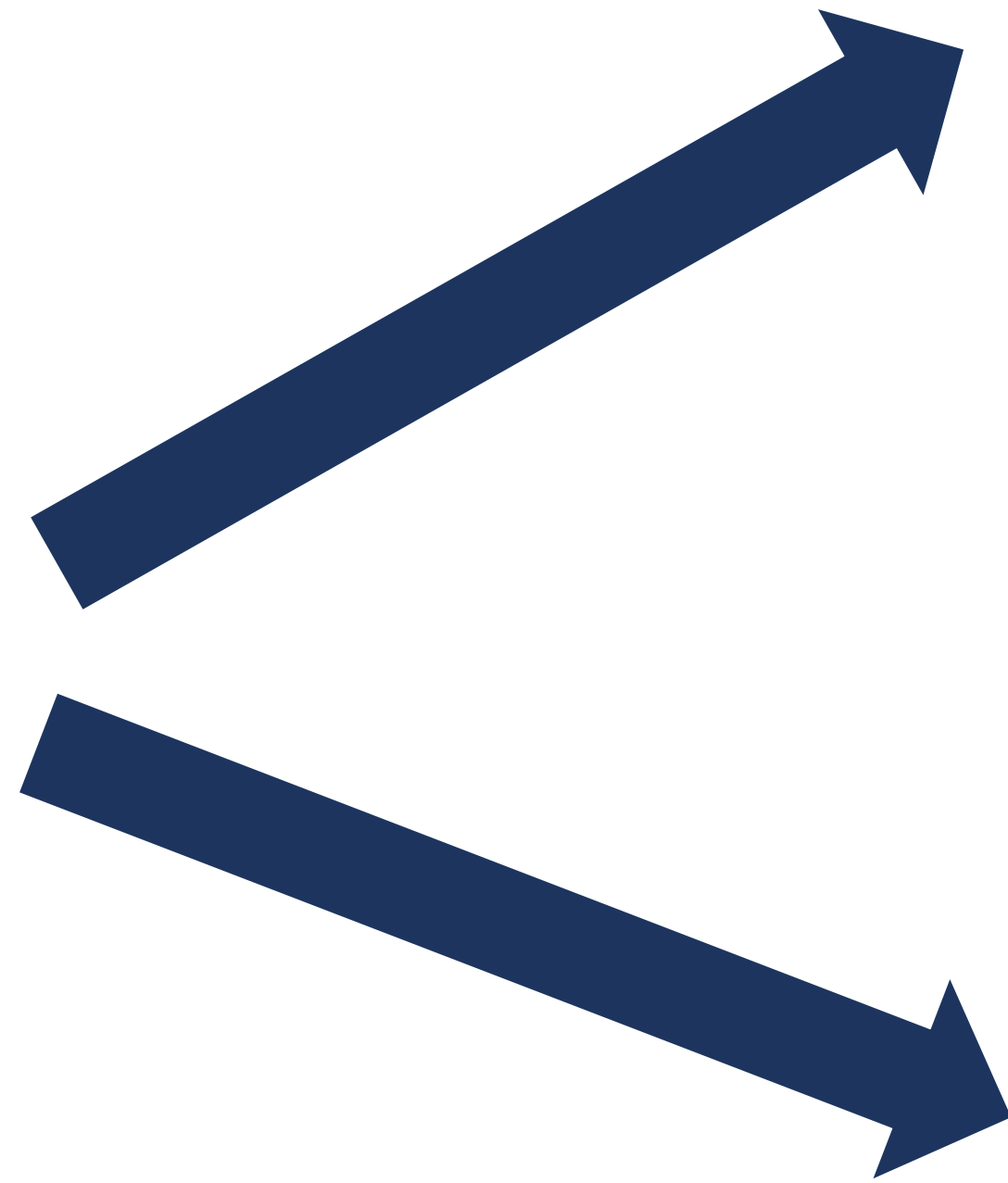
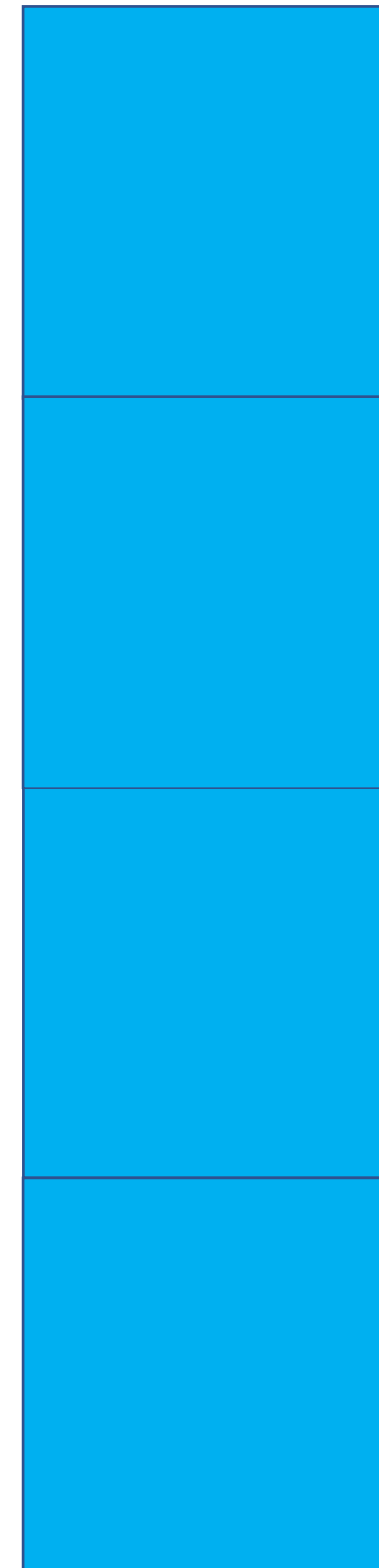
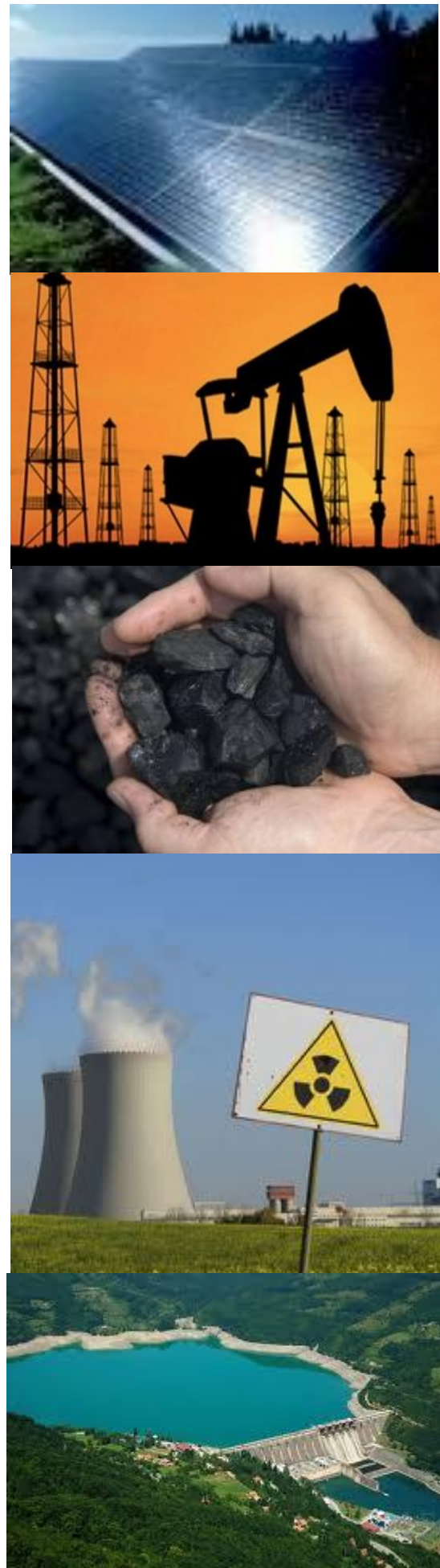


Source: LLNL 2021. Data is based on IEAs Detailed World Energy Balances (2019 Edition). If this information, or a reproduction of it is used, credit must be given to the Lawrence Livermore National Laboratory and the U.S. Department of Energy, under whose auspices this work was performed. All quantities are rounded to 2 significant digits and annual flows of less than 0.10 PJ are not included. Total energy supply (top of chart) and energy resource statistics (left-side boxes) represent national energy use which is the sum of production and imports minus exports. Totals may not equal sum of flows due to independent rounding, stock changes, statistical difference and reporting inconsistencies. Further information can be accessed at <https://flowcharts.llnl.gov>. LLNL-MI-410527

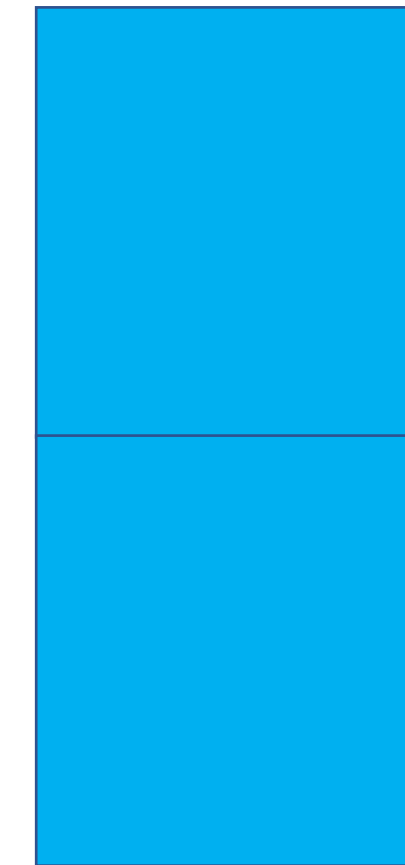
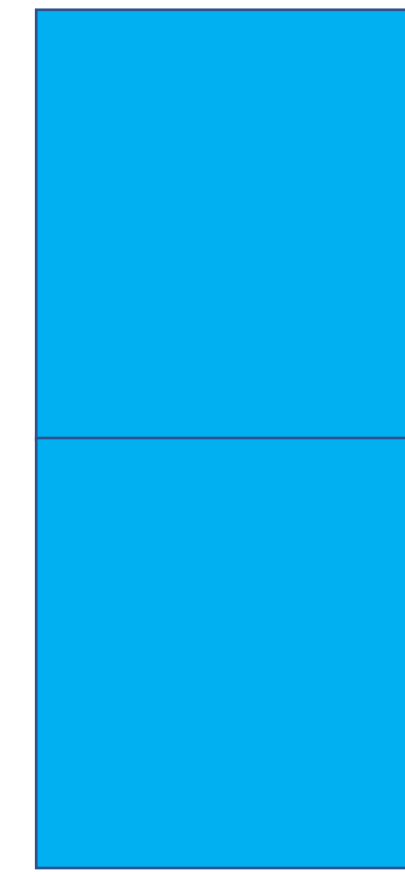
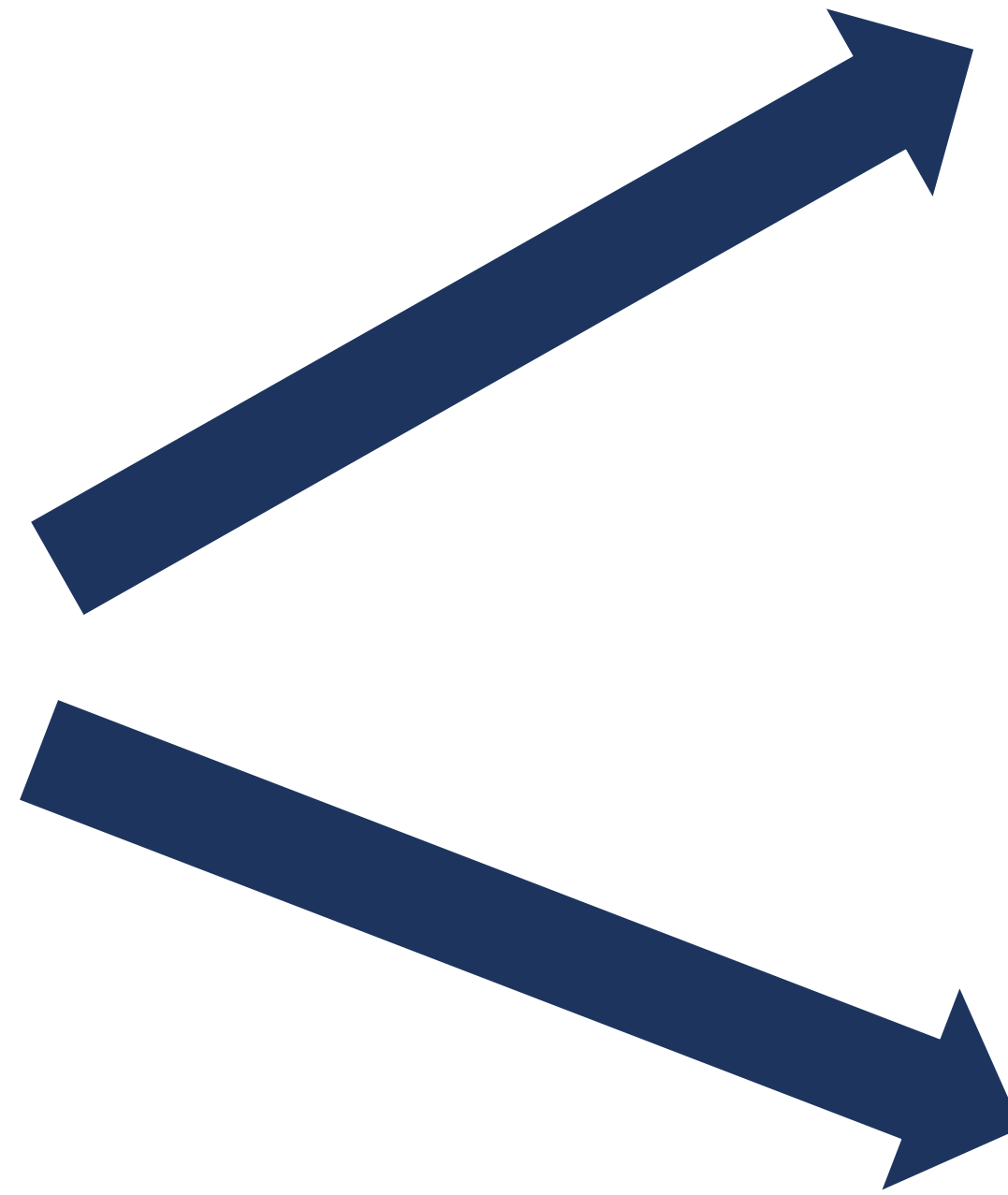
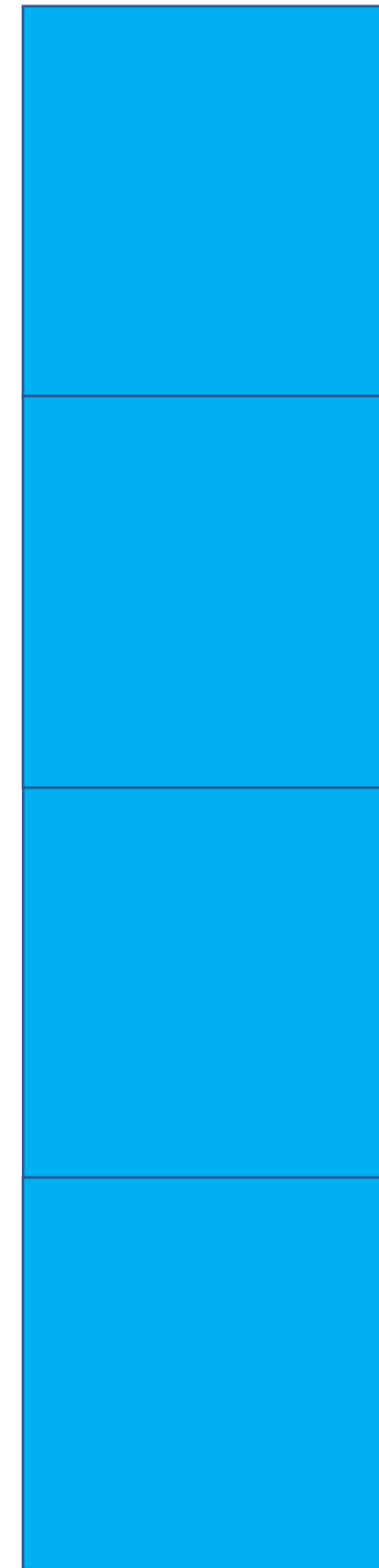
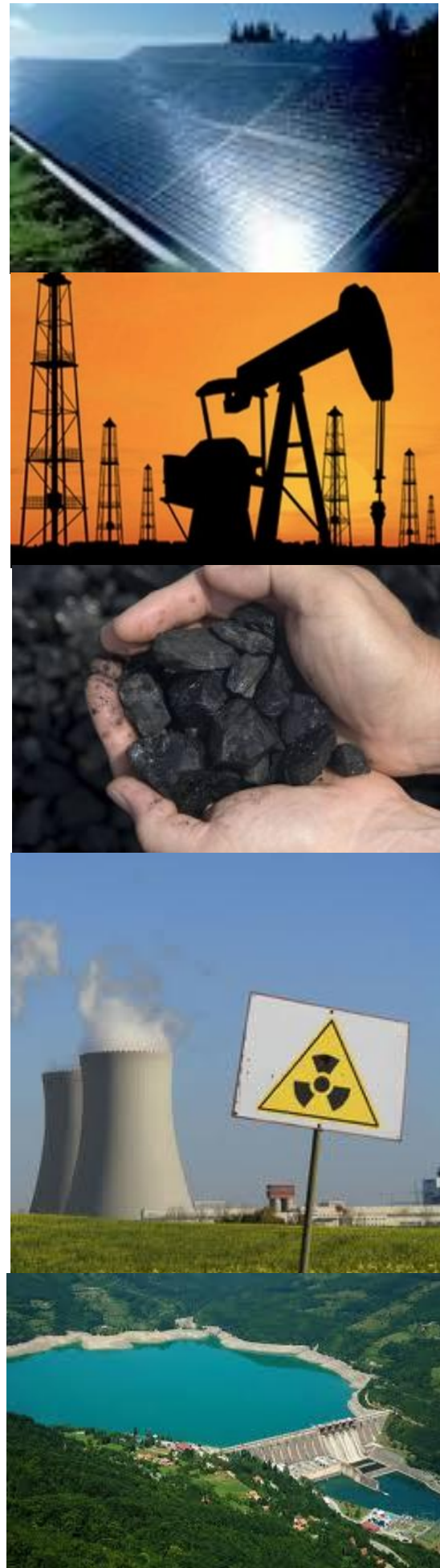
Sprechiamo la maggior parte delle risorse primarie per produrre energia elettrica (50%) e per i trasporti (75%)

In sostanza gettiamo al vento più del 60% delle fonti primarie

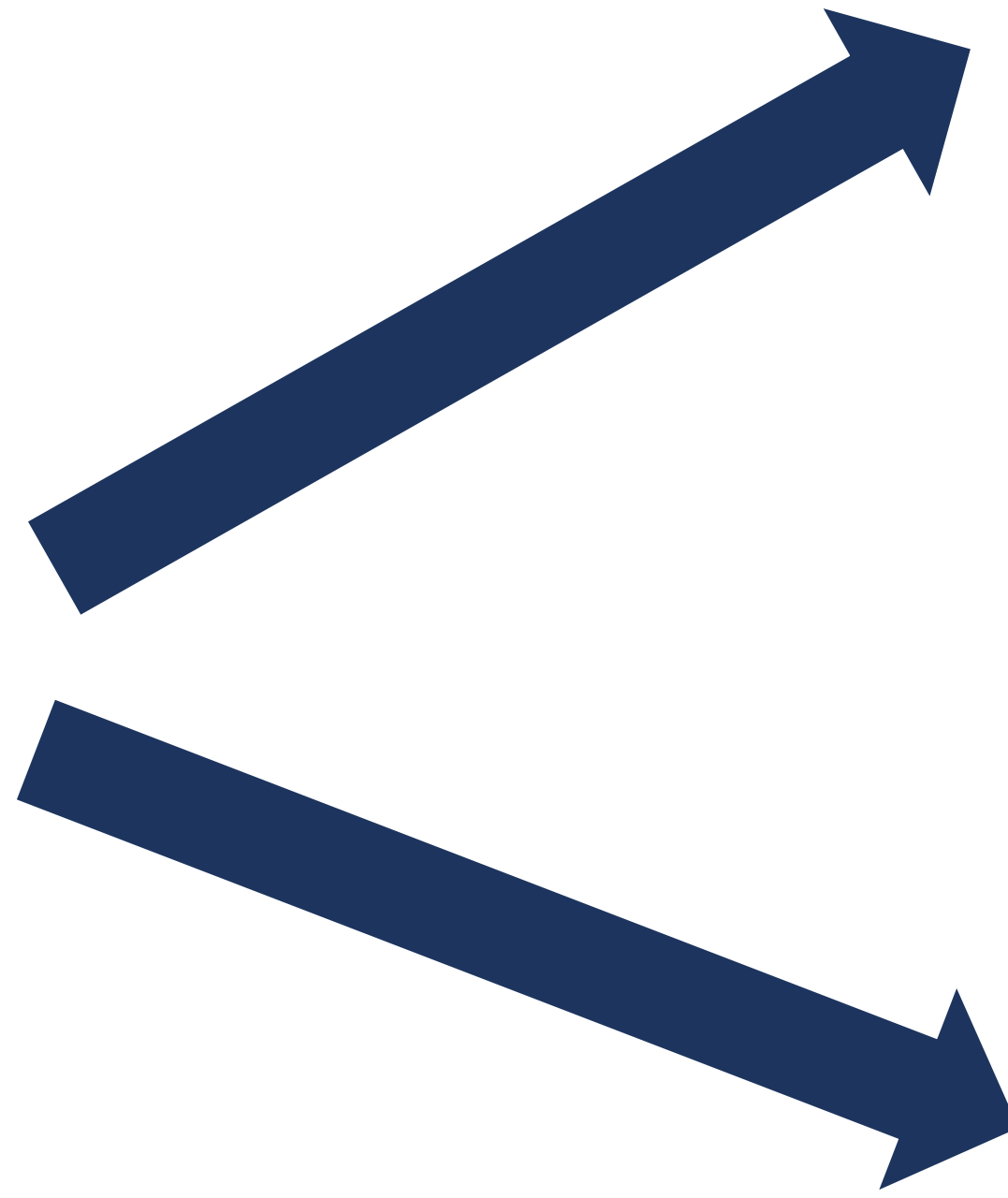
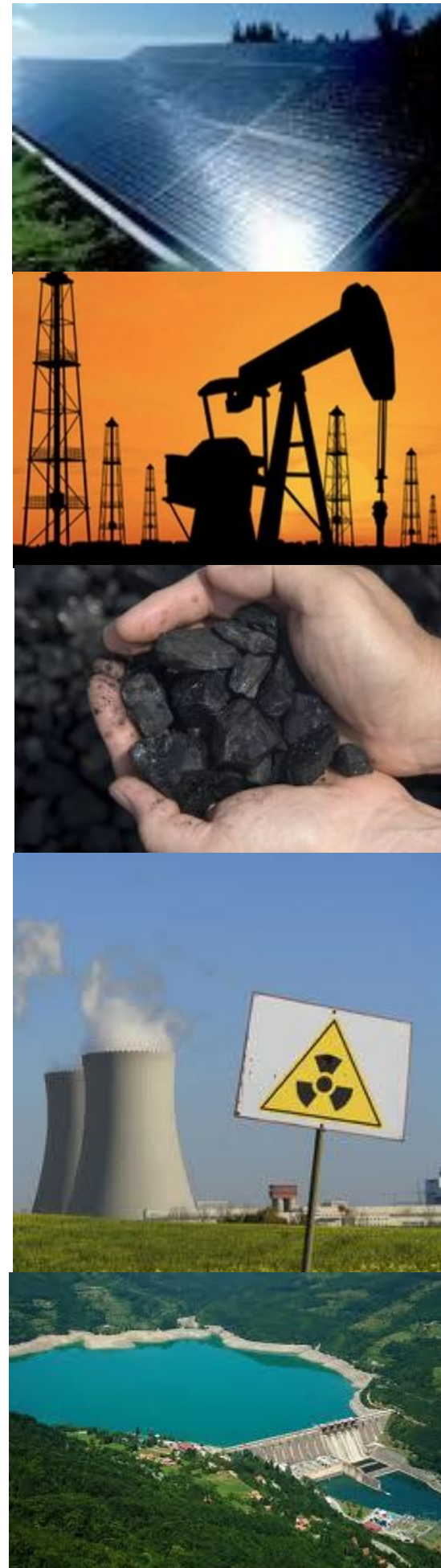
Perdite del sistema energetico



Efficientare la catena energetica



Risparmiare energia



Il costo dei combustibili fossili

Joule

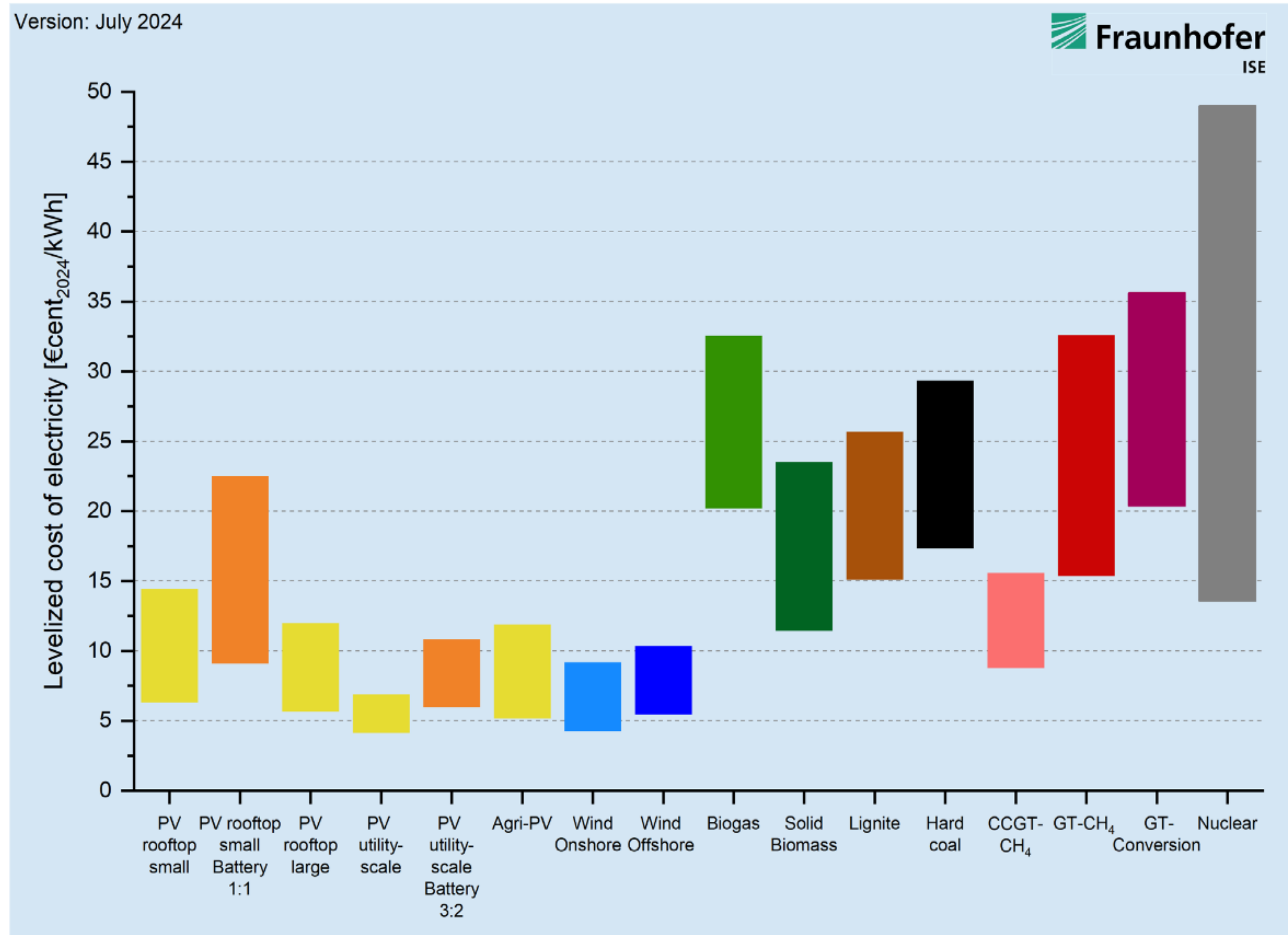
Way et al.
Joule 2022

TRE DIVERSI SCENARI ENERGETICI



La transizione verso le rinnovabili comporterà un risparmio pari a diverse migliaia di miliardi di euro al 2050

Costi di produzione dell'energia elettrica



Il settore energetico è inadeguato e non sostenibile

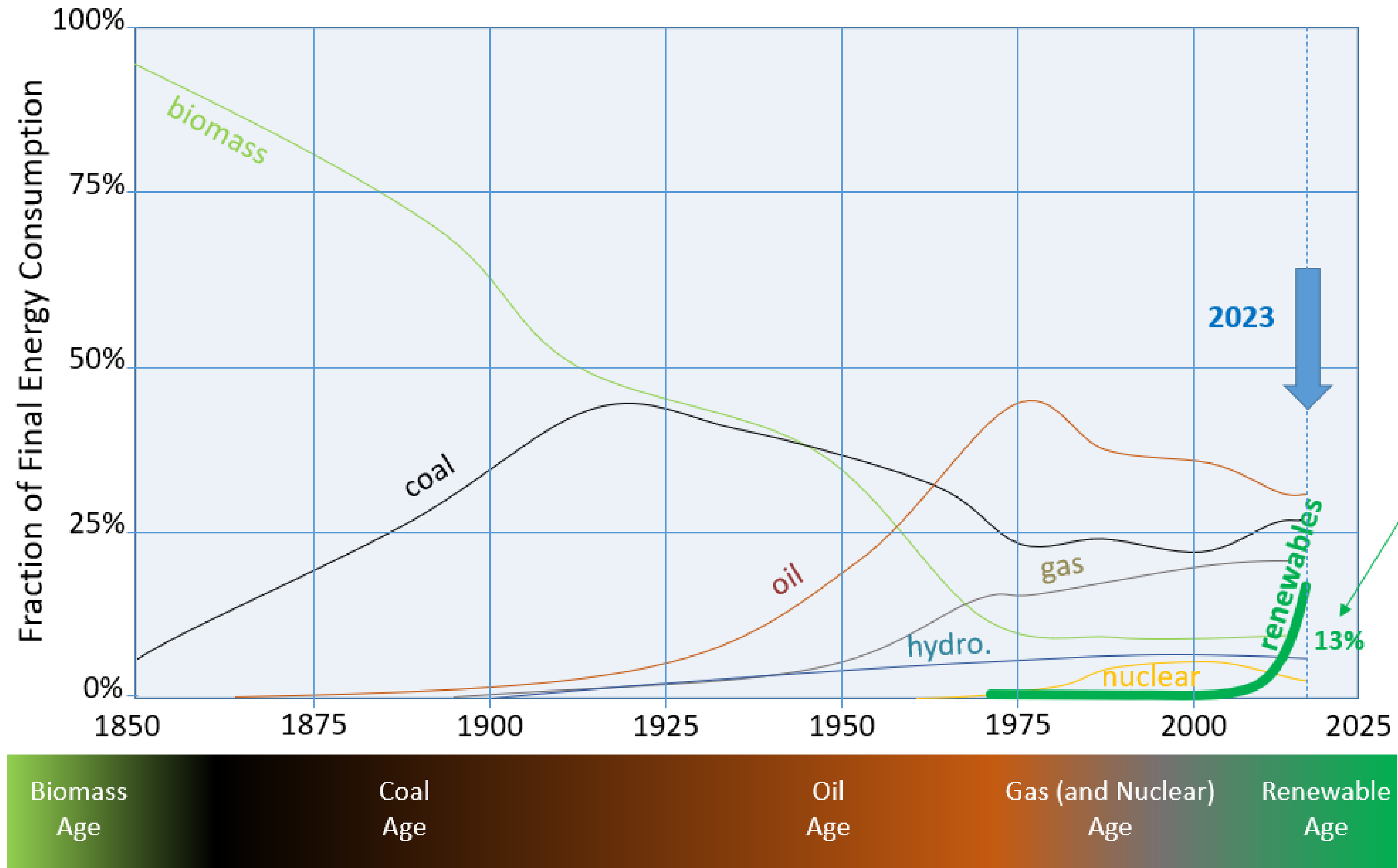
- Molto complesso
- Il primo emettitore di gas serra
- Inefficiente
- Costoso
- In crisi

Transizione verso le fonti rinnovabili

PERSPECTIVE

How to avoid the perfect storm:

Maurizio Fermeglia , Vanni Lughì , and Alessandro Massi Pavan , Department of Engineering and Architecture, University of Trieste, Piazzale Europa 1, 34127 Trieste, Italy
Address all correspondence to Maurizio Fermeglia at maurizio.fermeglia@units.it
(Received 30 May 2020; accepted 31 August 2020)



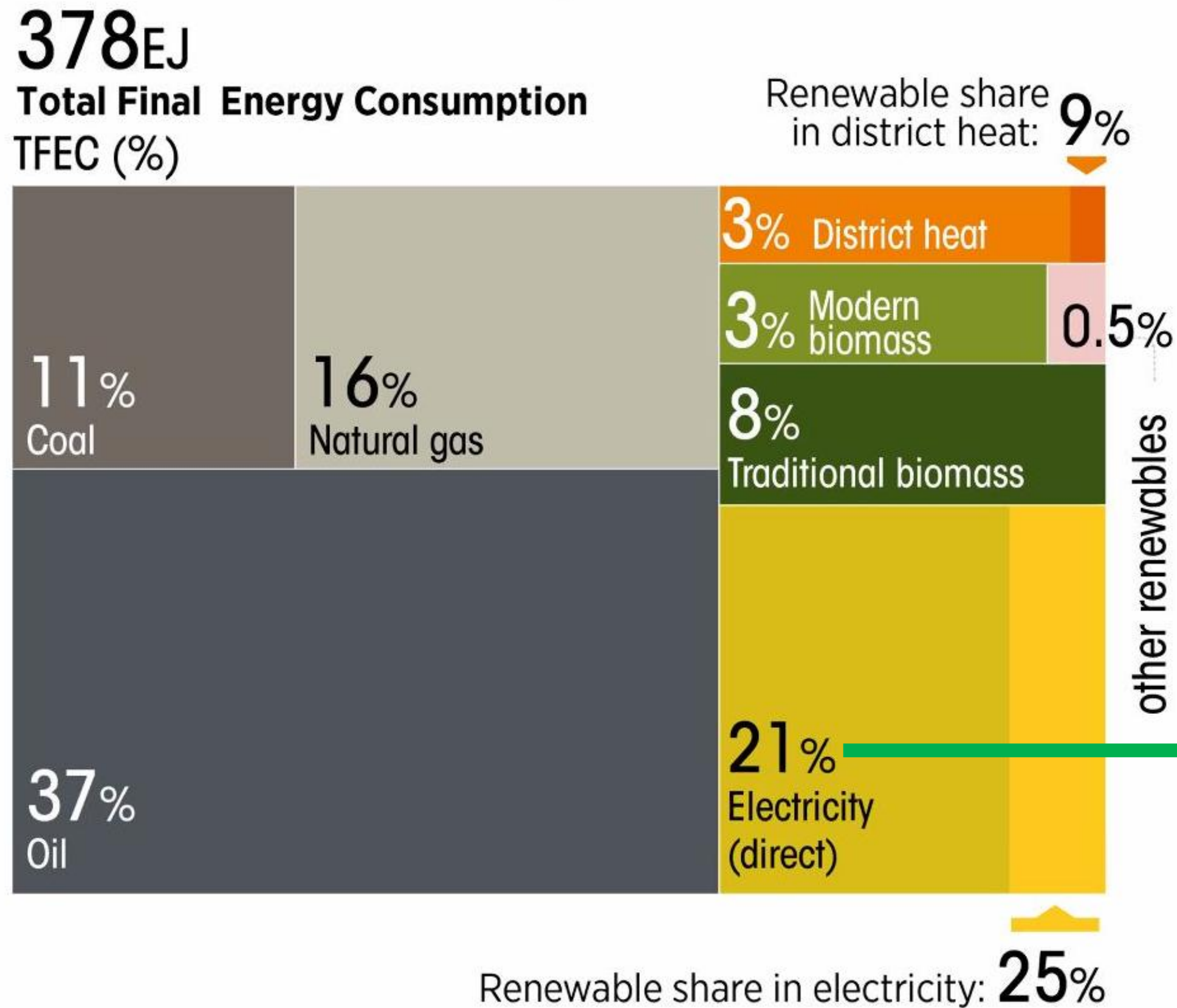
Modern renewables account for **13.0%** of total final energy consumption (2022)

Ren21, 2024 Report

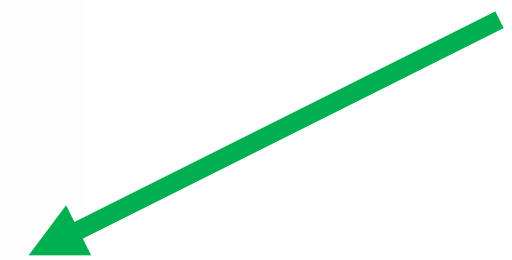
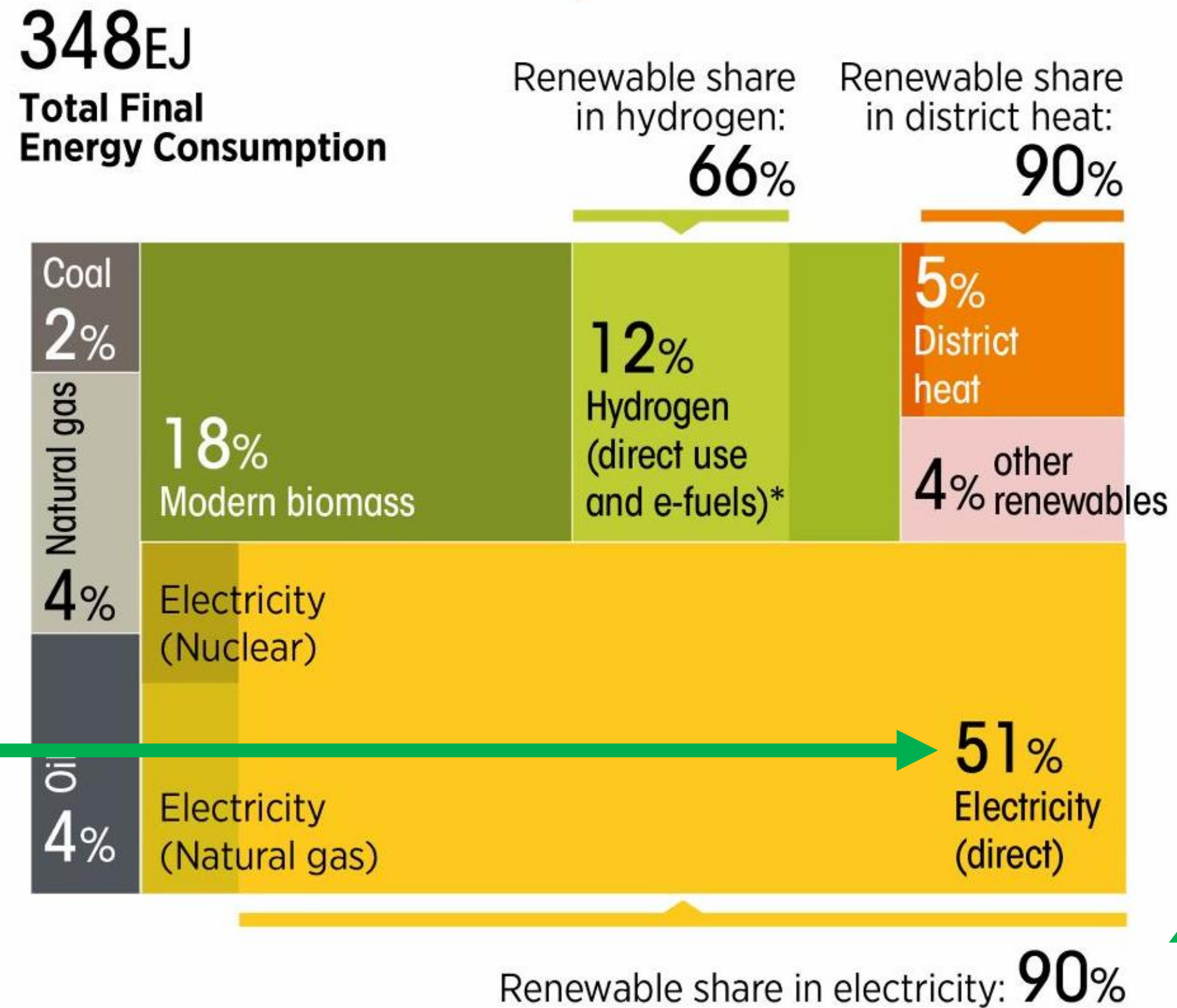
Adapted from Lughì, Massi Pavan, «La forza del sole», Sapere (June 2017)

Elettrificazione

2018

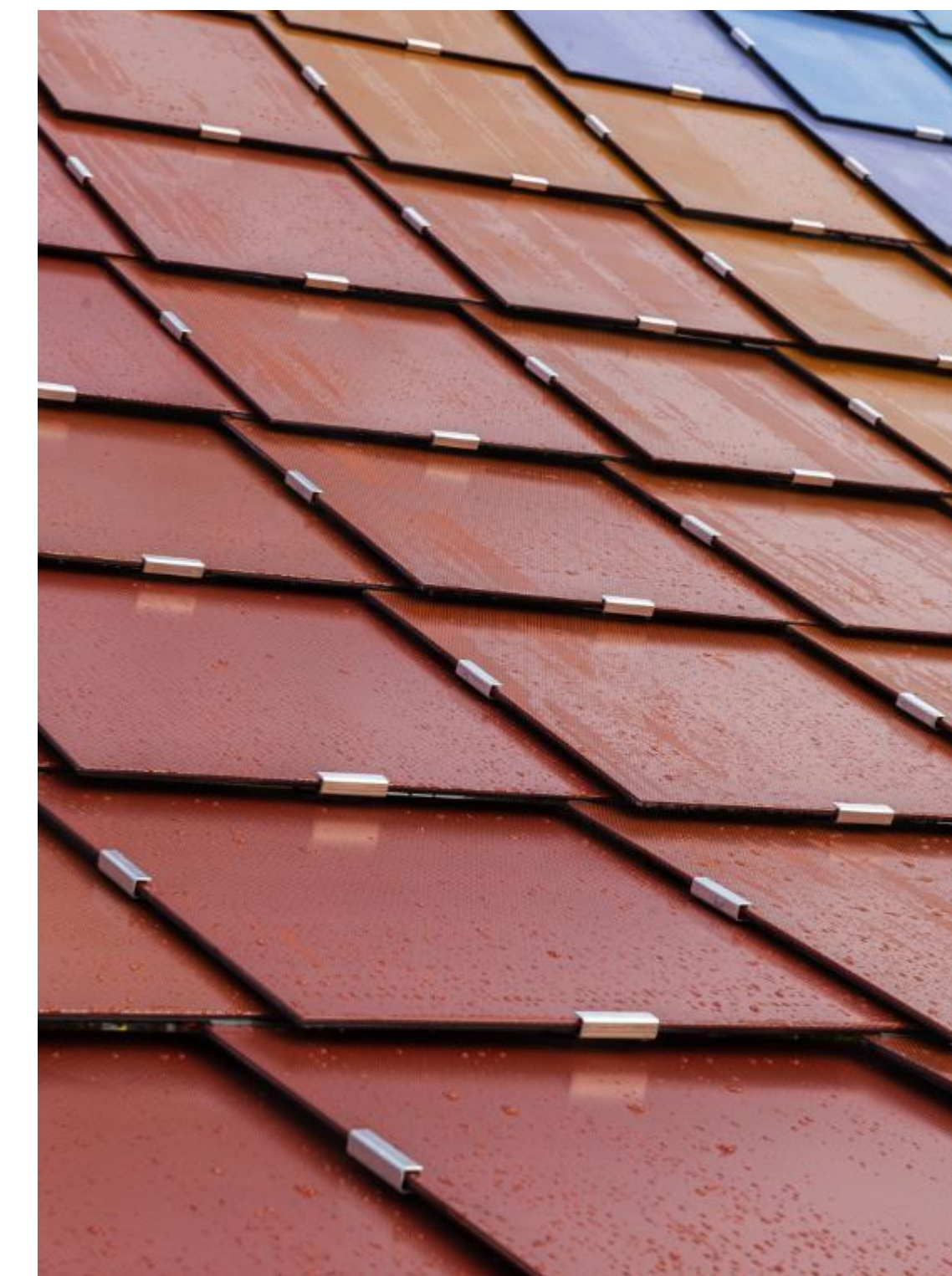


2050 - Where we need to be (1.5-S)



Perché energia elettrica?

- Vettore più efficiente
- Privo di massa
- Pratico da usare
- Impatto nullo
- Facile da trasportare
- Generazione distribuita



Perché energia elettrica?

- Nuovi usi «stazionari»: fornelli a induzione e pompe di calore

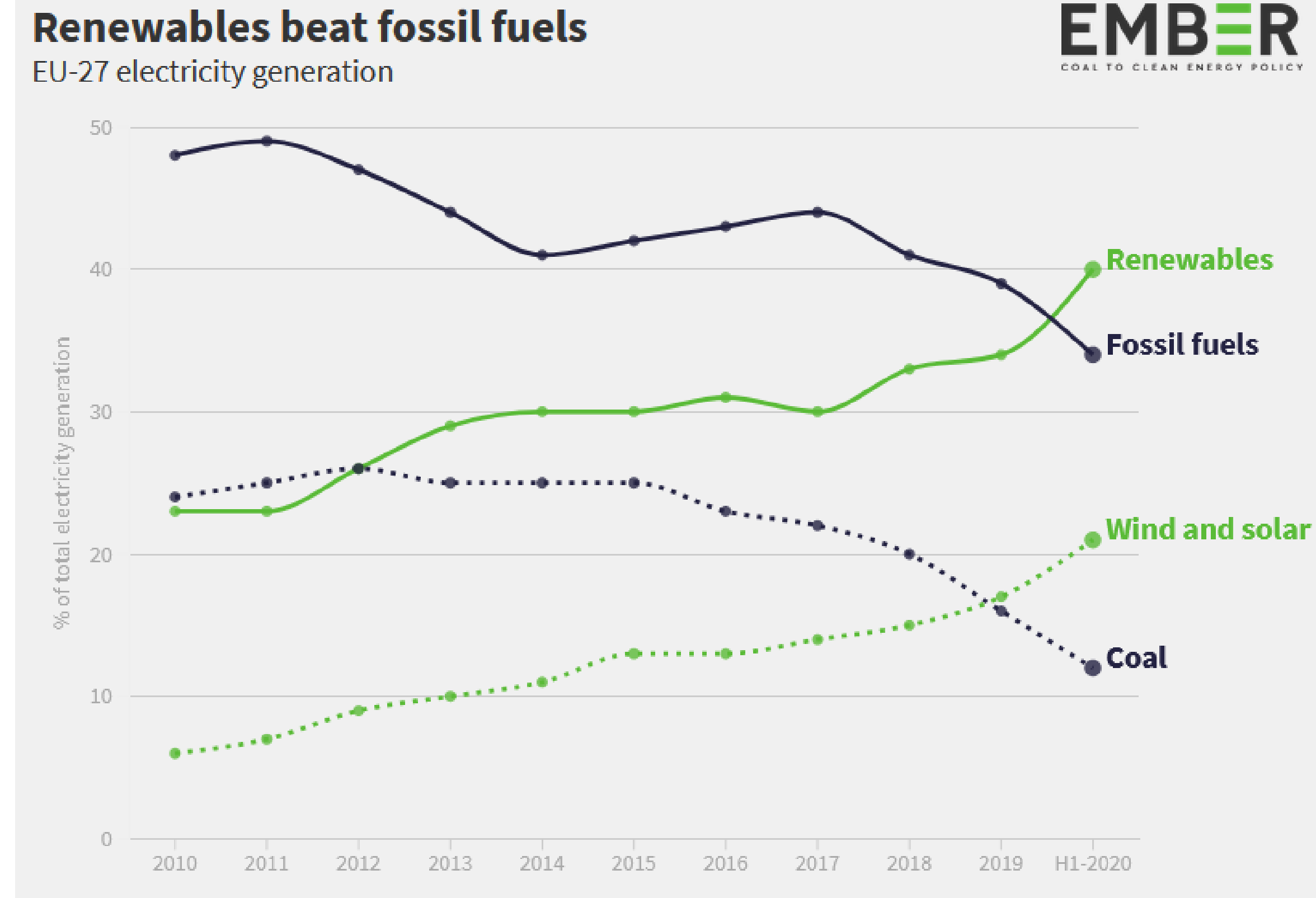
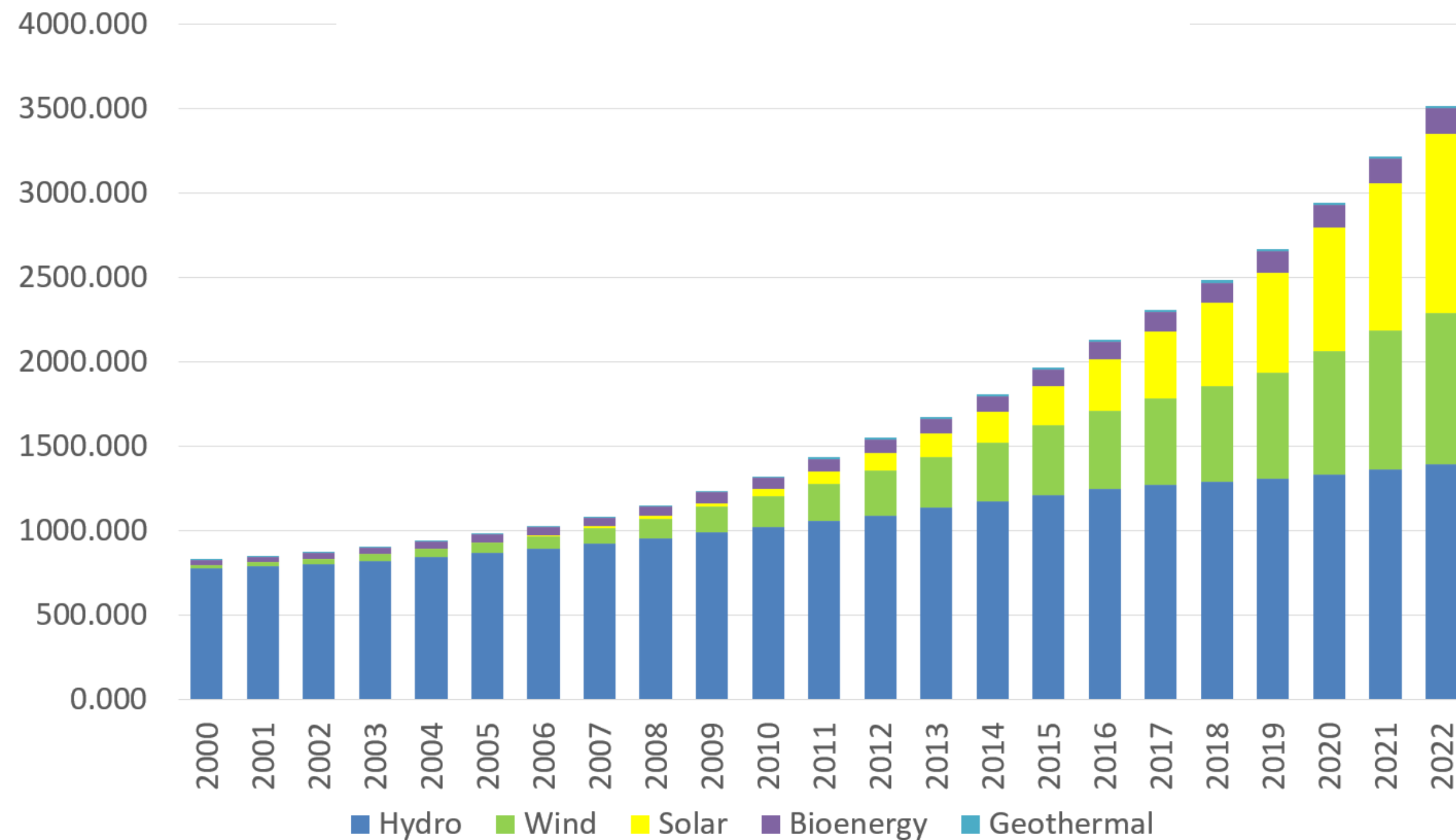


Perché energia elettrica?

- Nuovi usi: trasporti «leggeri»



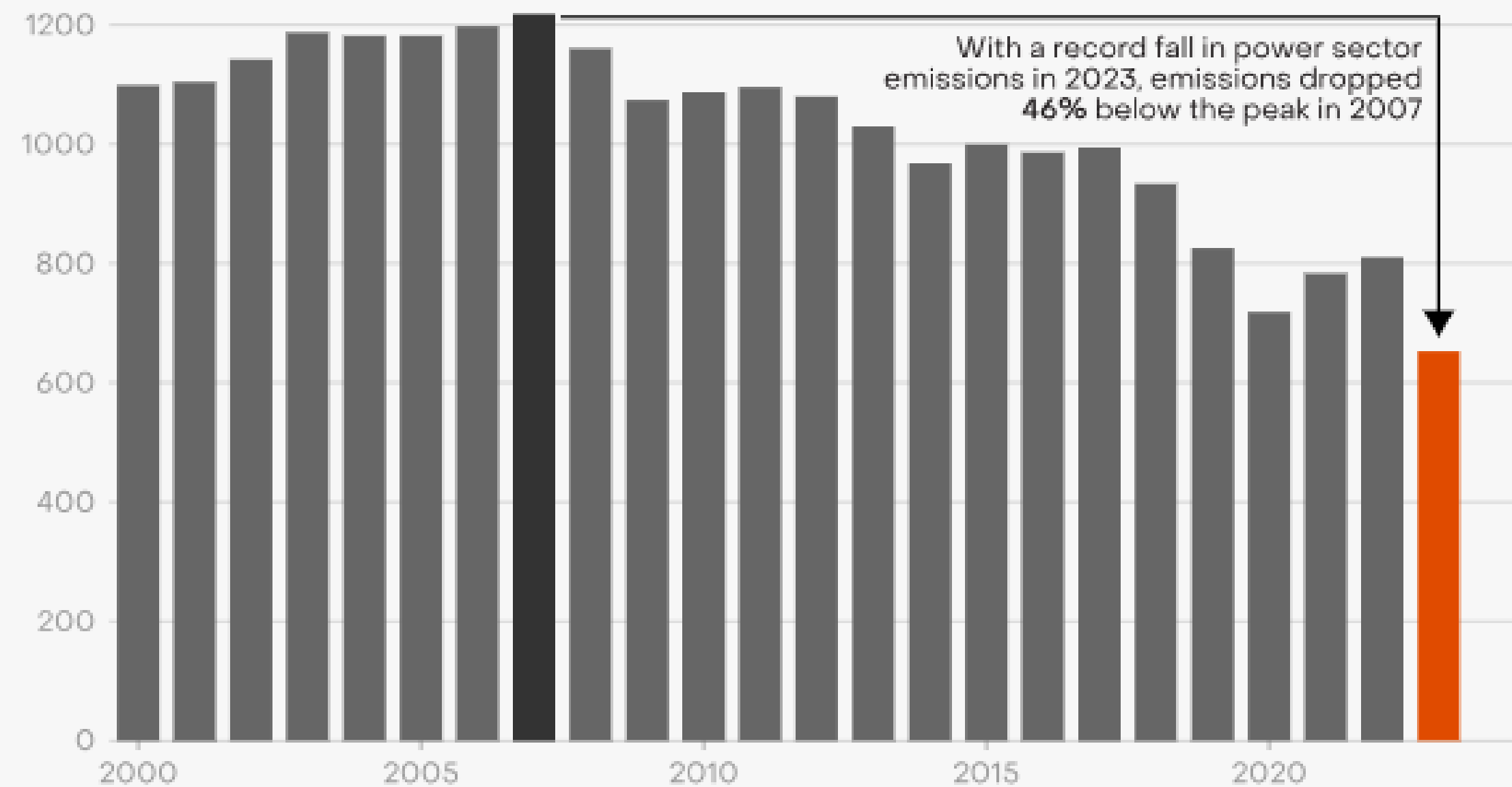
Crescita esponenziale delle rinnovabili



Intensità carbonica

EU power sector emissions have nearly halved since their peak in 2007

Total power sector emissions (MtCO₂)

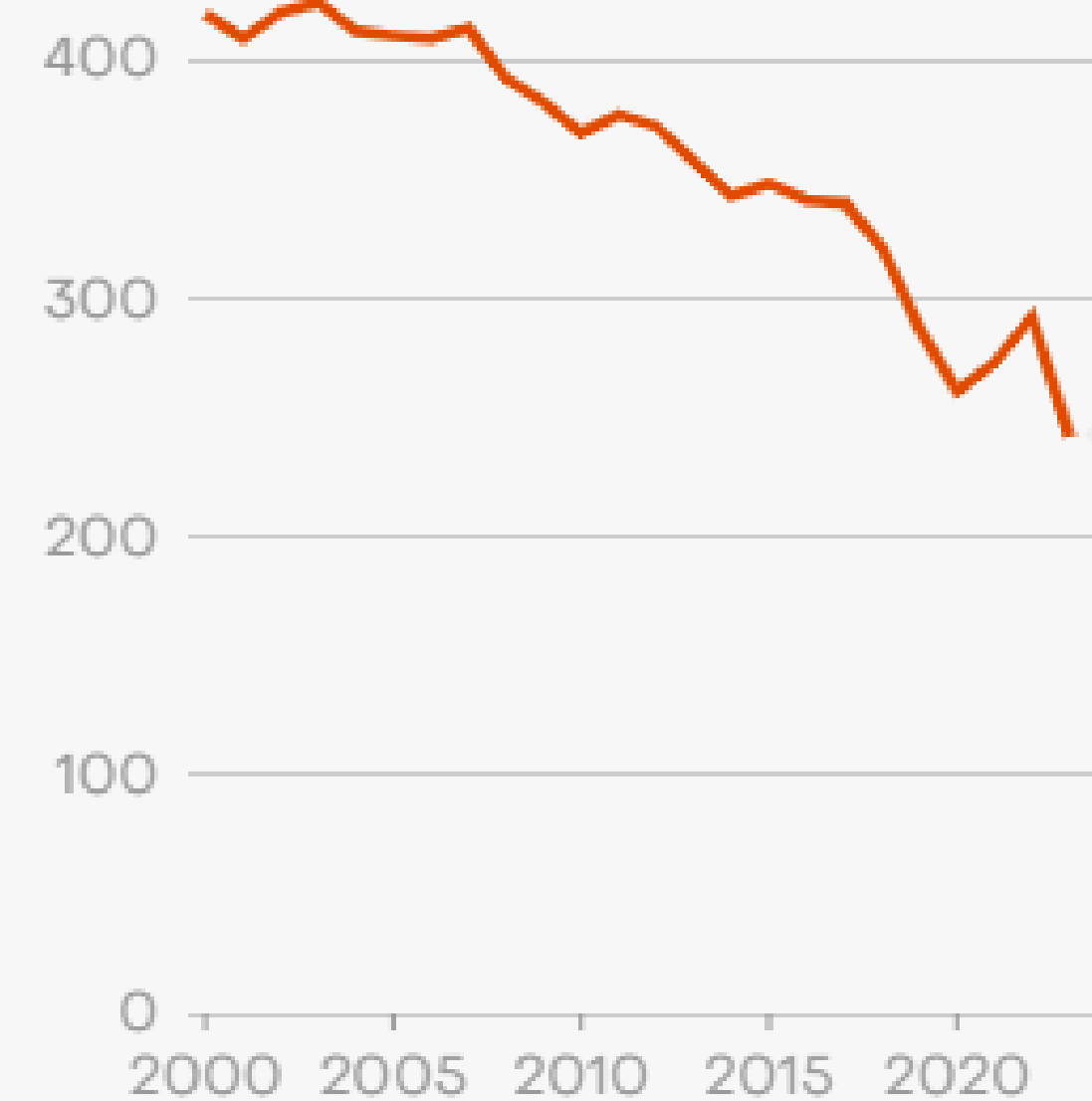


Source: Annual electricity data, Ember

EMBER

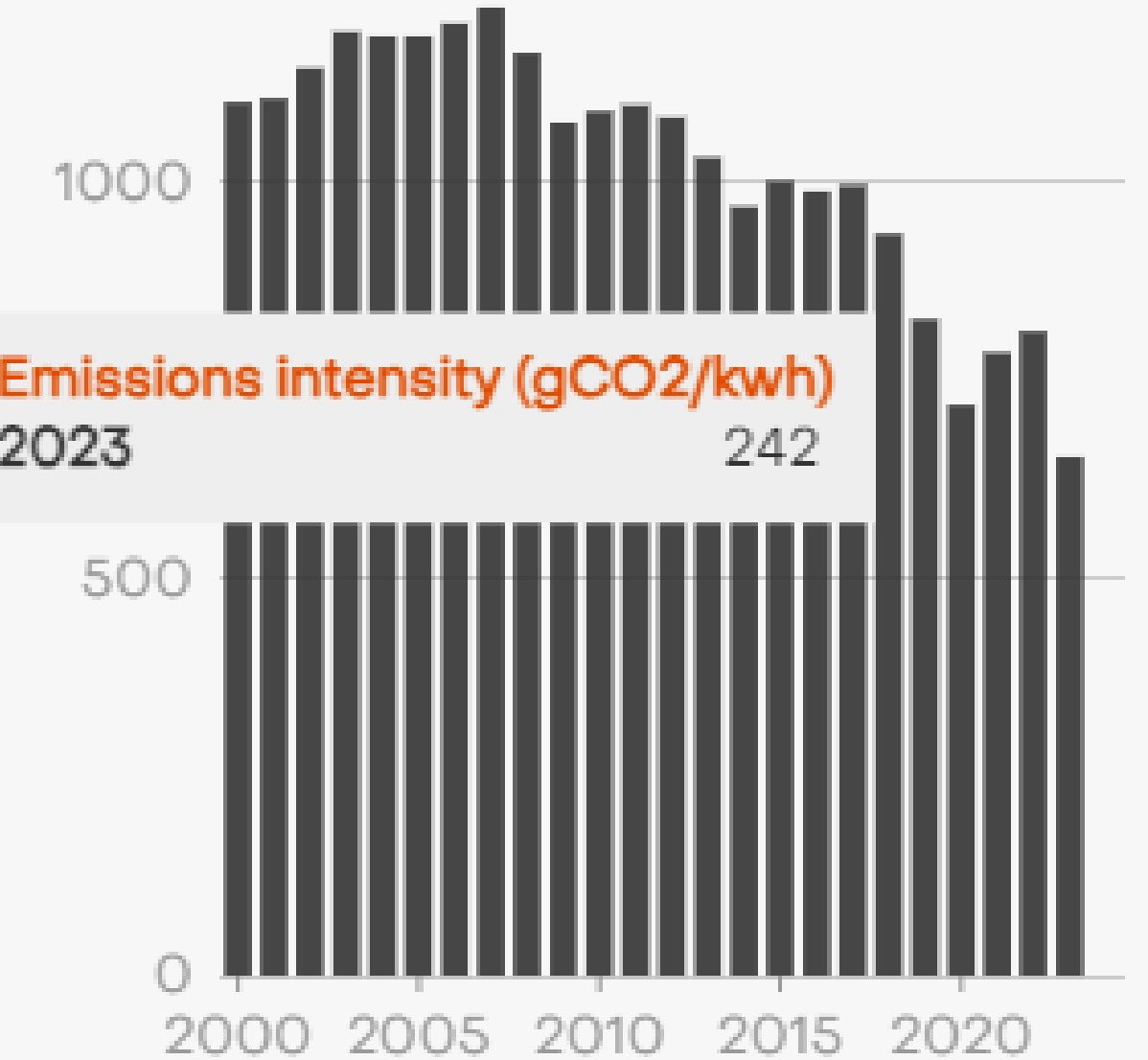
Long-term trend in EU power sector emissions

Emissions intensity (gCO₂/kwh)



Source: Annual electricity data, Ember

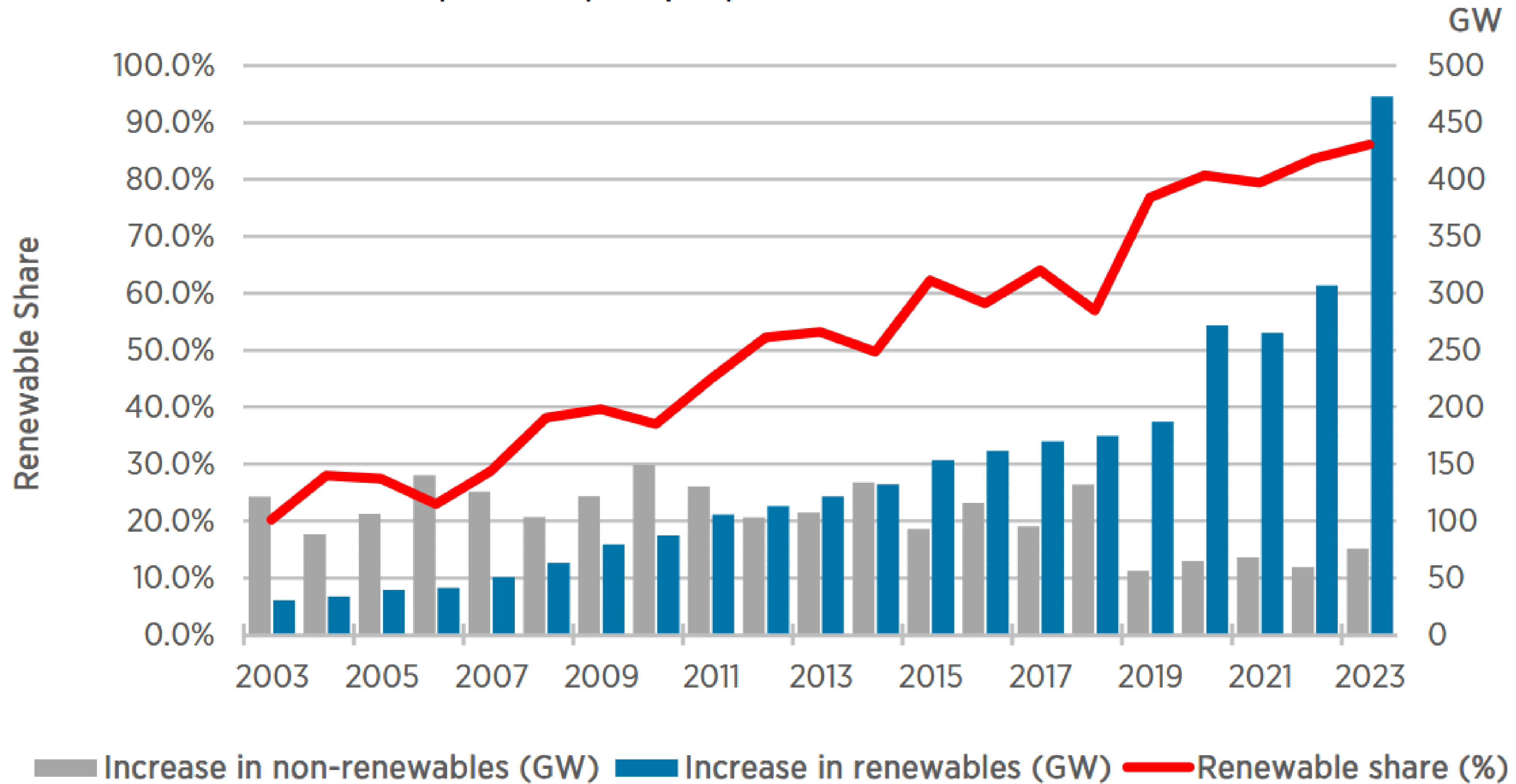
Total emissions (MtCO₂)



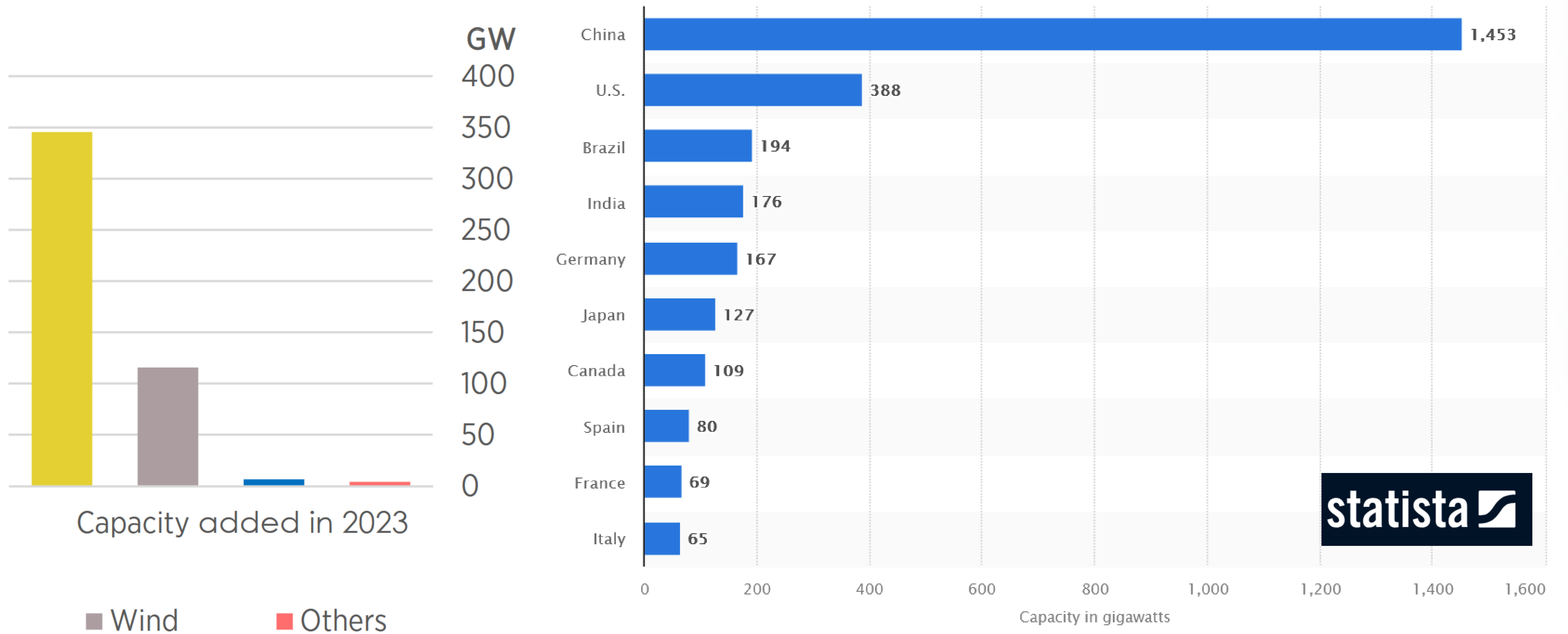
Emissions intensity (gCO₂/kwh)
2023
242

EMBER

Nel mondo si installano quasi esclusivamente rinnovabili!



Investimenti nel settore elettrico

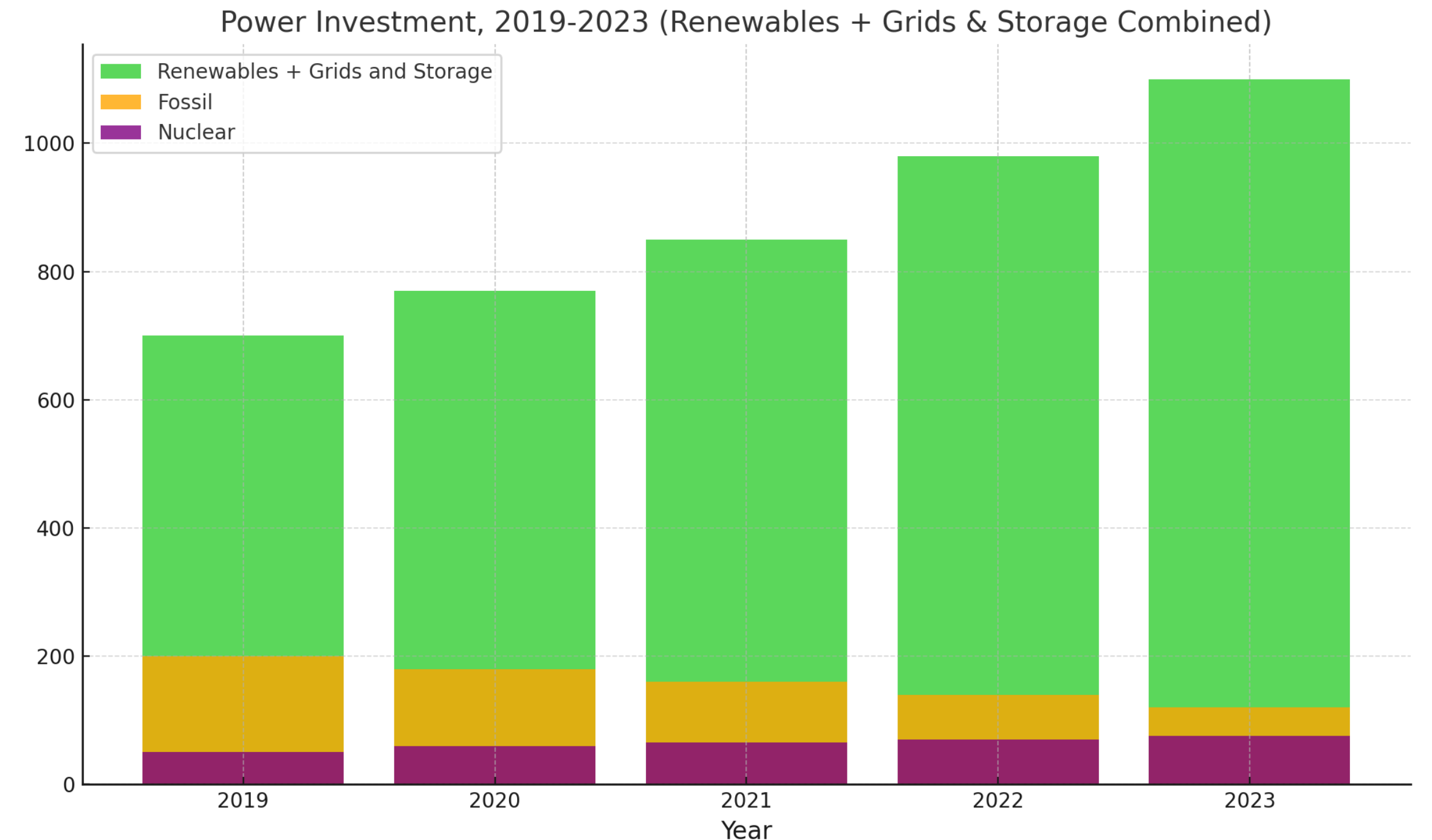
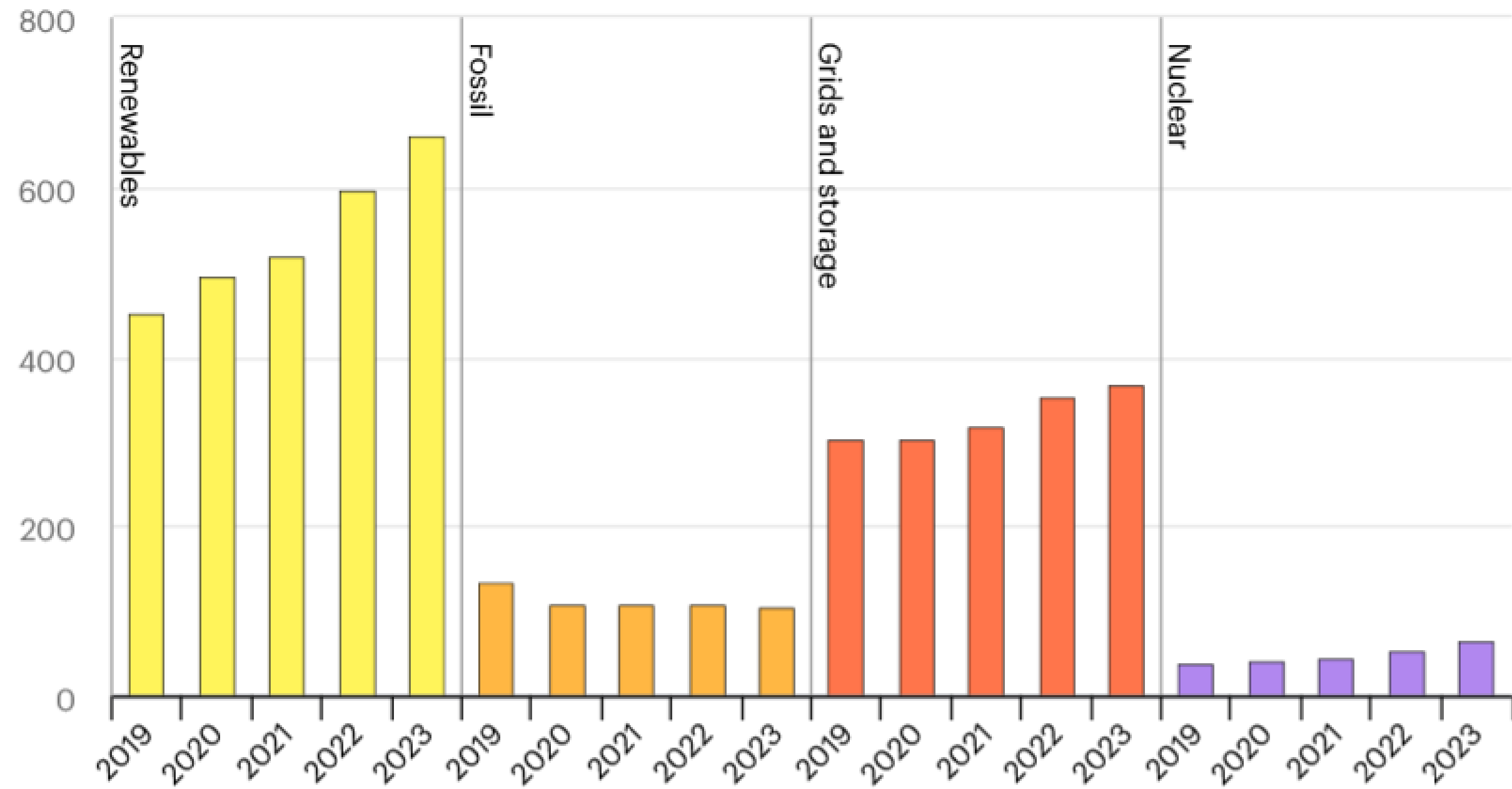


Investimenti nel settore elettrico

Power investment, 2019-2023

Open ↗

billion USD (2022)



IEA. Licence: CC BY 4.0

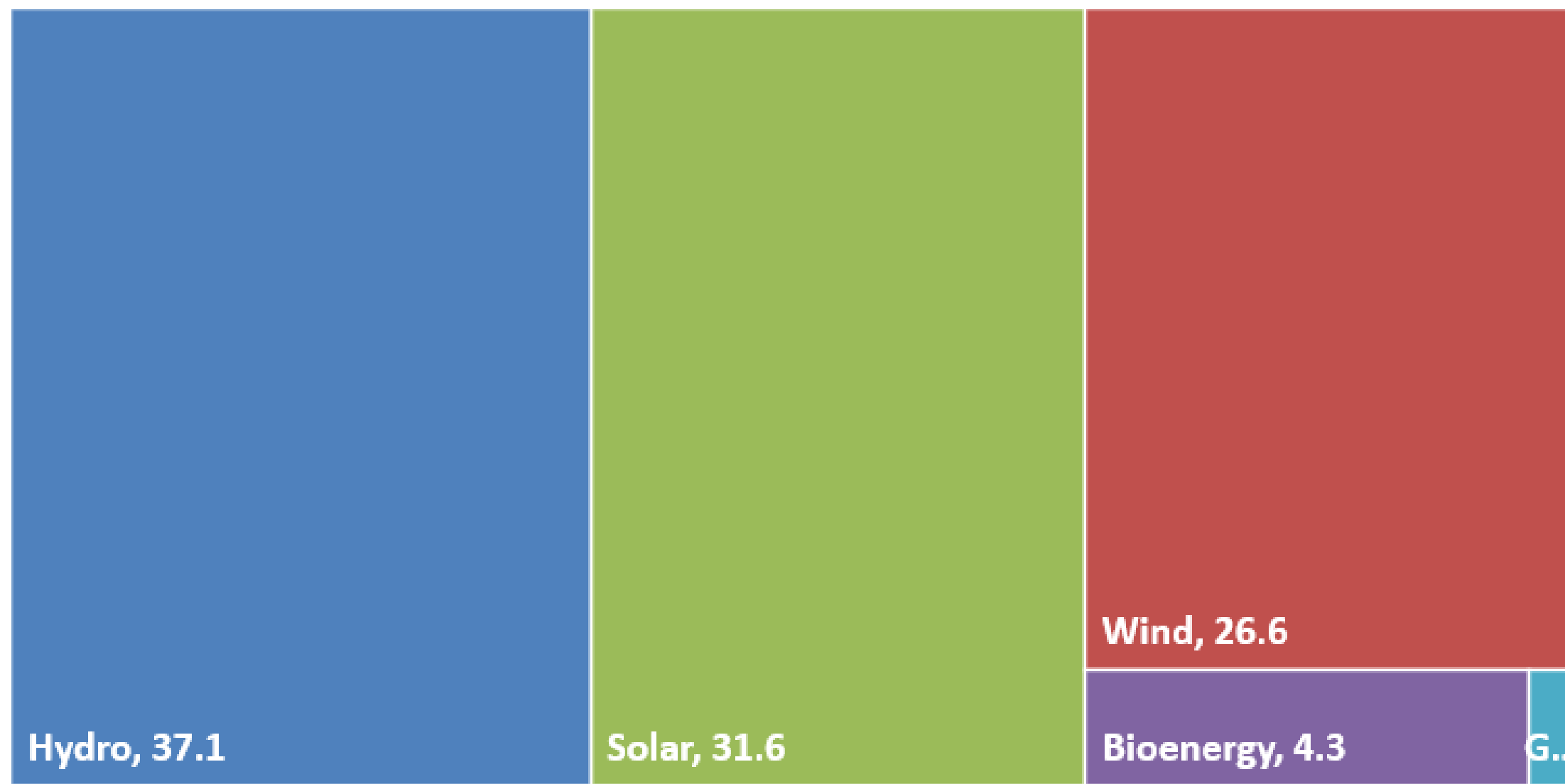
● Renewables ● Fossil ● Grids and storage ● Nuclear

2000

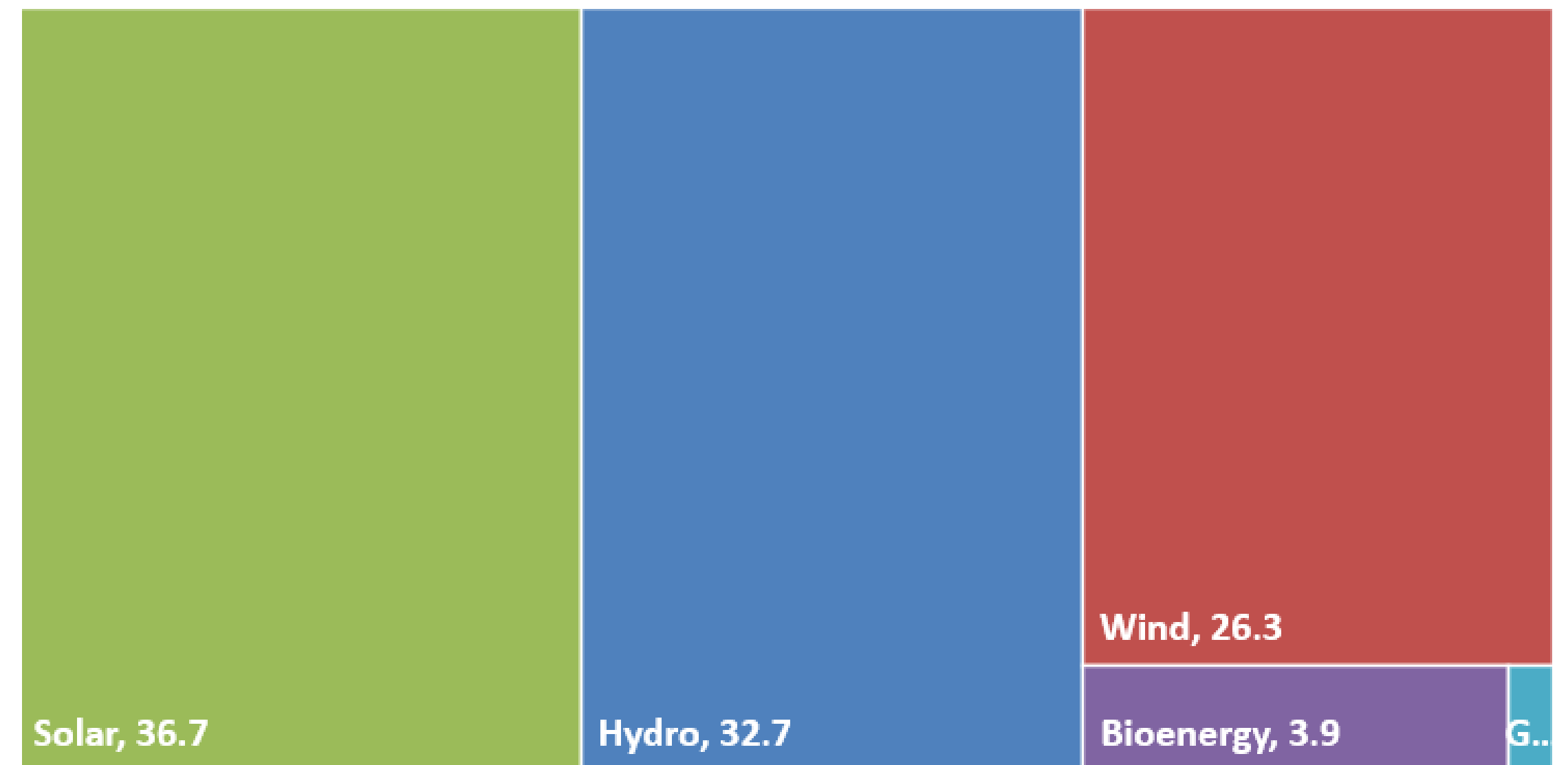


- Hydro
- Wind
- Solar
- Bioenergy
- Geotherma

2022



2023

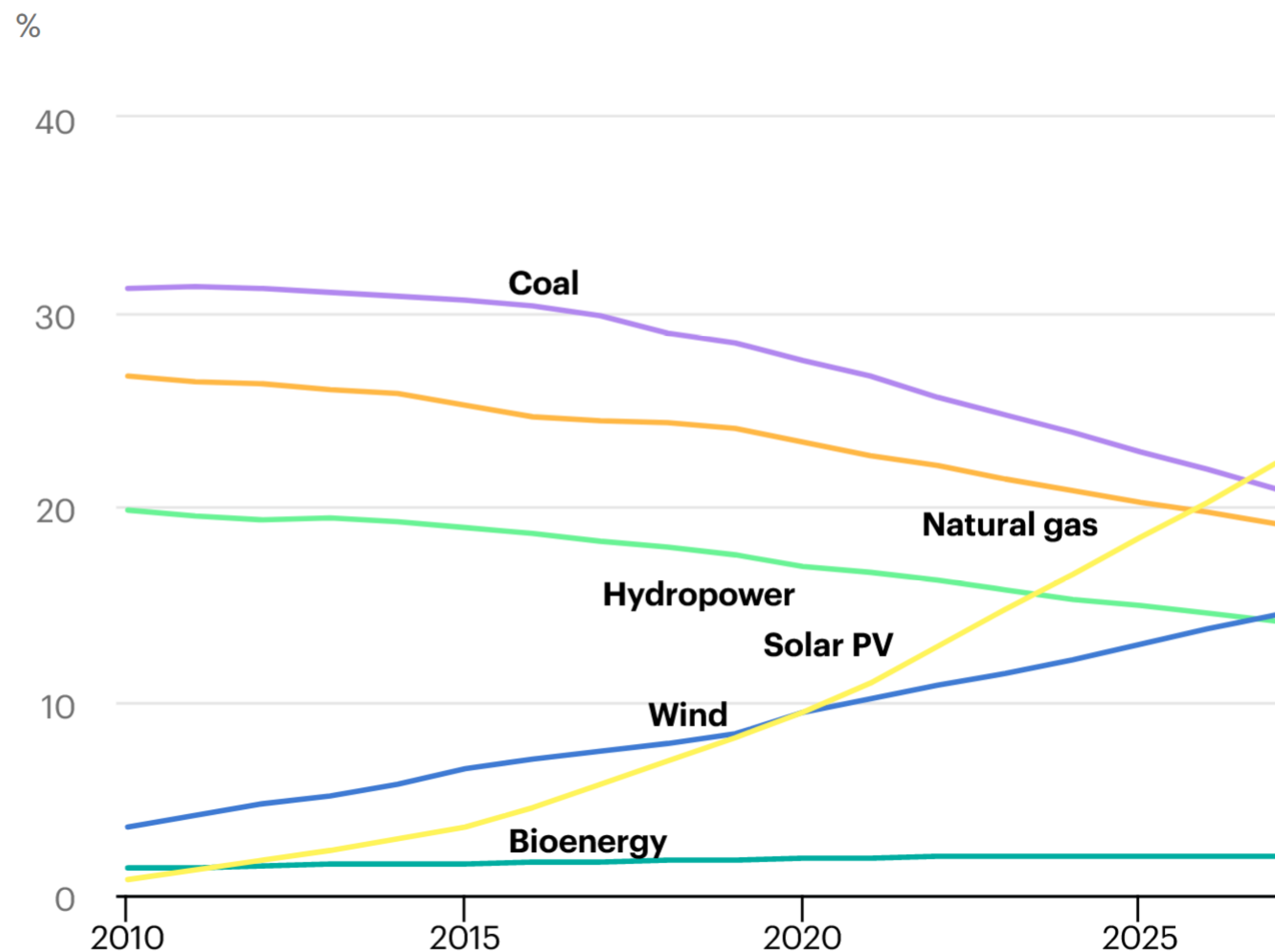
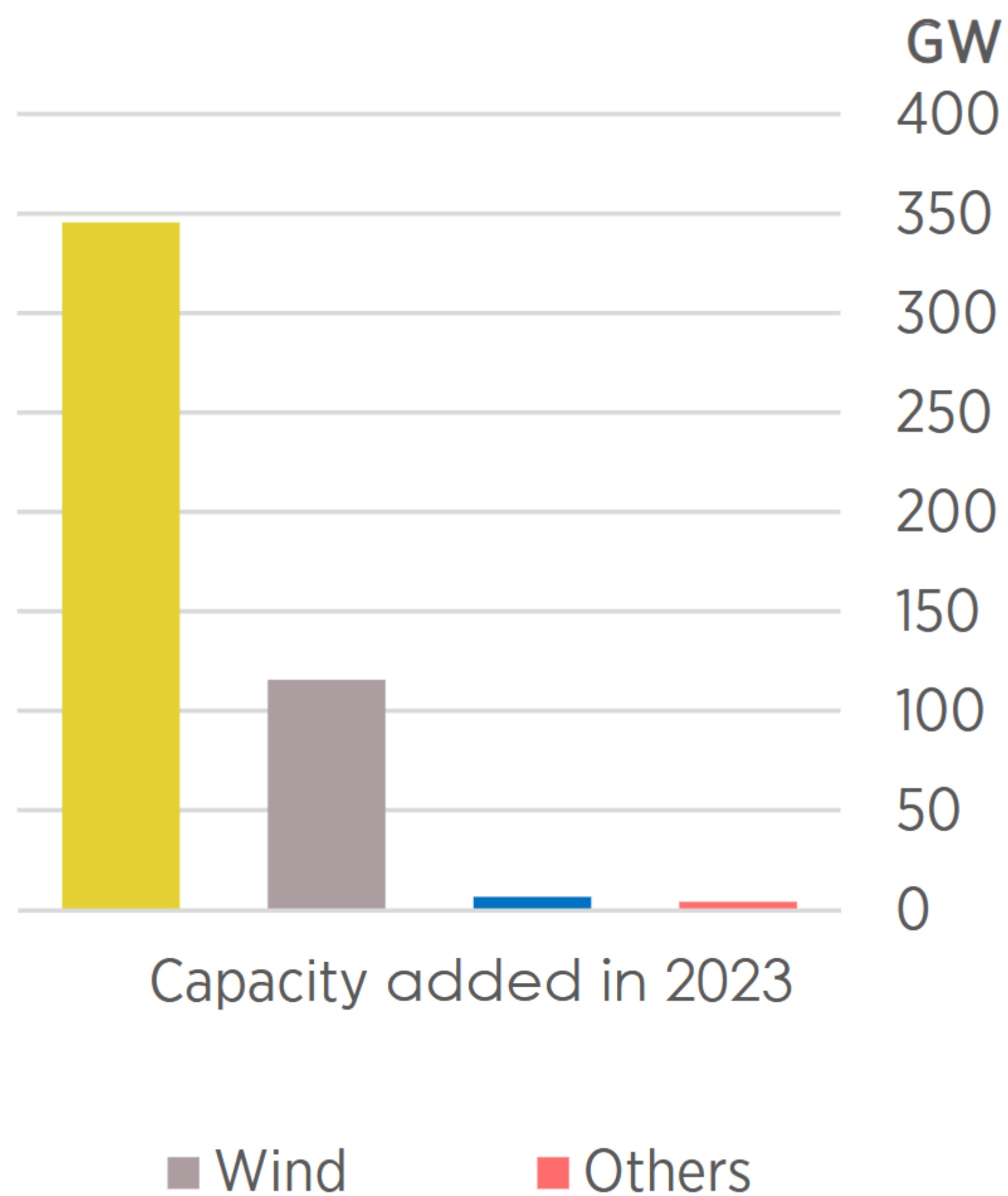


Nuove installazioni

TECHNOLOGY	2024 [GW]	2023 [GW]	VARIATION [%]
PHOTOVOLTAICS	1865	1.600	17%
WIND	1136	1047	8%
BIOMASS, SOLID BIOFUELS AND WASTE	154	150	3%
GAS	1880	1900	-1%
HYDROPOWER	1450	1408	3%
COAL	2175	2095	4%
NUCLEAR	375	370	1%

- China 2024: 277GW of PV, 80GW of wind, 2.4GW of nuclear
- Nuclear in China: 34.4GW during the last 10 years, they have a plan to install other 30GW by 2030 (5 per year)

Il fotovoltaico guida la transizione



Italia – Impianti di generazione

	LORDA			NETTA		
	PRODUTTORI	AUTOPRODUTTORI	TOTALE	PRODUTTORI	AUTOPRODUTTORI	TOTALE
MW						2024
idroelettrici	23.514,5	108,9	23.623,5	23.188,3	105,7	23.294,0
<i>di cui pompaggio puro</i>	3.986,3	-	3.986,3	3.969,6	-	3.969,6
<i>di cui pompaggio misto</i>	3.301,2	-	3.301,2	3.282,7	-	3.282,7
termoelettrici	56.216,1	5.893,8	62.109,9	54.636,3	5.694,1	60.330,4
geotermoelettrici	817,1	-	817,1	771,8	-	771,8
eolici	12.990,3	..	12.990,3	12.960,1	..	12.960,2
fotovoltaici	30.211,1	6.791,1	37.002,1	30.211,1	6.791,1	37.002,1
accumuli stand alone	1.055,5		1.055,5	1.042,6		1.042,6
TOTALE	124.804,6	12.793,8	137.598,4	122.810,2	12.590,8	135.401,1
<i>di cui accumuli e pomp. puro</i>	5.041,8	0,0	5.041,8	5.012,2	0,0	5.012,2



(1) Inoltre al 31 dicembre 2024 risultano in esercizio n. 733.737 sistemi di accumulo sottesi ad altri impianti (+41% sul 2023) per una potenza attiva nominale complessiva pari a 4.534 MW (+40% sul 2023) e 9.106 MWh di capacità massima utilizzabile - Fonte: Gaudì

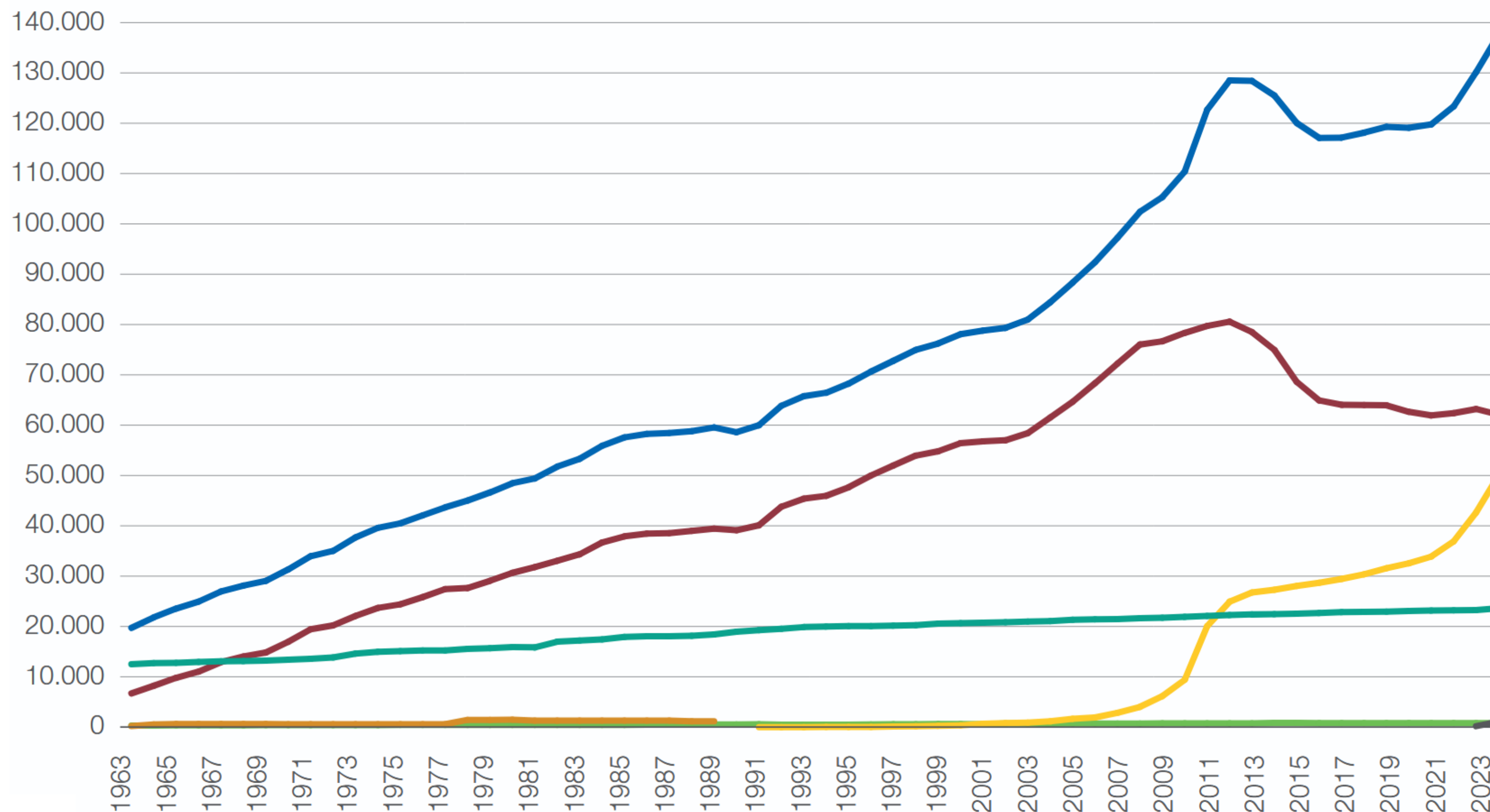
Italia - Generazione elettrica lorda

TECHNOLOGY	2005	2020	2025
THERMAL POWER	81%	60%	52%
HYDROPOWER	15%	17%	19%
PHOTOVOLTAICS	0%	9%	13%
WIND POWER	1%	6%	8%
BIOMASS	2%	6%	6%
GEO THERMAL	2%	2%	2%

Renewables doubled from 20 to 40% in 15 years!

Italia – Impianti di generazione

Potenza efficiente lorda MW



— Totale — Idroelettrici — Termoelettrici tradizionali — Geotermoelettrici — Nucleotermoelettrici
— Eolici e Fotovoltaici — Accumuli stand alone

Italia - Generazione elettrica netta

Composizione del mix nazionale di produzione dell'energia elettrica immessa nel sistema elettrico italiano nel 2024
(art. 8, comma 11, del DM 224 del 14 luglio 2023)

Fonti primarie utilizzate	Valore dell'energia immessa [%]	Valore dell'energia immessa [TWh]
- Fonti rinnovabili	51,83	118,44
- Carbone	1,52	3,46
- Gas naturale	42,01	96,01
- Prodotti petroliferi	0,47	1,06
- Nucleare	-	-
- Lignite	-	-
- Altre fonti	4,17	9,53



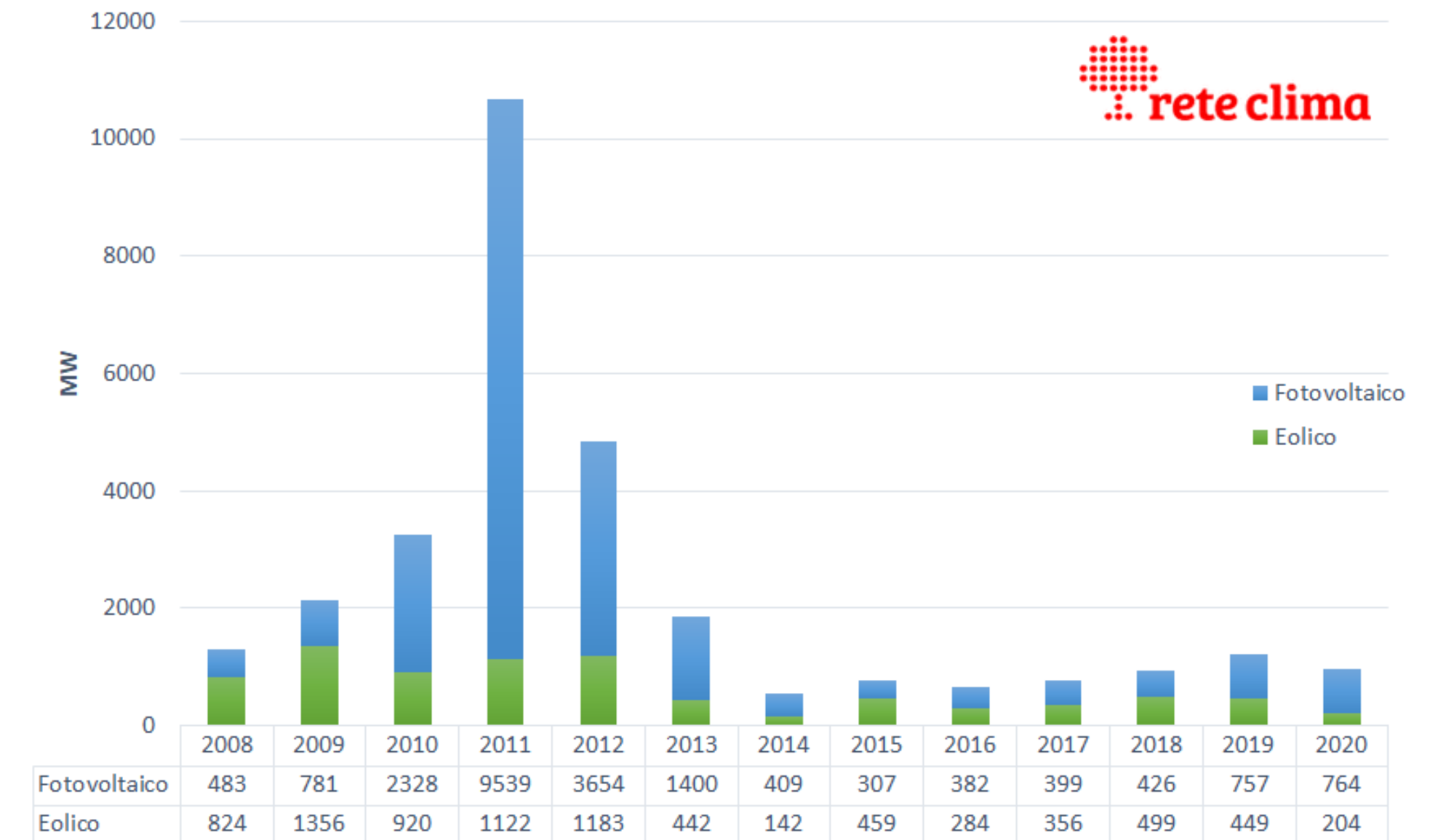
Il futuro del settore elettrico in Italia

Tabella 10 - Obiettivi di crescita della potenza da fonte rinnovabile al 2030 (MW) [Fonte: RSE, GSE]

	2020	2021	2025	2030
Idrica*	19.106	19.172	19.172	19.172
Geotermica	817	817	954	1.000
Eolica	10.907	11.290	17.314	28.140
- di cui off shore	0	0	300	2.100
Bioenergie	4.106	4.106	3.777	3.052
Solare	21.650	22.594	44.848	79.921
- di cui a concentrazione	0	0	300	873
Totale	56.586	57.979	86.065	131.285

In 2023: 27 GW of PV and 12.5 GW of wind
53 GW of PV in 7 years >> 7.6 GW/year
12.5 GW of wind power >> 2.2 GW/year

Evoluzione installato al 31 dicembre 2020 (MW)



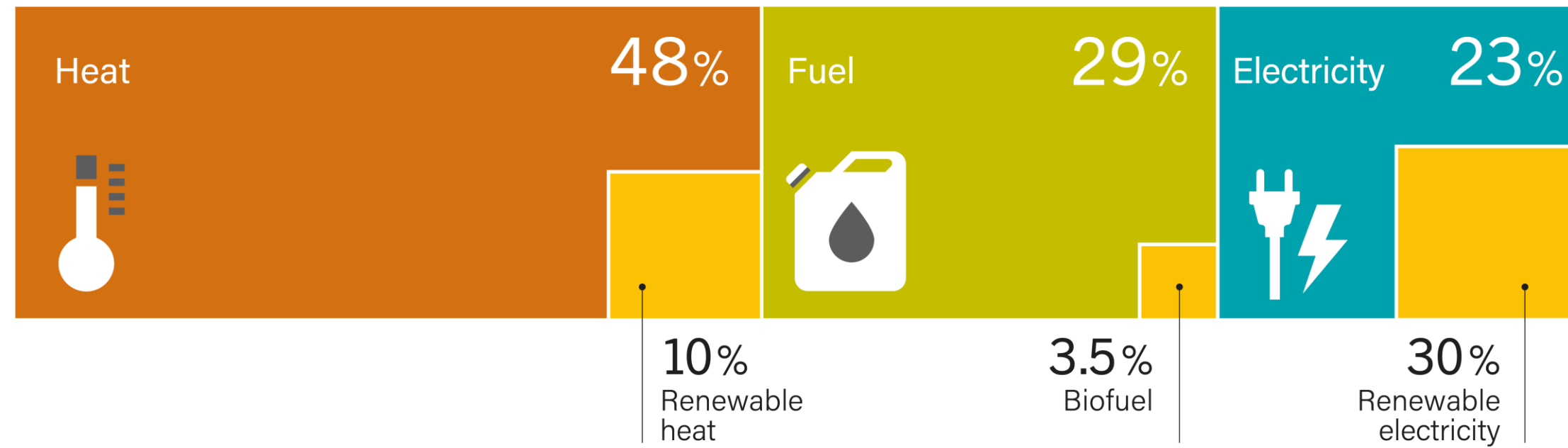
PHOTOVOLTAICS

2,5 GW in 2022, 6.8 in 2024, 5.6 in 2025

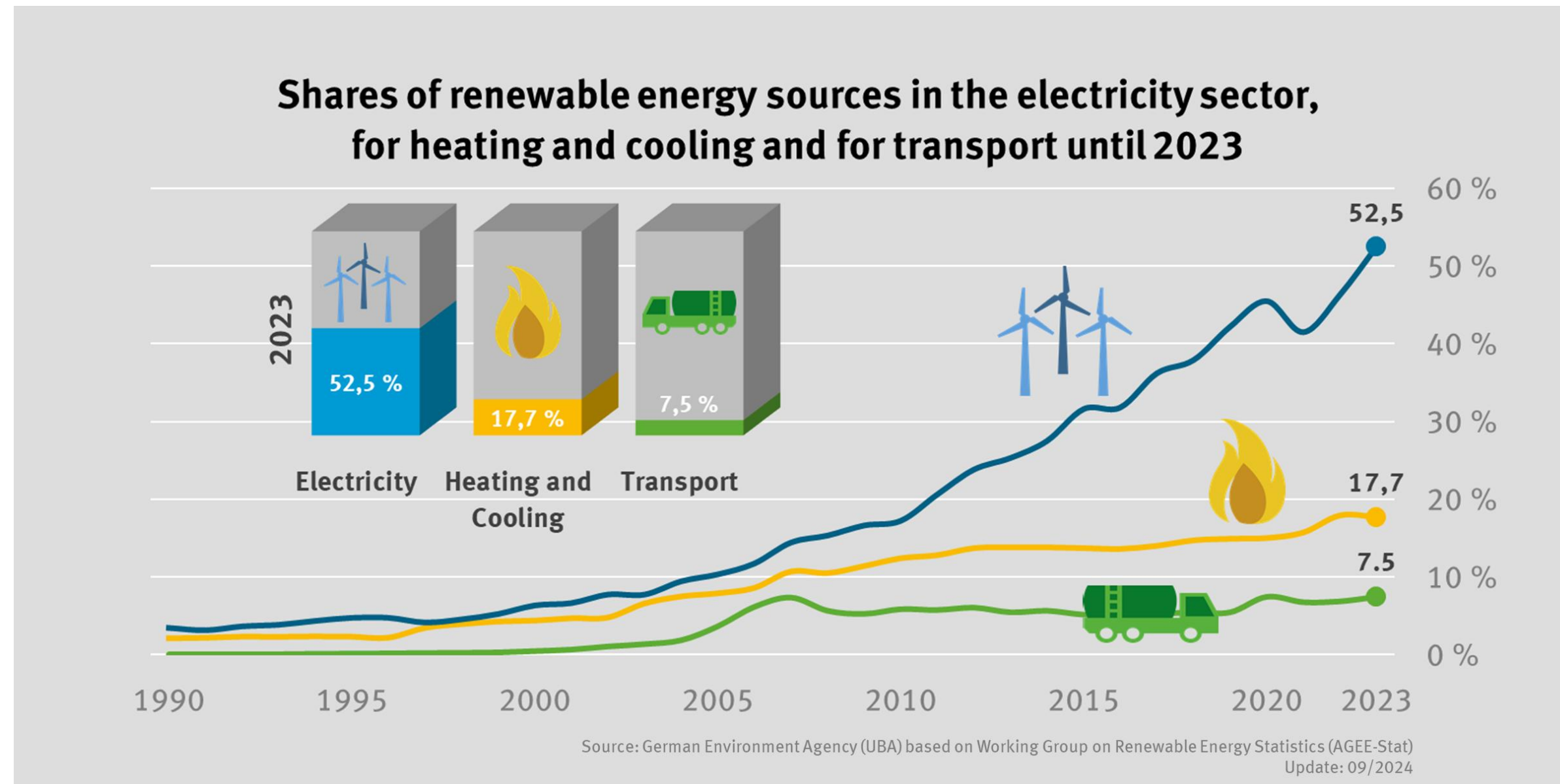
In Germany (7 in 2022, 15 in 2023, 16.2 in 2024 and 2025!!!!)

Non solo energia elettrica

Total Final Energy Consumption and Share of Modern Renewables, by Energy Carrier, 2021



REN21 RENEWABLES 2024 GLOBAL STATUS REPORT - ENERGY SUPPLY

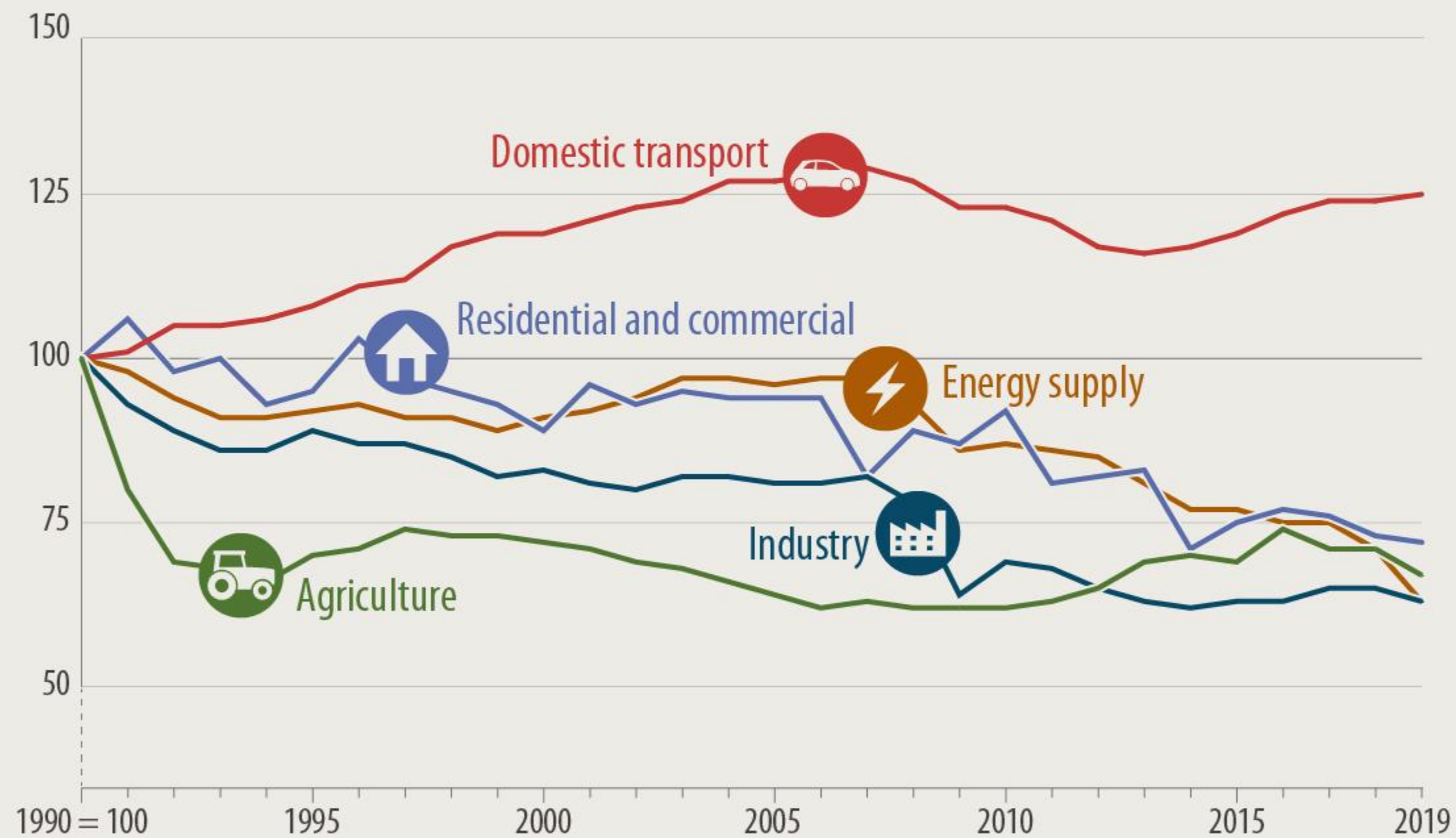


ITALIA

	2022	2030
FONTI PRIMARIE	22%	30%
ENERGIA ELETTRICA	39%	55%
CALORE	25%	34%
TRASPORTI	12%	22%

EMISSIONS IN THE EU*

Change in emission levels by sector since 1990
(in CO2 equivalent)



* Data excluding the United Kingdom

Source: European Environment Agency (2022)

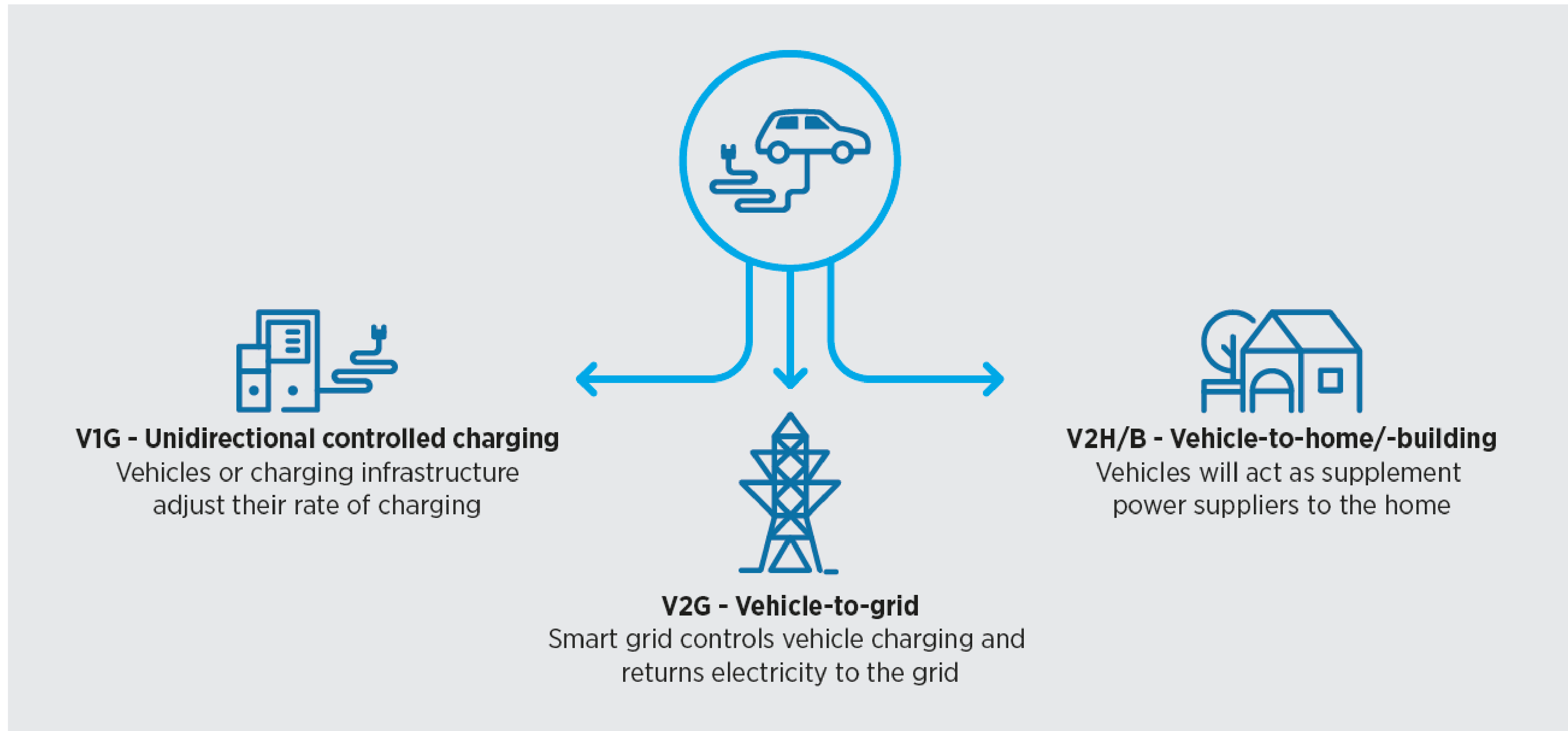


- The transportation sector is the only one with rising emissions
- In Italy +6.2% in 2022
- Transport was responsible for about a quarter of the EU's total CO2 emissions in 2019, of which 71.7% came from road transportation

Smart grid & Mobility Lab @ UNITS



Figure 5 Forms of smart charging of electric vehicles



Source: IRENA (2019d)

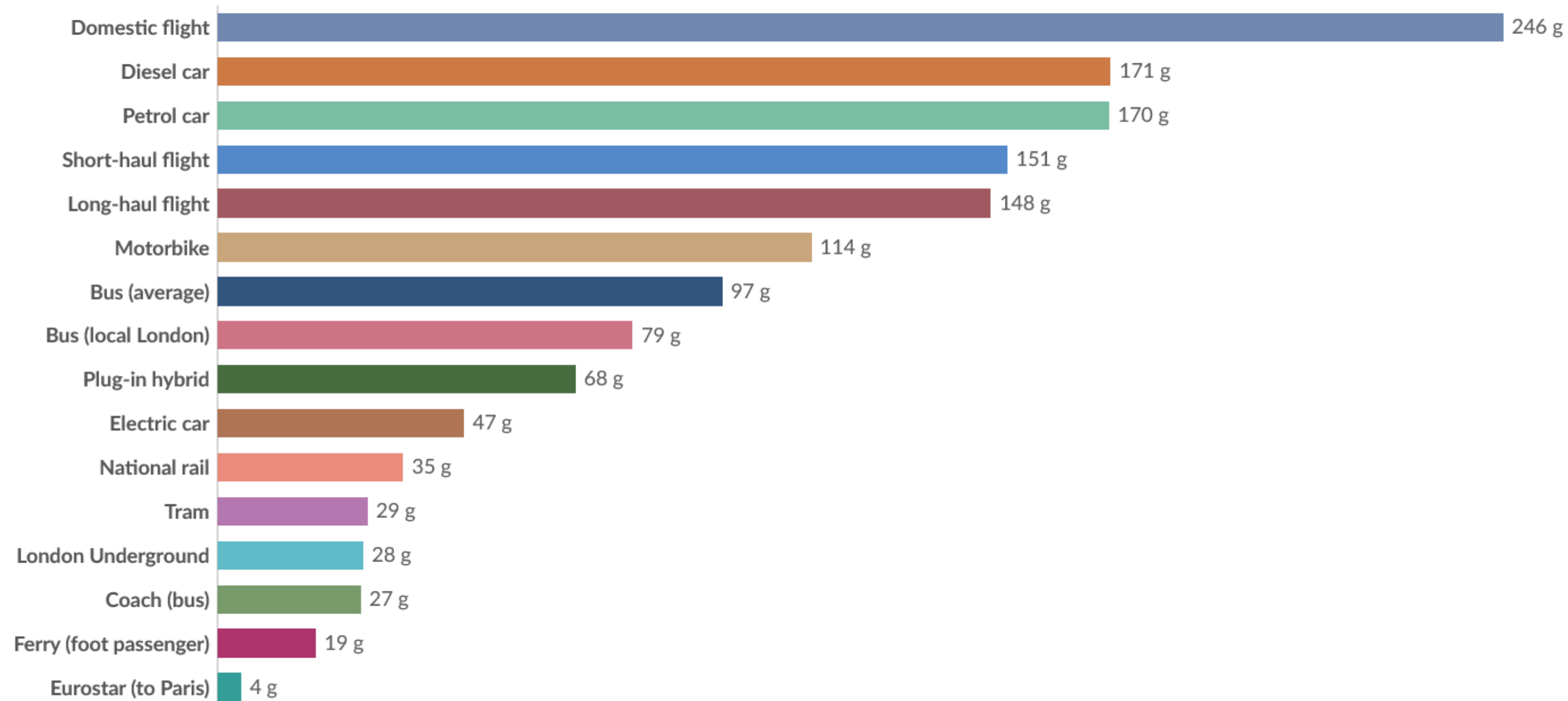
Carbon footprint of travel

Carbon footprint of travel per kilometer, 2022

The carbon footprint of travel is measured in grams of carbon dioxide-equivalents per passenger kilometer. This includes the impact of increased warming from aviation emissions at altitude.

Our World in Data

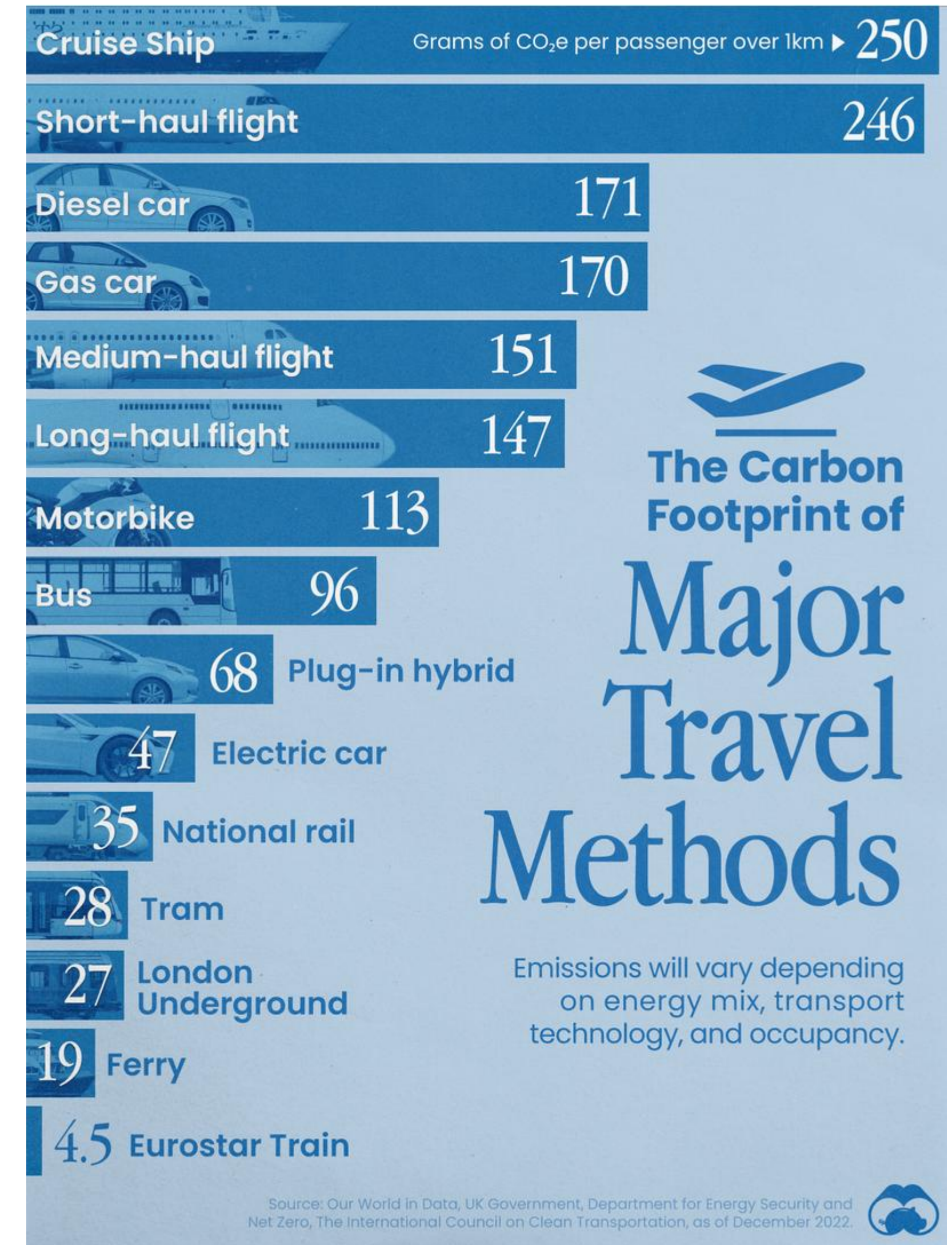
Table Chart



Data source: UK Government, Department for Energy Security and Net Zero (2022) – [Learn more about this data](#)

OurWorldinData.org/transport | CC BY

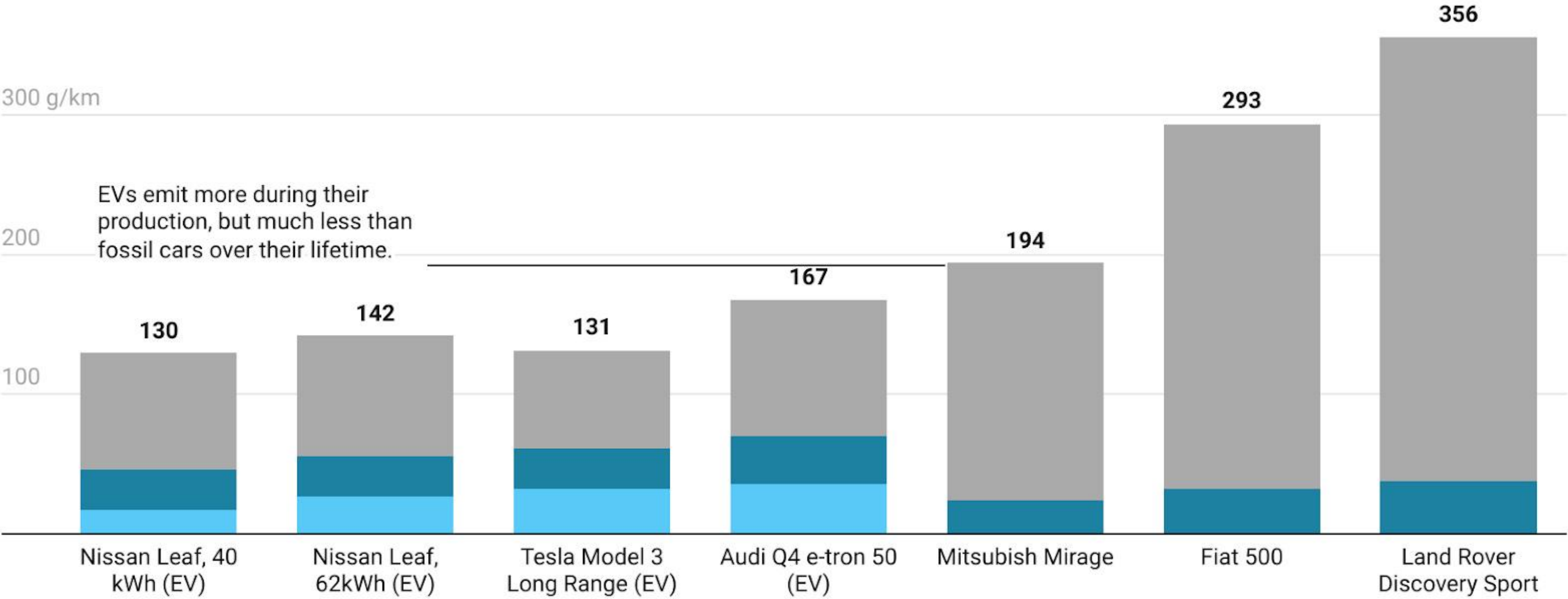
Note: Official conversion factors used in UK reporting. These factors will vary across countries depending on energy mix, transport technologies, and occupancy of public transport. Data for aviation is based on economy class.



Emissions of electric vehicles vs. fossil fuel cars, US average energy mix

Life-cycle emissions of electric vehicles (EVs) versus fossil fuel cars. This is based on production and fuelling of the car in the US. Emissions are measured in grams CO₂ per kilometer.

■ Battery production ■ Car production ■ Fuel and electricity



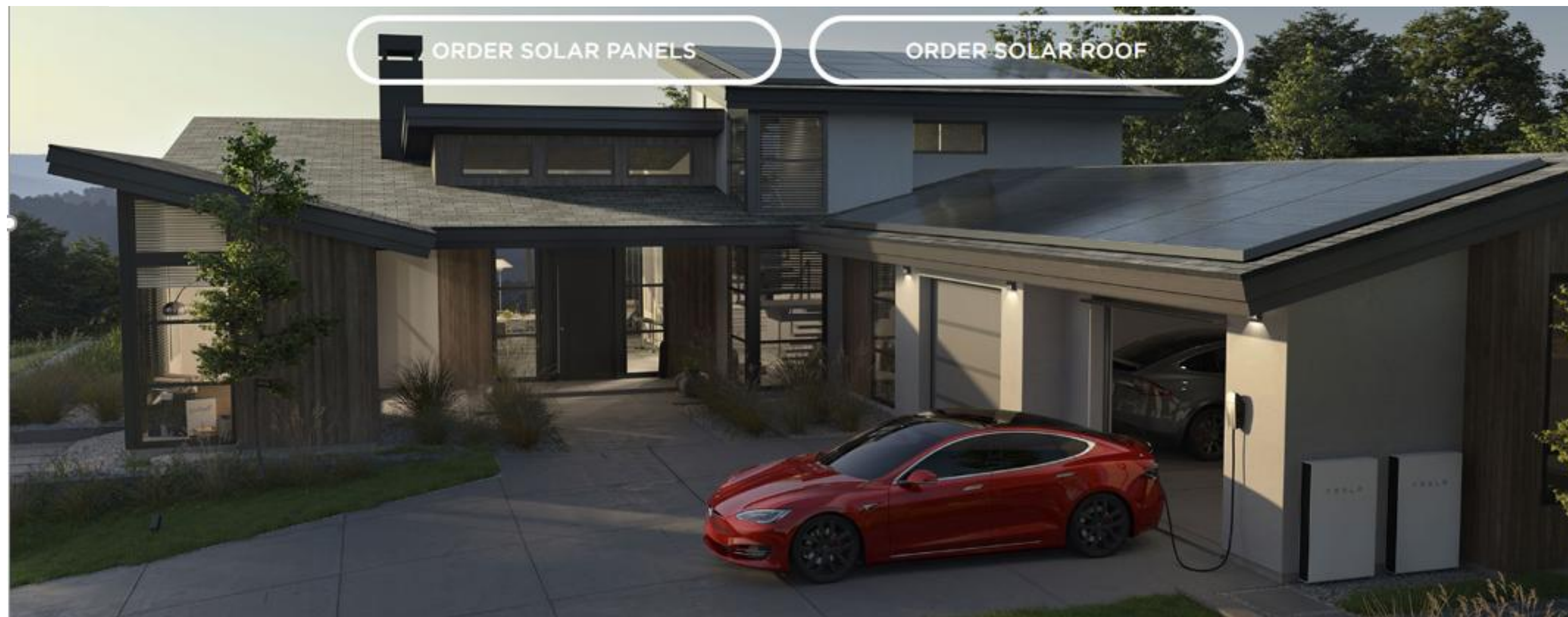
Assumes a mileage of 14,000 miles per year, which is the average in the US, and a car lifetime of 10 years.

Chart: Hannah Ritchie • Source: Based on data from CarbonCounter.com • Created with Datawrapper

Un milione di case europee sono alimentate a batterie solari

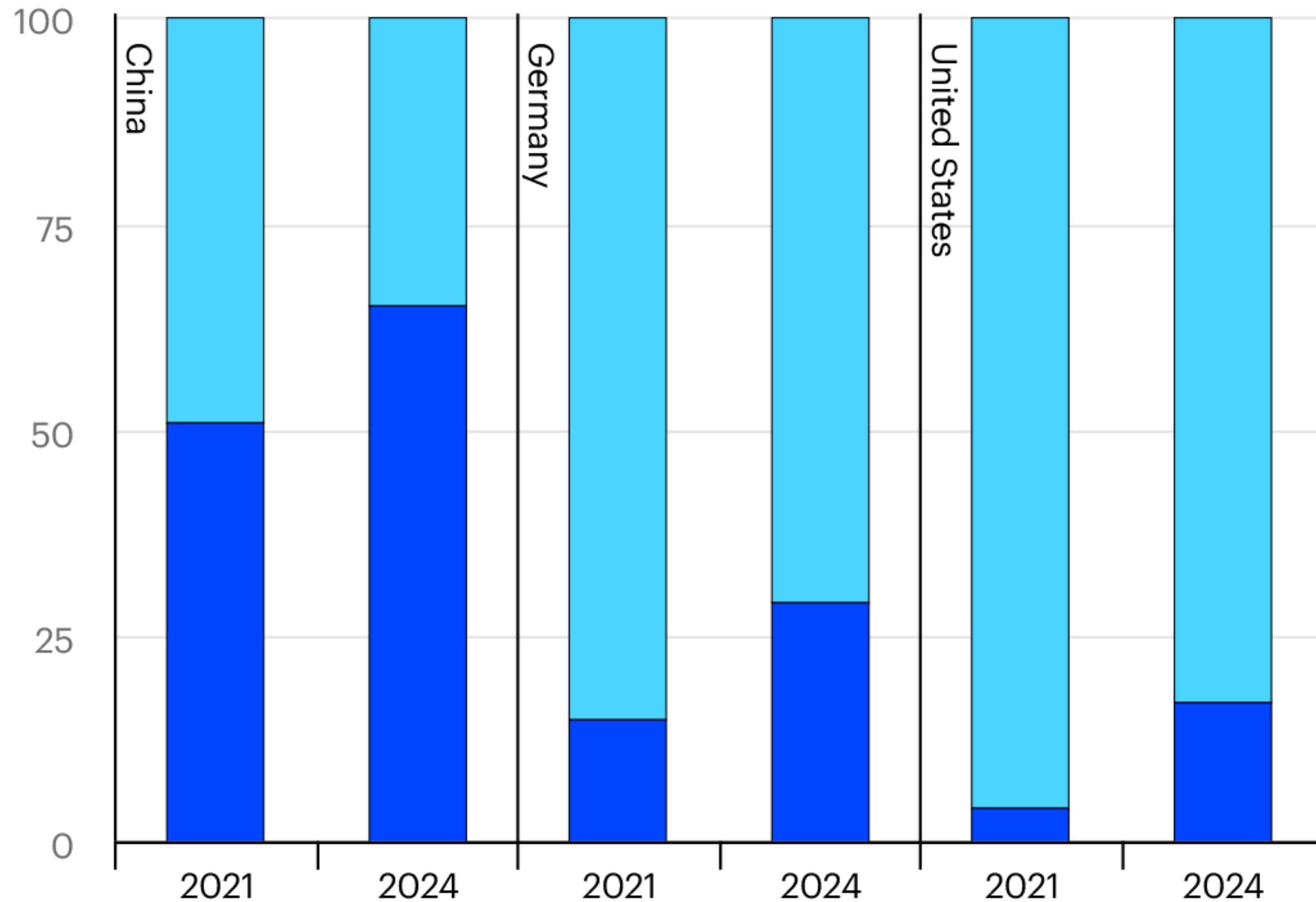
SolarPower Europe pubblica gli ultimi dati sui sistemi a batteria connessi al fotovoltaico domestico. La capacità in Europa è quasi raddoppiata in un solo anno

8 Dicembre 2022



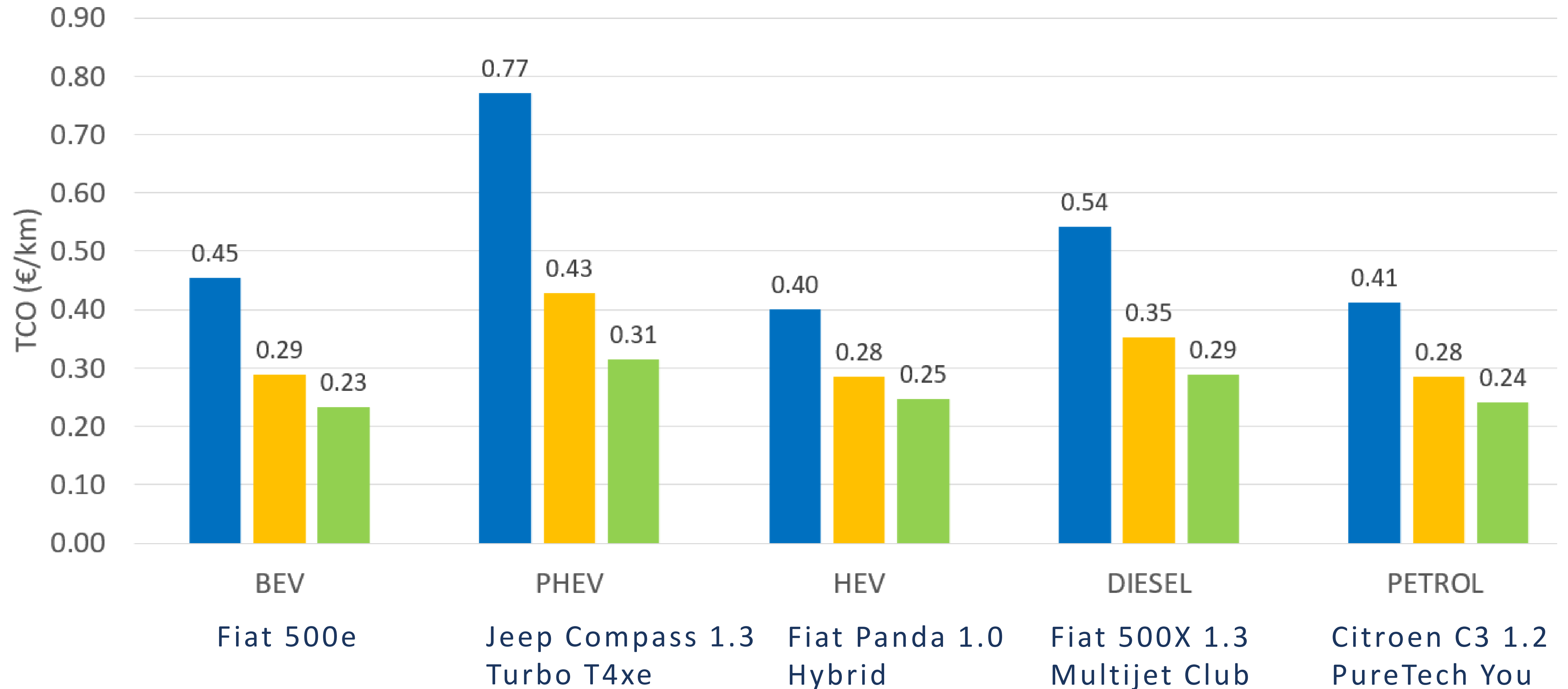
Battery electric vehicles costs

● Less expensive than ICE equivalent ● More expensive than ICE equivalent



- In 2024 Chinese BEV reached price parity with ICEV in the SUV segment (50% of the market)
- In China more than half e-SUV were priced lower than ICE-SUV
- Plug-in hybrid SUVs were also cheaper than ICEV models
- Chinese BEV were 20% more expensive than ICEV in the medium car segment (30% of the market)
- Overall, in 2024, 2/3 of the BEV sold in China were cheaper than their ICE equivalents

Total Cost of Ownership (TCO)



BEYOND COMBUSTION: ELECTRIFICATION

From **MOLECULES** (methane, gasoline, ...) to **ELECTRONS**

Energy & Environmental Science

Cite this: *Energy Environ. Sci.*, 2011, **4**, 3193

www.rsc.org/ees

Towards an electricity-powered world

Nicola Armaroli^{*a} and Vincenzo Balzani^{*b}

Received 2nd March 2011, Accepted 21st April 2011

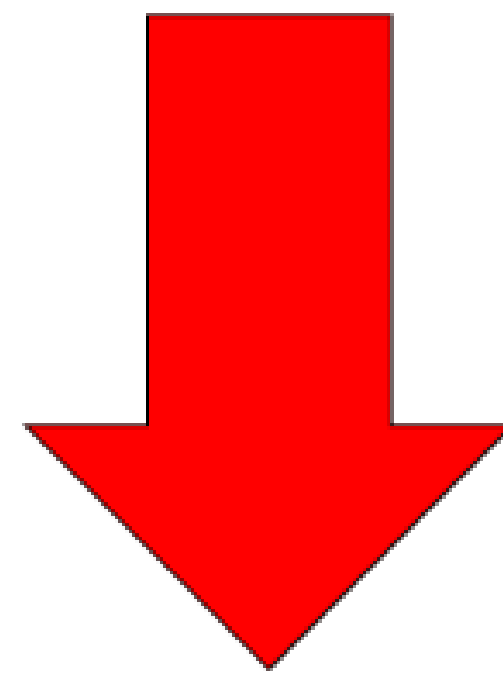
DOI: 10.1039/c1ee01249e

- Electric machines are far more **EFFICIENT** than combustion counterparts
- We already have **RENEWABLE** electricity technologies on the market. They are the most **COMPETITIVE** in terms of cost and time

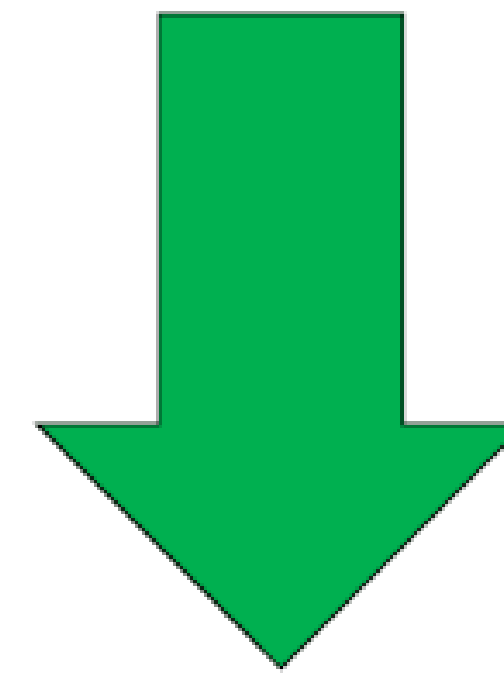


ELECTRIC MOBILITY SAVES (A LOT OF) ENERGY

35% of battery e (BEV) e plug-in hybrid (PHEV) in Italy



+ 30 TWh
electricity



- 140 TWh
oil



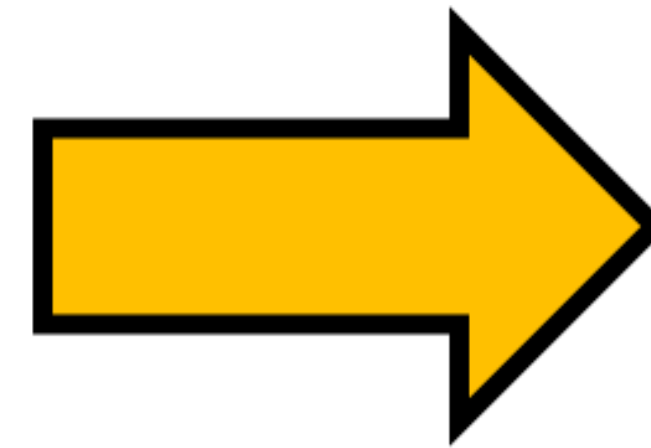
Nicola Armaroli, CNR, Bologna – *Summer School on Energy Giacomo Ciamician*, Sesto, June 17th 2022

EFFICIENCY OF BATTERY ELECTRIC VEHICLES (BEV)

MILAN – ROME : 580 Km



95 kWh
equiv. to
10 liters
of gasoline



Gasoline
(15 km/l)
40 liters

**HERE'S WHY
WE NEED TO CHANGE**

A RADICAL DIFFERENCE

ICE VEHICLES

Powered by a **material** input



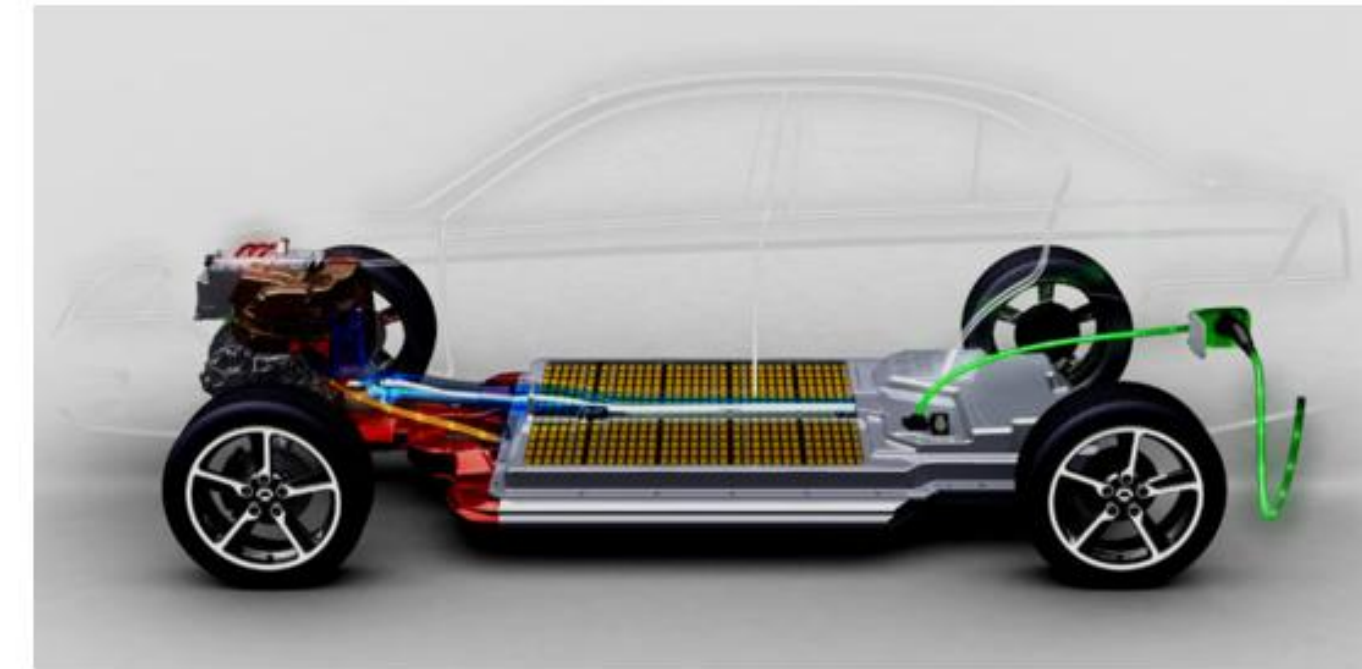
Only one simple product (e.g., gasoline)
Waste **dispersed** into the atmosphere (CO₂)

LINEAR ECONOMY



BEVs

Powered by an **immaterial** input



Several complex materials (battery)

No dispersions

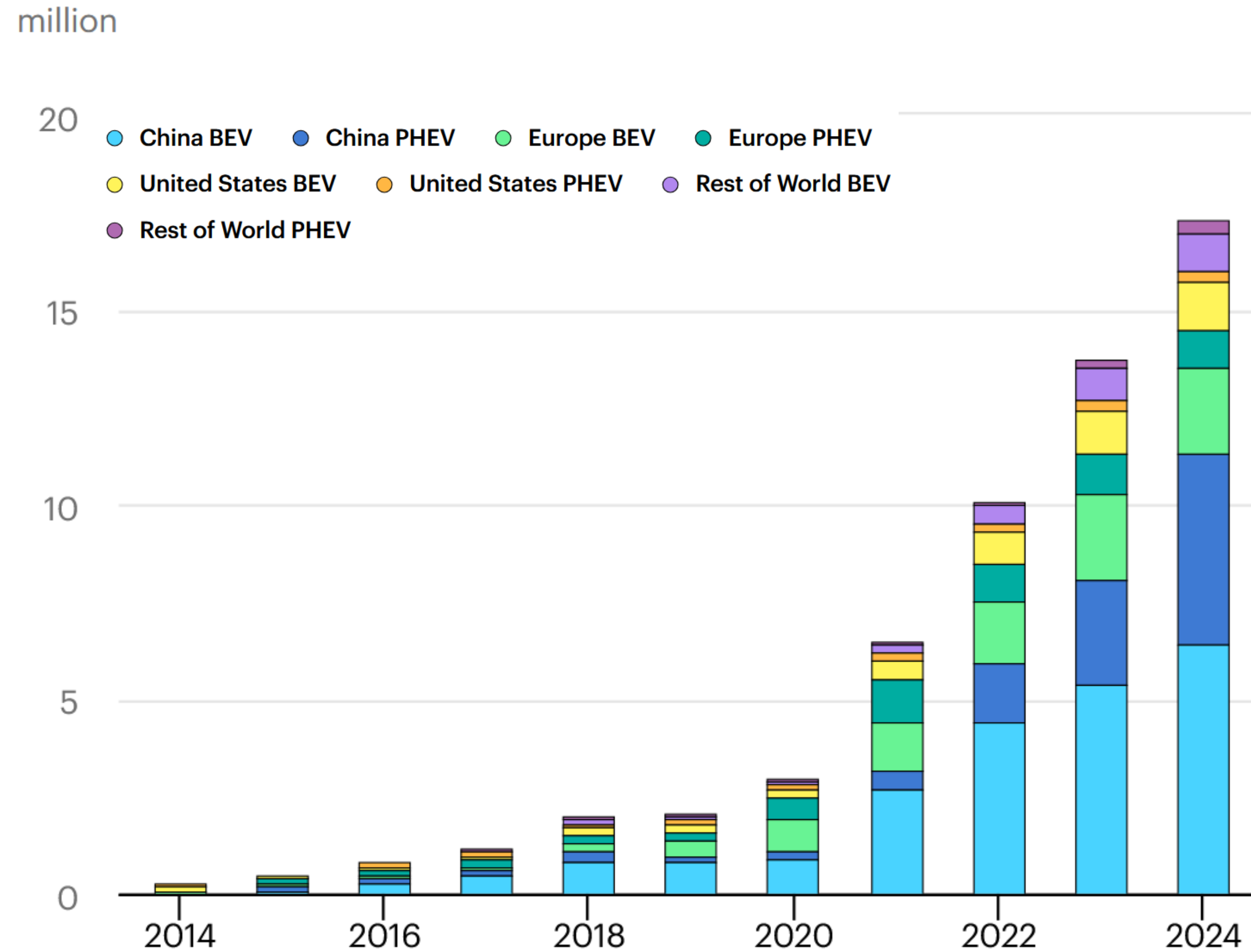


CIRCULAR ECONOMY

Mercato globale delle automobili elettriche

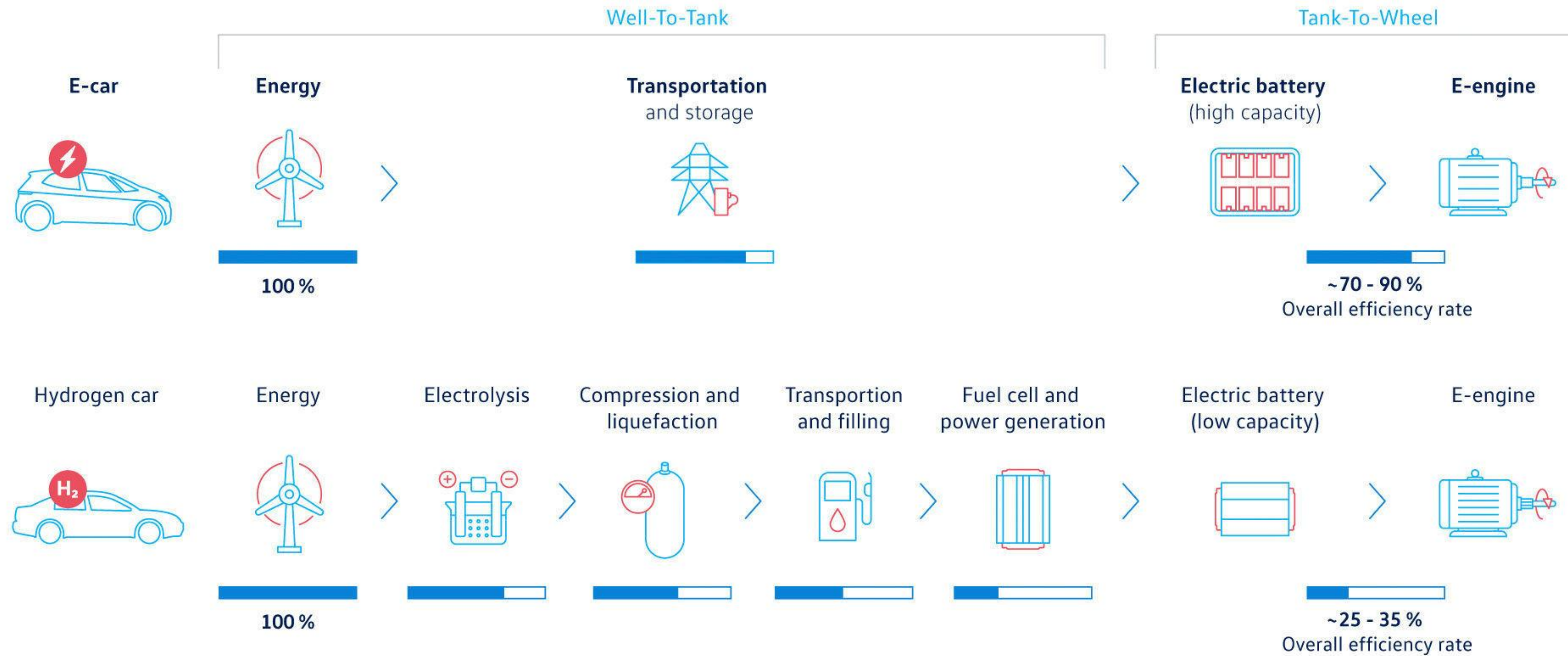
Global EV Outlook 2025

Trends in electric car markets



Hydrogen and electric drive

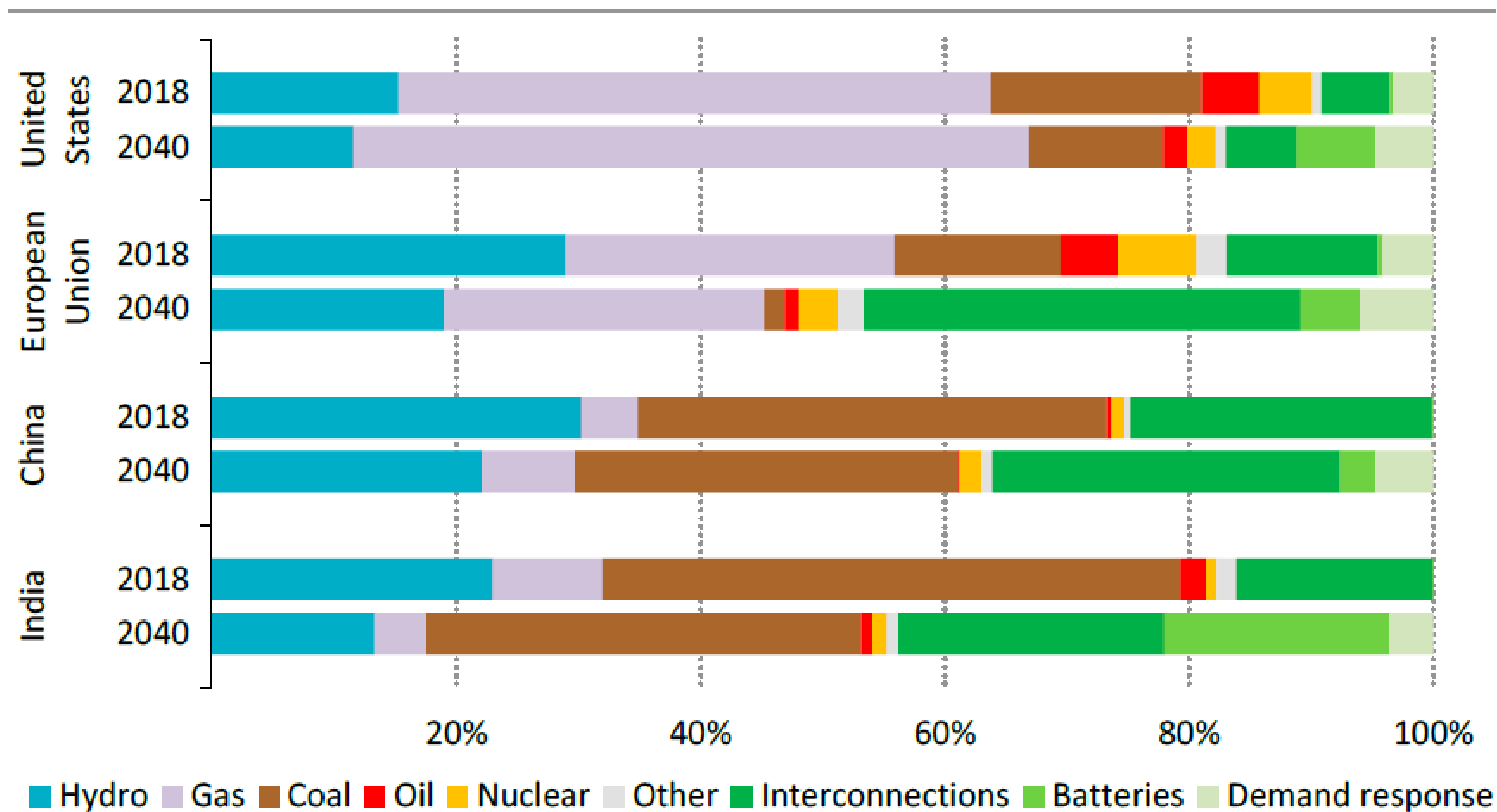
Efficiency rates in comparison using eco-friendly energy



Source Volkswagen

Ma le fonti rinnovabili non sono intermittenti!?!

Figure 6.22 ▸ Sources of flexibility by region in the Stated Policies Scenario



Thermal power plants continue to provide the bulk of flexibility needs, along with interconnections, but batteries and demand-side response are rising fast

Certo, ma il sistema elettrico è flessibile!!!



Tecnologie abilitanti la transizione 100% rinnovabile

- Fotovoltaico ed eolico sovradimensionati
- Interconnessioni
- Demand response
- Sistemi di stoccaggio (batterie, idroelettrico, termico, ...)
- Elettrolizzatori e celle a combustibile (idrogeno)
- Vehicle-to-grid (V2G) and Vehicle-to-home (V2H)
- Corrente continua e generazione distribuita
- Smart Grid (previsione della produzione e dei consumi)
- Trasformazione digitale (IoT, Big data, Block Chain, 5G, ...)
- Nano e microreti
- Comunità energetiche
- W la ricerca!!

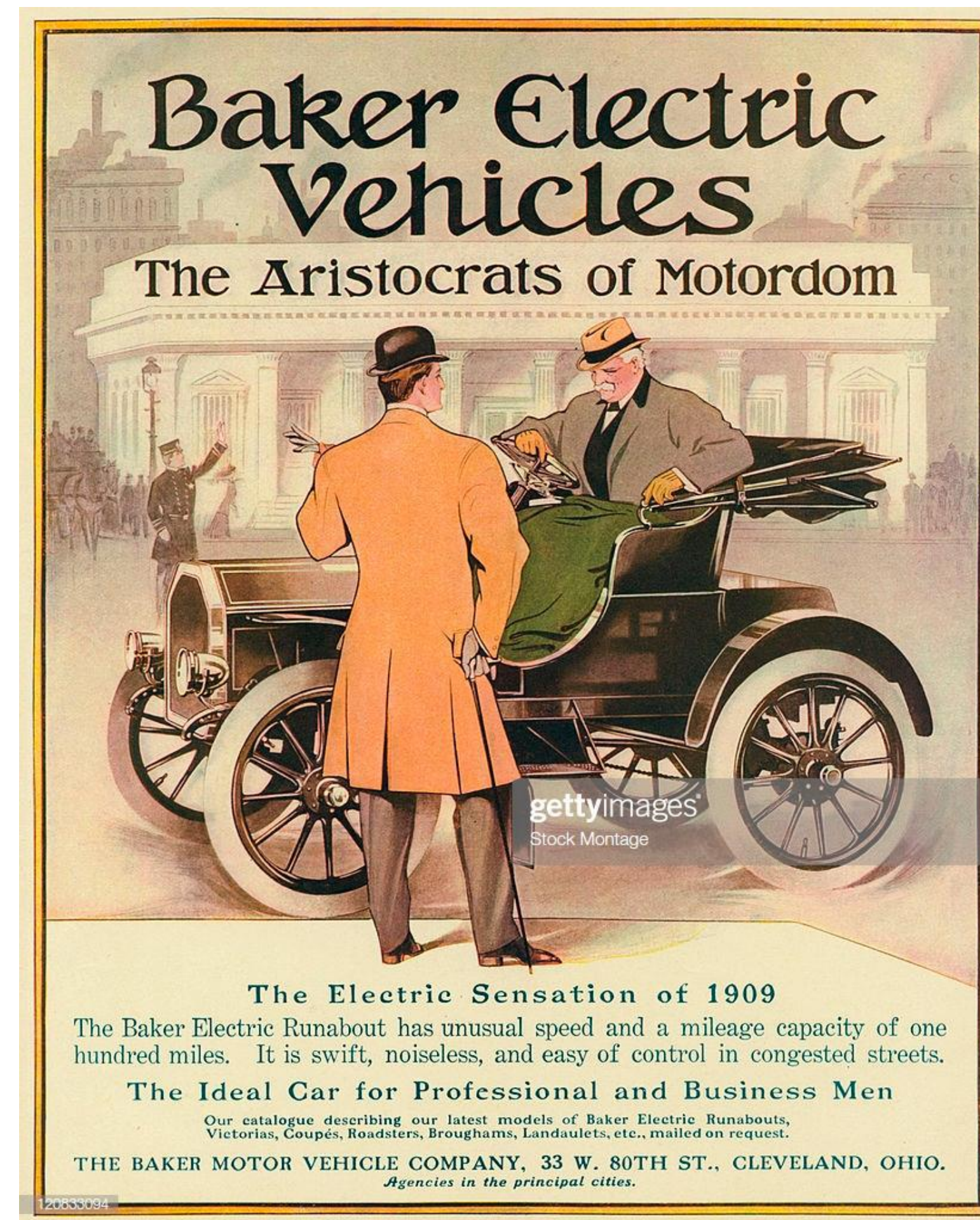
Ritorno alla corrente continua



gheginonline.it



Ritorno alla corrente continua



La guerra delle correnti

THE CURRENT WAR

THE TALE OF AN EARLY TECH RIVALRY

DC

DIRECT CURRENT

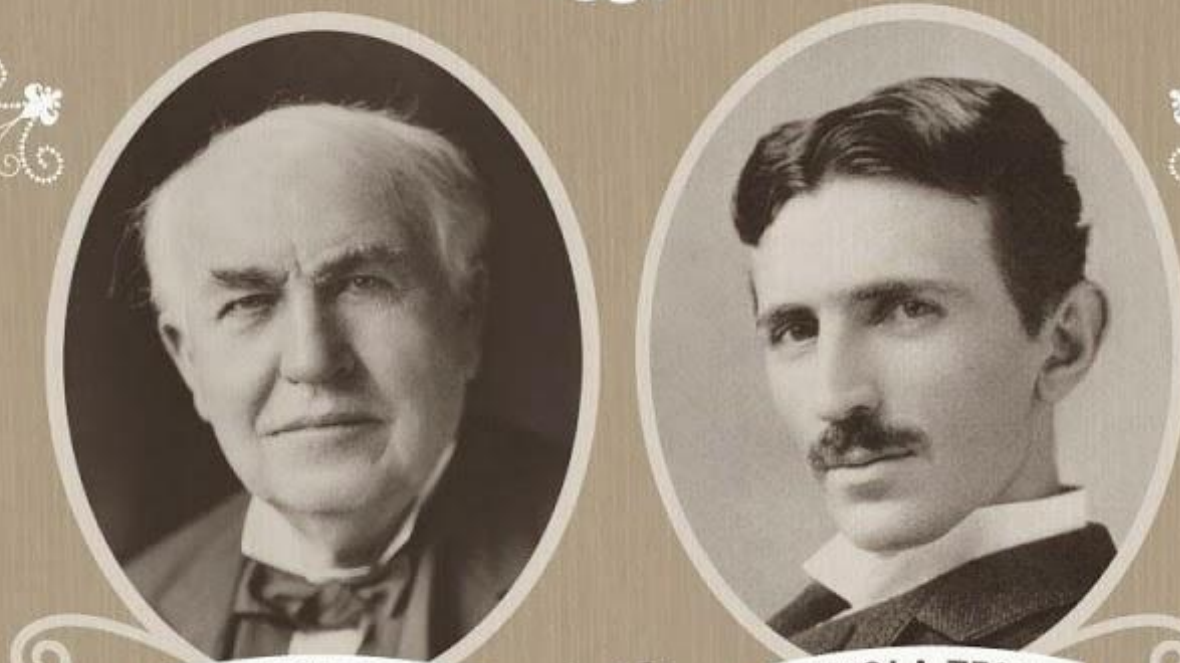
The flow of electricity is in one direction only. The system operates at the same voltage level throughout and is not as efficient for high-voltage, long distance transmission.

Direct current runs through:

- Battery-Powered Devices
- Fuel and Solar Cells
- Light Emitting Diodes

"[TESLA'S] IDEAS ARE SPLENDID, BUT THEY ARE UTTERLY IMPRACTICAL."

- THOMAS EDISON



THOMAS EDISON VS. **NIKOLA TESLA**

You would have never found two geniuses so spiteful of each other beyond turn-of-the-century inventors Nikola Tesla and Thomas Edison. They worked together—and hated each other. Let's compare their life, achievements, and embittered battles.

AC

ALTERNATING CURRENT

Electric charge periodically reverses direction and is transmitted to customers by a transformer that could handle much higher voltages.

Alternating current runs through:

- Car Motors
- Radio Signals
- Appliances

"IF EDISON HAD A NEEDLE TO FIND IN A HAYSTACK, HE WOULD PROCEED AT ONCE... UNTIL HE FOUND THE OBJECT OF HIS SEARCH. I WAS A SORRY WITNESS OF SUCH DOINGS, KNOWING THAT A LITTLE THEORY AND CALCULATION WOULD HAVE SAVED HIM 90 PERCENT OF HIS LABOR."

- NIKOLA TESLA

1847 BORN 1858

Milan, Ohio BIRTHPLACE Smiljan, Croatia

Wizard of Menlo Park NICKNAME Wizard of the West

Home-schooled and self-taught EDUCATION Studied math, physics, and mechanics at The Polytechnic Institute at Graz

Mass communication and business FORTE Electromagnetism and electromechanical engineering

Trial and error METHOD Getting inspired and seeing the invention in his mind in detail before fully constructing it

DC (Direct Current) WAR OF CURRENTS: ELECTRICAL TRANSMISSION IDEA AC (Alternating Current)

Incandescent light bulb; phonograph; cement making technology; motion picture camera; DC motors and electric power NOTABLE INVENTIONS Tesla coil - resonant transformer circuit; radio transmitter; fluorescent light; AC motors and electric power generation system

1,093 NUMBER OF US PATENTS 112

0 NUMBER OF NOBEL PRIZES WON 0

1 NUMBER OF ELEPHANTS ELECTROCUTED 0

1931—Passed away peacefully in his New Jersey home, surrounded by friends and family DEATH 1943—Died lonely and in debt in Room 3327 at the New Yorker Hotel

ESLA: MAN OUT OF TIME" | UTH, ROBERT. "TESLA: MASTER OF LIGHTNING." | THOMASEDISON.COM | PBS.ORG | WEB.MIT.EDU | WIRED.COM

A COLLABORATION BETWEEN GOOD AND COLUMN FIVE



LATE BLOOMER
Thomas Edison, the youngest in his family, didn't learn to talk until he was almost 4 years old.

As reward if he could smooth the young engineer took on the Edison more than \$100,000 (standards). When Tesla asked Edison declined to pay him. the elder inventor spent the credit his counterpart.

EDISON FRIES AN ELEPHANT
In order to prove the dangers of Tesla's alternating current, Thomas Edison staged a highly publicized electrocution of the three-ton elephant known as 'Topsy'. She died instantly after being shocked with 600-volt AC charge.

TESLA: MAN OUT OF TIME" | UTH, ROBERT. "TESLA: MASTER OF LIGHTNING." | THOMASEDISON.COM | PBS.ORG | WEB.MIT.EDU | WIRED.COM



WAR OF CURRENTS OFFICIALLY SETTLED

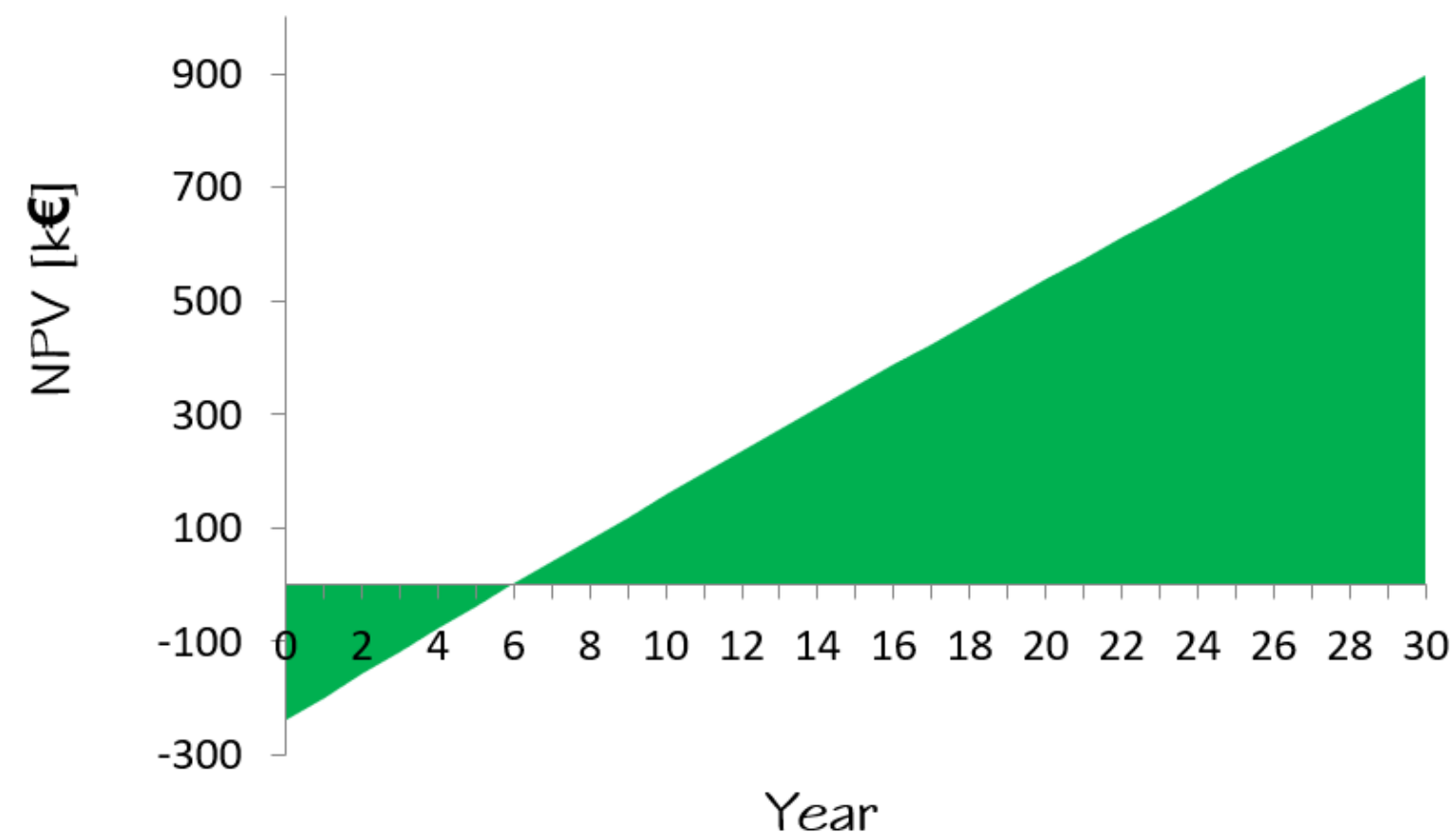
In 2007, Con Edison ended 125 years of direct current electricity service that began when Thomas Edison opened his power station in 1882. It changed to only provide alternating current.

NOBEL PRIZE CONTROVERSY

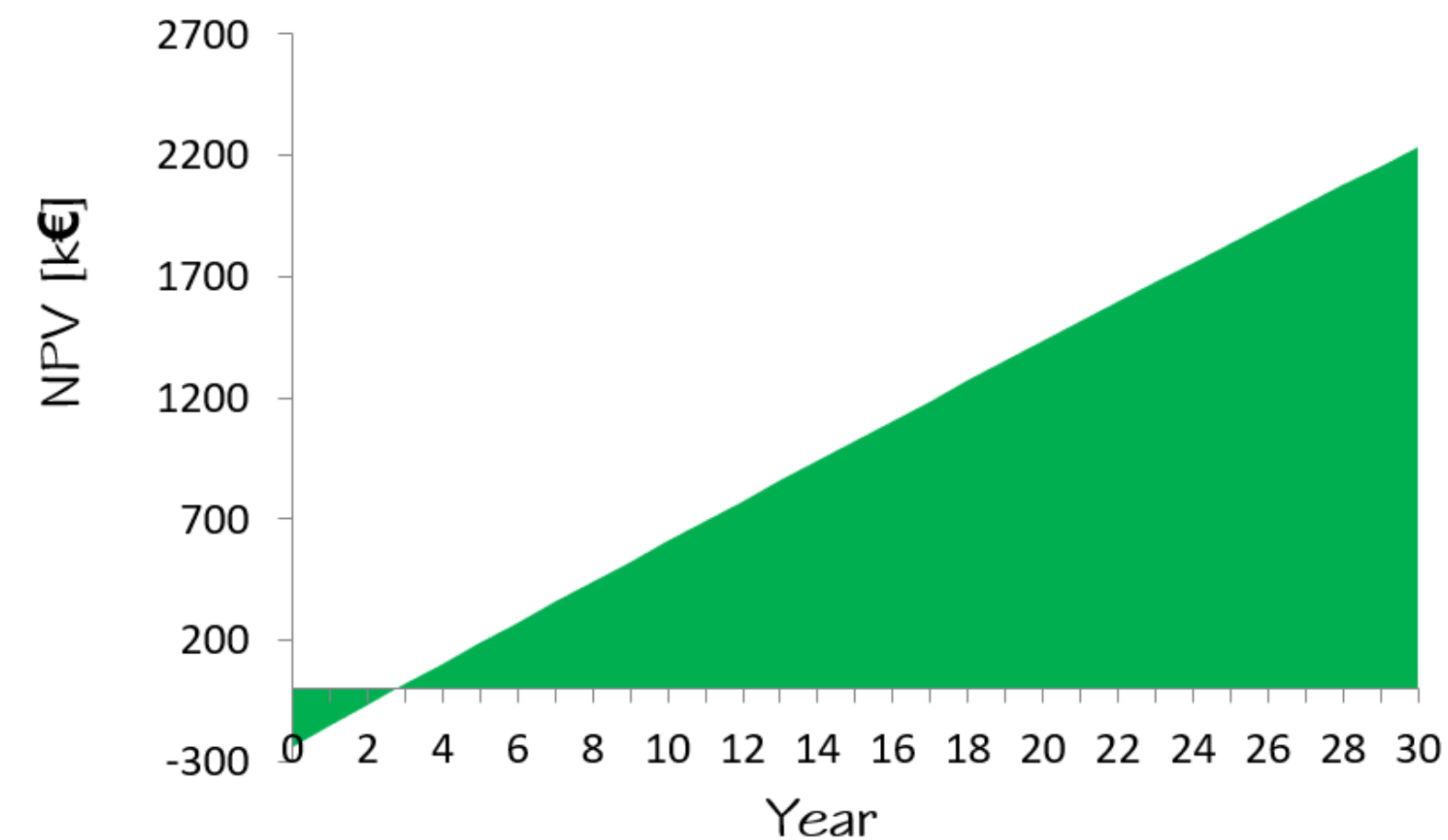
In 1915, both Edison and Tesla were to receive Nobel Prizes for their strides in physics, but ultimately, neither won. It is rumored to have been caused by their animosity towards each other and refusal to share the coveted award.

Il ruolo dell'autoconsumo

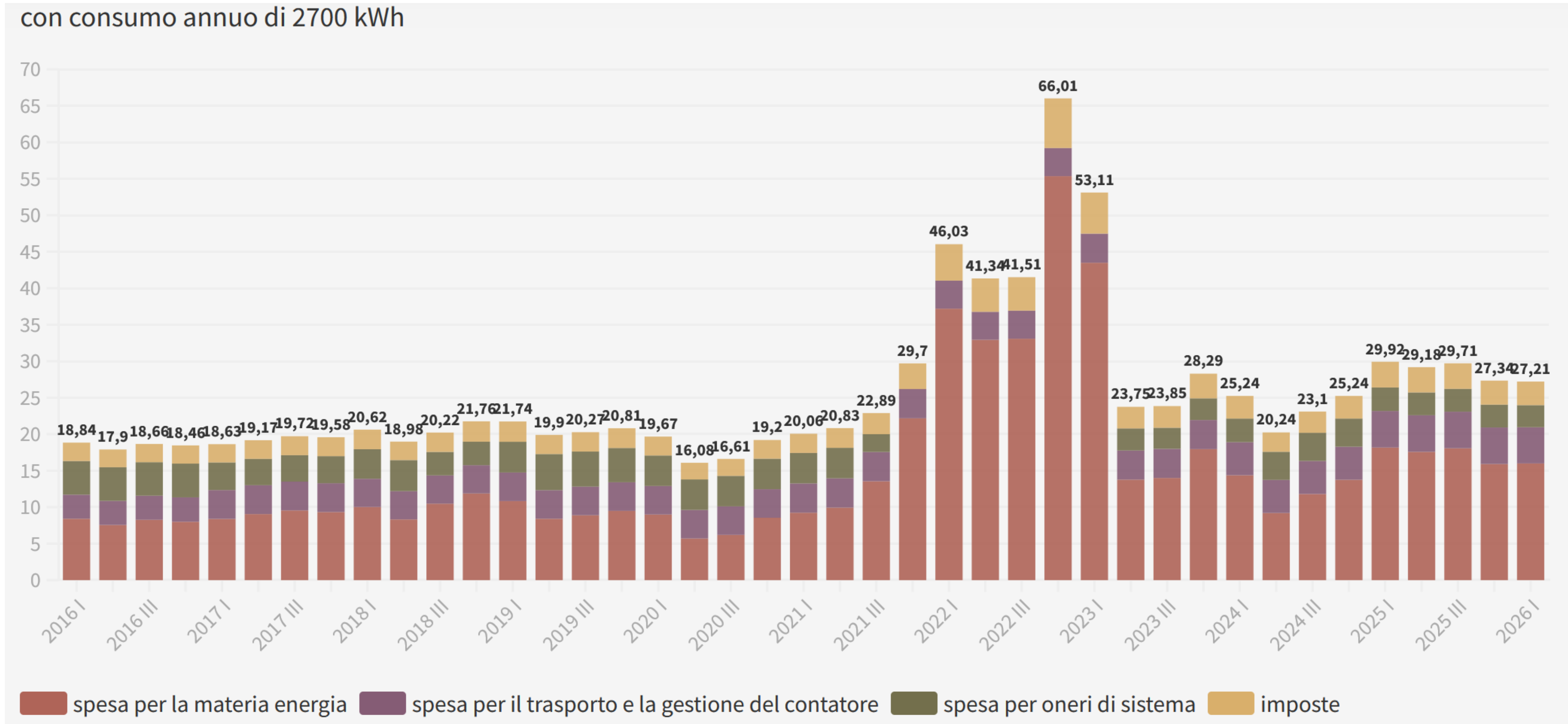
- Potenza 200 kWp
- Autoconsumo 100%
- Prezzo energia elettrica **0.15 €/kWh**
- Costo energia fotovoltaica 0.04 €/kWh
- Tempo di ritorno 5.5 anni
- Rendimento investimento 16%



- Potenza 200 kWp
- Autoconsumo 100%
- Prezzo energia elettrica **0.30 €/kWh**
- Costo energia fotovoltaica 0.04 €/kWh
- Tempo di ritorno 2.8 anni
- Rendimento investimento 35%



Il costo dell'energia elettrica



Comunità energetiche rinnovabili



Gruppo associato di consumatori di energia elettrica che producono **localmente** energia da **fonti rinnovabili** «condividendola» per il proprio fabbisogno

Scopo principale è fornire **benefici ambientali, economici e/o sociali** a livello della comunità

L'energia condivisa tra i membri viene incentivata attraverso un **contributo economico**

Gruppi di autoconsumatori



Gruppo associato di consumatori di energia elettrica che producono **localmente** energia da **fonti rinnovabili** «condividendola» per il proprio fabbisogno

Scopo principale è fornire **benefici ambientali, economici e/o sociali** a livello della comunità

L'energia condivisa tra i membri viene incentivata attraverso un **contributo economico**

Zero energy houses



Ecolibera®

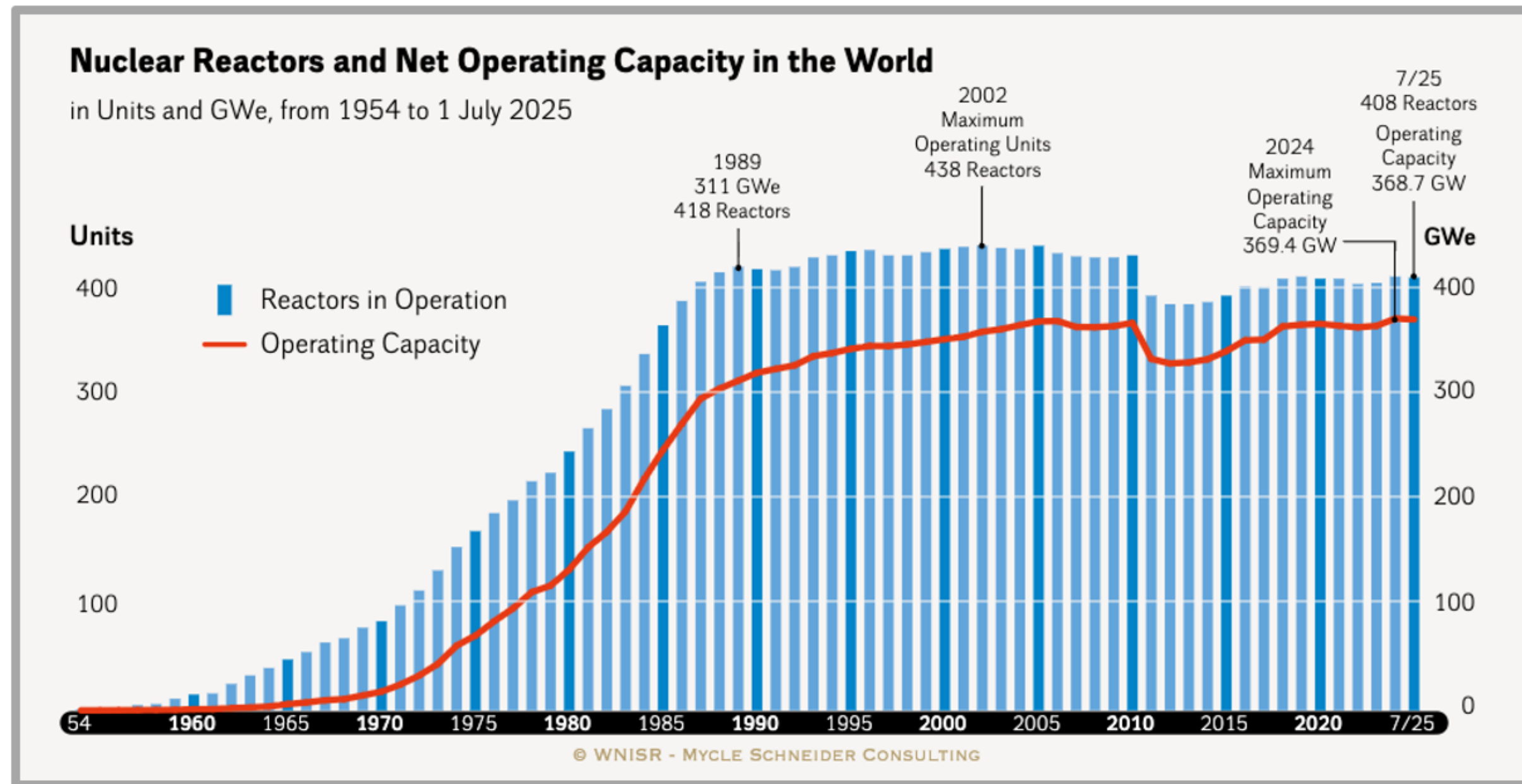
- Fotovoltaico
- Pompa di calore (geotermica)
- Batteria
- Wallbox
- Solare termico
- Cappotto
- No gas

Nucleare – soluzione perfetta?

- Produce 24 ore su 24 (quando online)
- Non emette anidride carbonica e inquinanti in fase di esercizio
- Occupa un'area relativamente ridotta

**Quando inseriamo questa soluzione “perfetta”
nel mondo reale iniziano i problemi**

La realtà del nucleare



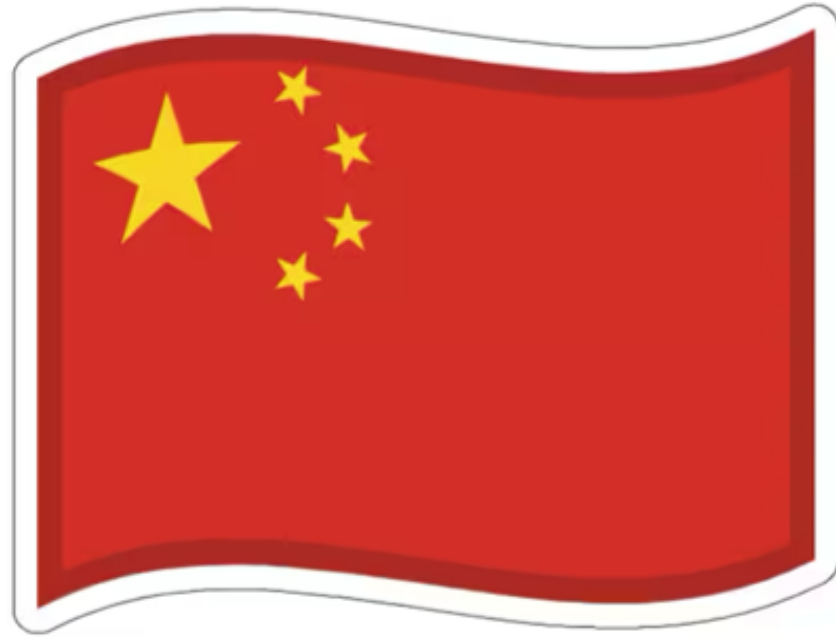
- Rinascimento nucleare annunciato varie volte, **MAI REALIZZATO**
- Le ragioni sono **ECONOMICHE**
- Nuovi reattori in costruzione: **50% IN CINA**

FONTE NUCLEARE
Quota di produzione elettrica mondiale
1996: 17%
2025: 9%

Credit: World Nuclear Industry Status Report, 2025

Nicola Armaroli, CNR – 4 Febbraio 2026

L'esempio cinese



Nucleare: + 1,1 GW

FV + Eolico: + 435 GW

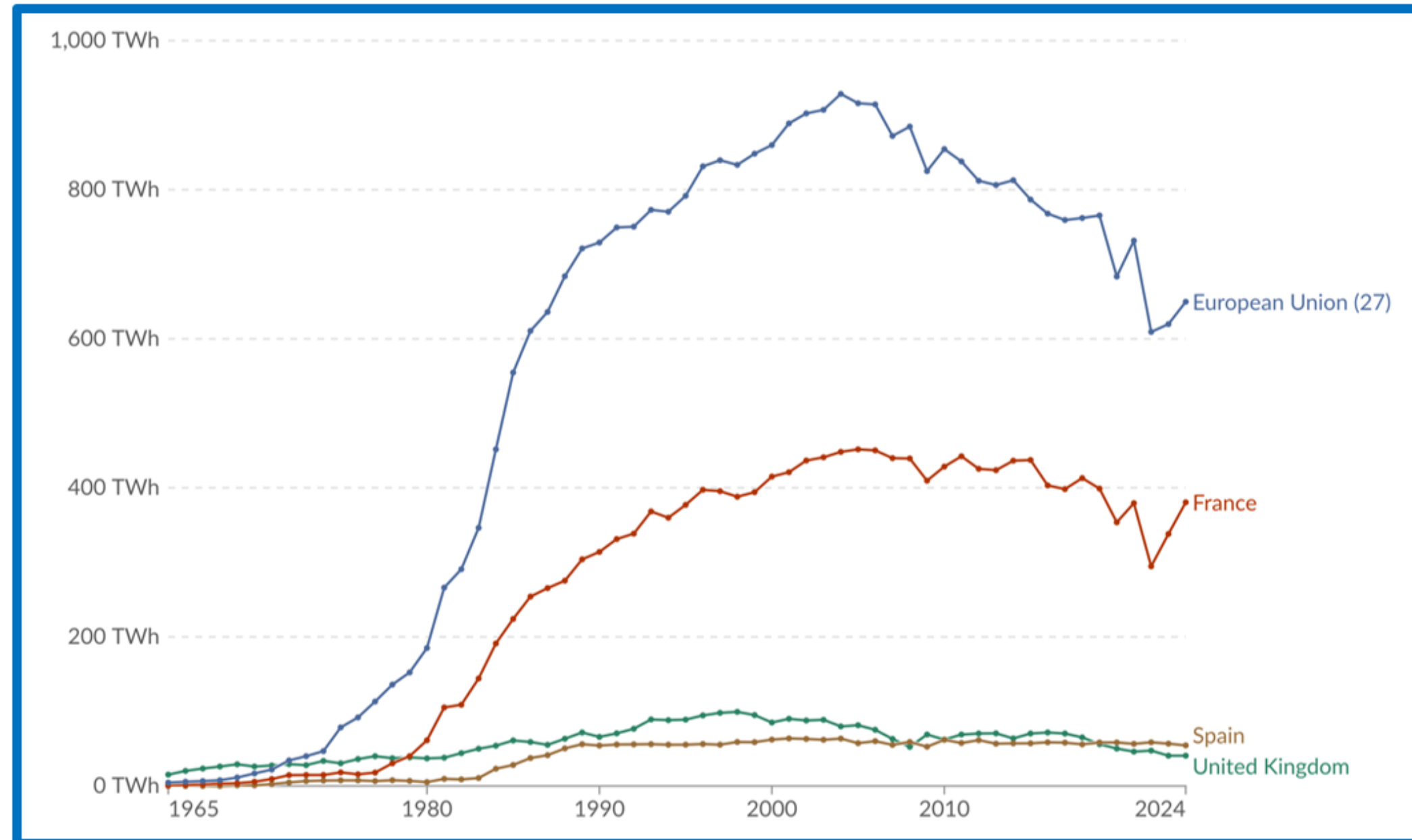
PRODUZIONE ELETTRICA

Nucleare: 5%

FV + Eolico: 25%

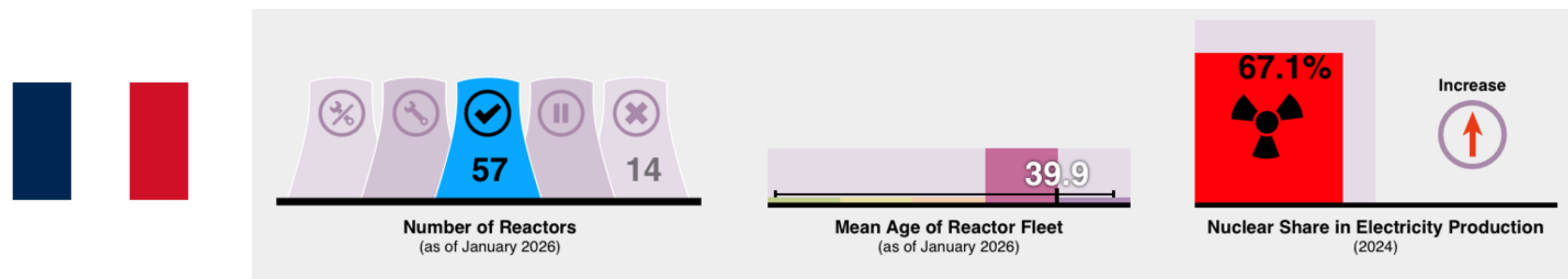
Nicola Armaroli, CNR – 4 Febbraio 2026

Produzione nucleare in Europa



Credit: [Our World in Data](#), 2026

- **Età media dei reattori: 39 anni**
- **Reattori in costruzione: 3**, con enormi ritardi e sforamenti di budget (1 in Slovacchia, 2 in UK)
- Diversi piani di rilancio, **tutti sulla carta**



Credit: [World Nuclear Industry Status Report](#), 2026

Reattori in costruzione
in Francia: **ZERO**

Nicola Armaroli, CNR – 4 Febbraio 2026

L'ultimo reattore europeo

Servizio | Edf: collegato alla rete elettrica



Francia, nuovo reattore nucleare Epr comincia a produrre: ecco costi e numeri

A ufficializzare il passaggio è stato il numero uno del colosso francese. Il presidente Macron: momento importante per la competitività e per il clima

di Celestina Dominelli

21 dicembre 2024



▲ Il nuovo reattore nucleare Epr

- 1.6GW
- 17 anni per costruirlo (12 di ritardi) su sito già autorizzato dove già esistono 2 reattori
- Penultimo reattore: Civaux 2, del 1999
- Non ancora raggiunta la fase commerciale completa
- Settembre 2026: manutenzione programmata

Costi fuori controllo



Sole 24 Ore , 6 Luglio 2022



Sole 24 Ore , 19 Gennaio 2025



Reuters, 18 Dicembre 2025

**"NUOVO" PIANO NUCLEARE FRANCESE
2022 → 2025: costi + 40%**

Nicola Armaroli, CNR – 4 Febbraio 2026

Opzioni nucleari

- Reattori tradizionali di **GRANDE TAGLIA**, 800-1600 MW (GEN III+) → tecnicamente PERCORRIBILE, ma c'è il **REFERENDUM DEL 2011** ...
- Piccoli reattori modulari **SMR** (GEN III/III+), 20-300 MW, tecnologie attuali in versione ridotta → ci si prova **DA DECENNI**, senza successo
- Piccoli reattori modulari **AMR** (GEN 4), 20-300 MW, nuove tecnologie in fase di ricerca → **NON ESISTONO**, solo in fase di studio (es. Newcleo)
- Microreattori modulari **MMR**, 2-20 MW, nuove tecnologie in fase di ricerca → **NON ESISTONO**, solo in fase di studio
- **Reattori a FUSIONE**,

Nicola Armaroli, CNR – 4 Febbraio 2026

I problemi italiani

Il primo problema riguarda la localizzazione

«Il 95% del territorio nazionale è a rischio idrogeologico.

Non c'è una regione dove è peggiore, un territorio più al riparo. Per questo serve un'attività diffusa di mitigazione degli scenari»

Fabio Ciliano

Capo del Dipartimento della Protezione Civile

Corriere della Sera, 21 ottobre 2024

Altre criticità

- **SITI**: rischio idrogeologico, sismico, paesaggistico, idrico
- **Scarsa attrattività** del Paese verso gli **INVESTIMENTI** stranieri
- Manca la risorsa chiave, il **TEMPO**: nel **2040** dobbiamo aver **FINITO** la decarbonizzazione del sistema elettrico italiano

Scarseggiano SITI, SOLDI, TEMPO
Le TECNOLOGIE indicate NON sono sul mercato
e non si sa quando ci saranno

Nicola Armaroli, CNR – 4 Febbraio 2026

Ma se proprio volessimo?

«... una quota ottimale di produzione da fonte nucleare che copre tra l'11% e il 22% della richiesta di energia elettrica (ovvero tra gli 8 e i 16 GW di capacità nucleare installata)»

Relazione illustrativa DDL Nucleare Sostenibile
Governo Italiano, Gennaio 2025

**Se dovessimo installare 12GW di nucleare usando SMR «standard»
da 300MW dovremmo installare 40 SMR**

Non semplice ...

Il consiglio regionale conferma il parere negativo al nucleare in laguna

ENEZIA TODAY

«Nei mesi scorsi vari esponenti politici nazionali avevano fatto riferimento a questa ipotesi, tra i quali Renato Brunetta e il ministro Adolfo Urso. L'aveva esclusa invece il presidente del Veneto Luca Zaia, dichiarandosi contrario a ogni impianto del genere in un contesto già provato da un secolo di industria chimica degli idrocarburi»

Sicurezza



Rifiuti nucleari

Nucleare, il piano del governo: il deposito nazionale previsto in esercizio per il 2039. Ecco le prossime tappe

di Celestina Dominelli

25 giugno 2025

Il Sole **24 ORE**



▲ La centrale elettronucleare di Caorso in via di disattivazione da parte di Sogin

Come finirà?

PREVARRANNO LE TECNOLOGIE

- PIÙ economiche
- PIÙ semplici
- PIÙ flessibili
- PIÙ veloci da installare
- MENO controverse

