I NUMERI DEL NUCLEARE

Andrea Camerini, studente di Ingegneria Nucleare
presso il Politecnico di Milano

NUMERO

23'000'000

è il rapporto tra l'energia generata dalla fissione dell'uranio
e quella proveniente dalla combustione del metano

il «MEGA FACTOR»

Reazioni Chimiche

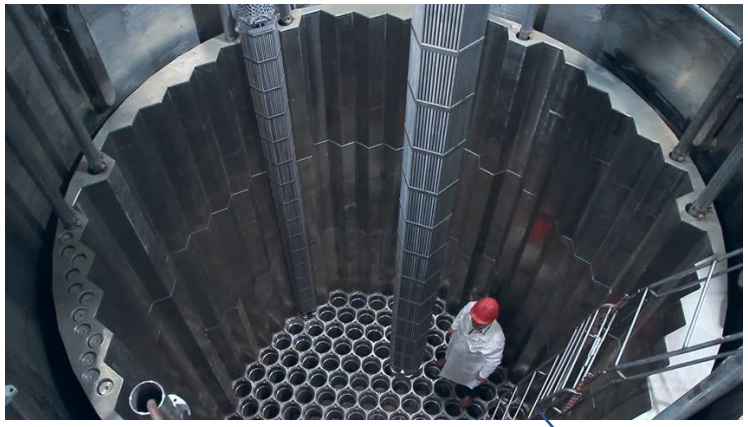
- $C + O_2 = CO_2 + Q$ $\qquad Q = 3{,}6\ eV$
- $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O + Q$ $\qquad Q = 9{,}2\ eV$

Reazione Nucleare

x 23'000'000

- $^{235}U + n = F_1 + F_2 + \nu n + Q$ $\qquad Q = 211{,}5\ MeV$

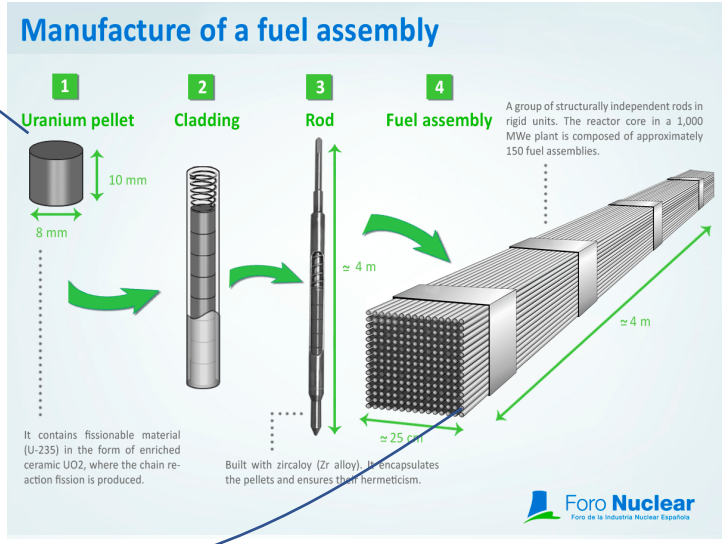
la DENSITA' ENERGETICA



uranio

5 g

=



640 kg
legna

360 m^3
gas naturale

400 kg
carbone

350 kg
petrolio

I'OCCUPAZIONE DEL SUOLO

Nuclear plants in Belgium require **285** times less land than solar…

20 TWh/km2

0,07 TWh/km2

ENVIRONMENTAL PROGRESS

Source: Comparison between Doel Nuclear Plant and Kristal Solar Park in Lommel. If operated at 85% capacity factor, Doel's **2.9 gigawatt** (net) capacity would produce 22 terawatt-hours per year on an approximate land area of 1.1 square kilometers, for a density of 20 terawatt-hours per square kilometer. Kristal Solar Park has a power density of 0.07 terawatt-hours per square kilometer.

l'OCCUPAZIONE DEL SUOLO

…and **412** times less area than wind

20 TWh/km2

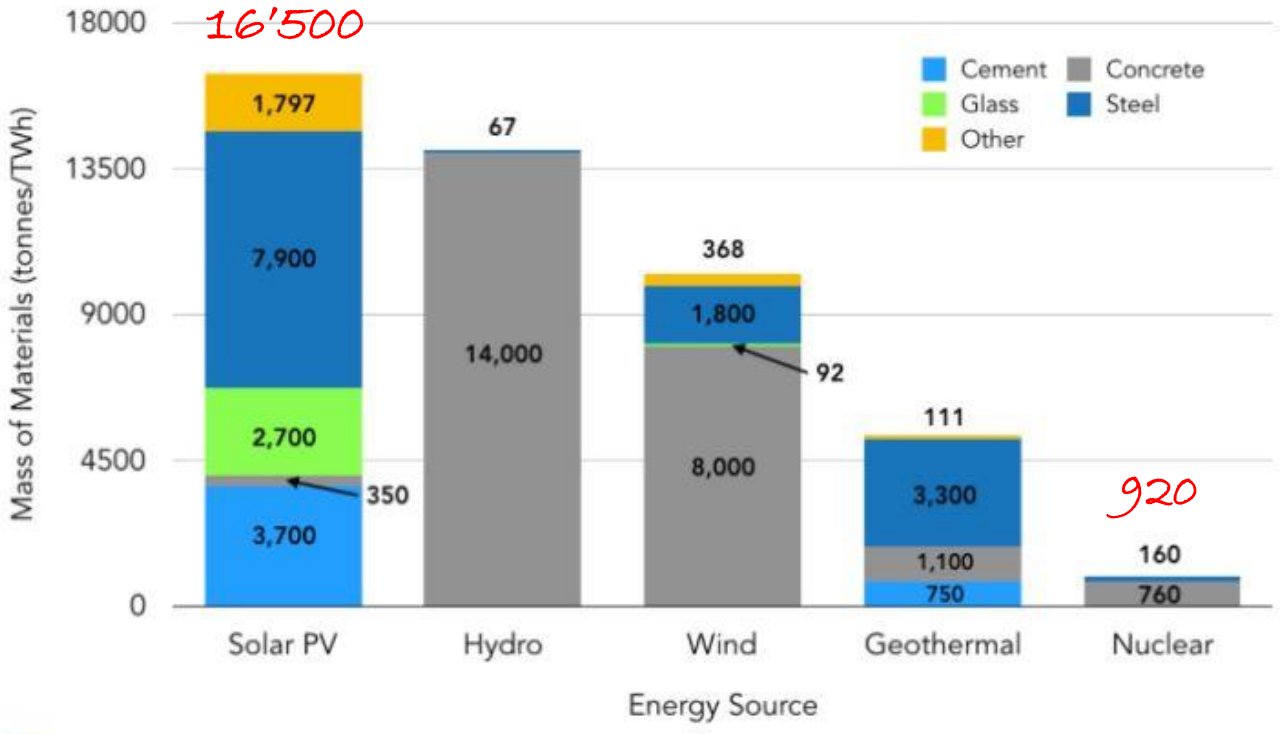
0,05 TWh/km2

ENVIRONMENTAL PROGRESS

Source: Comparison between a facility like Doel Nuclear Plant if operated, and assumed production from Rentel wind farm. If operated at 85% capacity factor, Doel's 2.91 gigawatt (net) capacity would produce 22 terawatt-hours per year on an approximate land area of 1.1 square kilometers, for a density of 20 terawatt-hours per square kilometer. Rentel has a power density of 0.05 terawatt-hours per square kilometer.

I'UTILIZZO DI RISORSE

Materials throughput by type of energy source



"Quadrennial Technology Review: An Assessment of Energy Technologies and Research Opportunities." Table 10. September 2015. United States Department of Energy. Nuclear and hydro require 10 tonnes/TWh and 1 tonne/TWh of other materials, respectively, but are unable to be labeled on the graph.

la PRODUZIONE DI RIFIUTI

$< 10'000\ m^3$

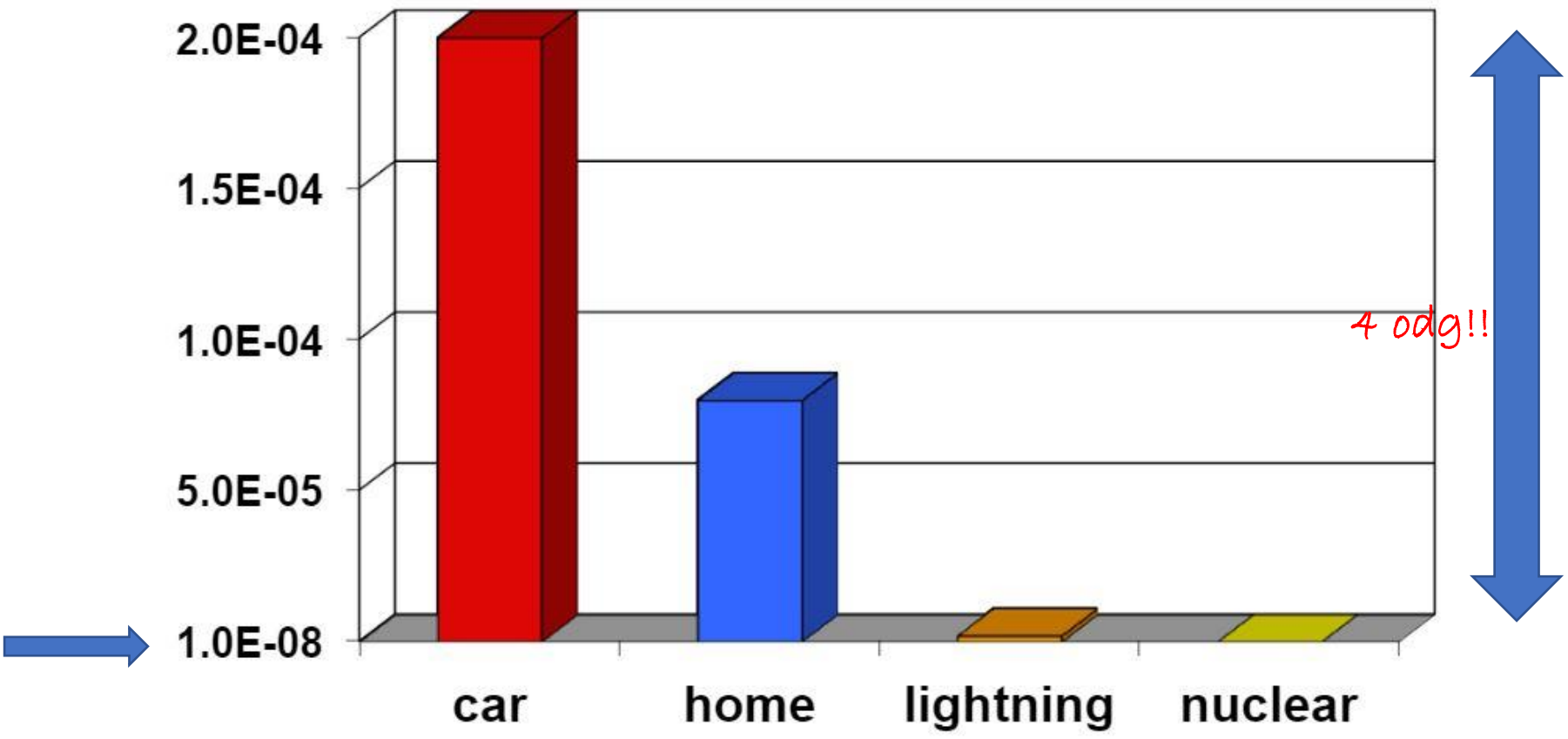
NUMERO

1/100'000'000

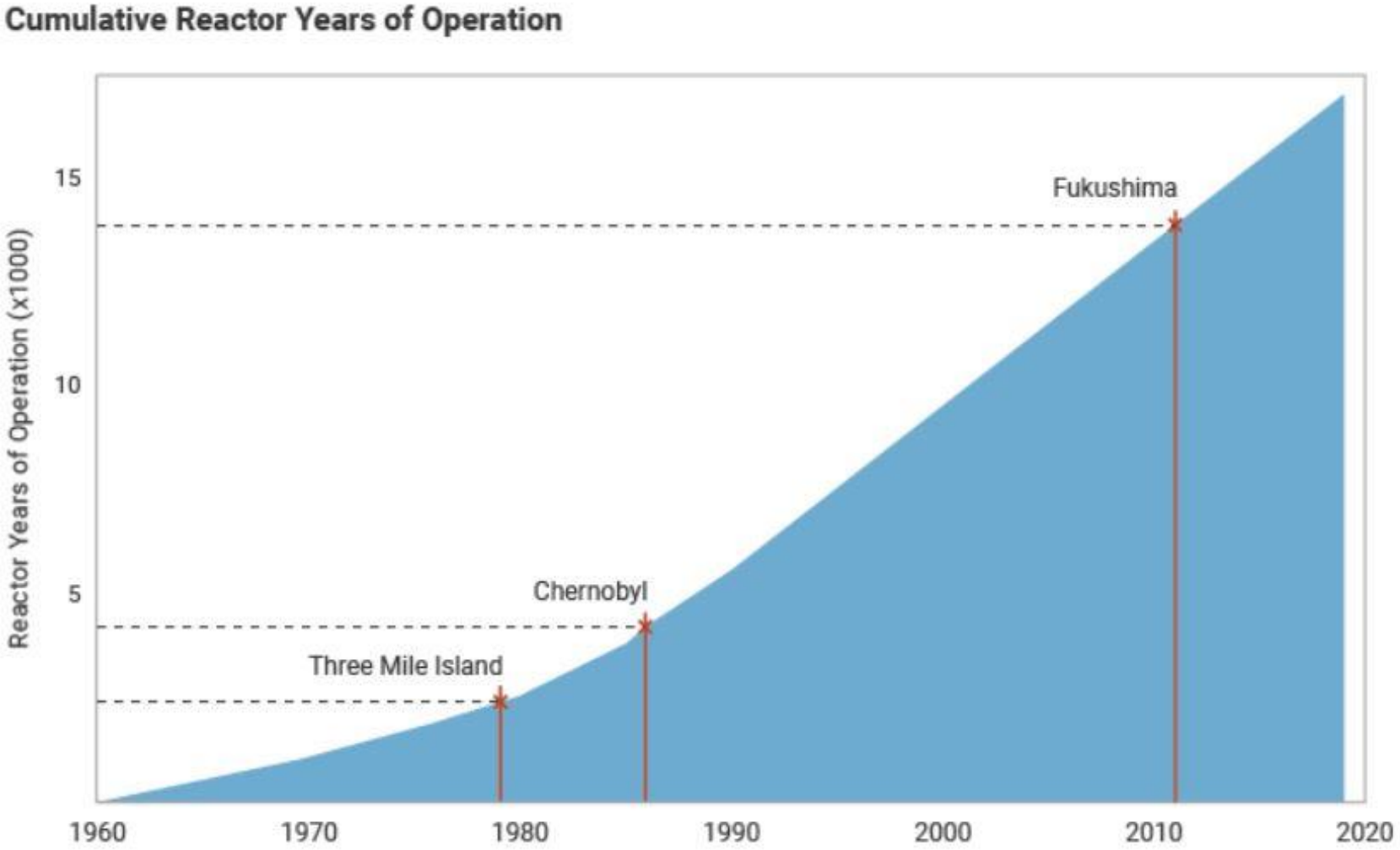
è la frequenza d'occorrenza di incidenti letali concernenti l'energia nucleare, in un anno

la SICUREZZA

Frequenze stimate di occorrenza di incidenti letali, su base annua



la SICUREZZA



la SICUREZZA

Our World in Data

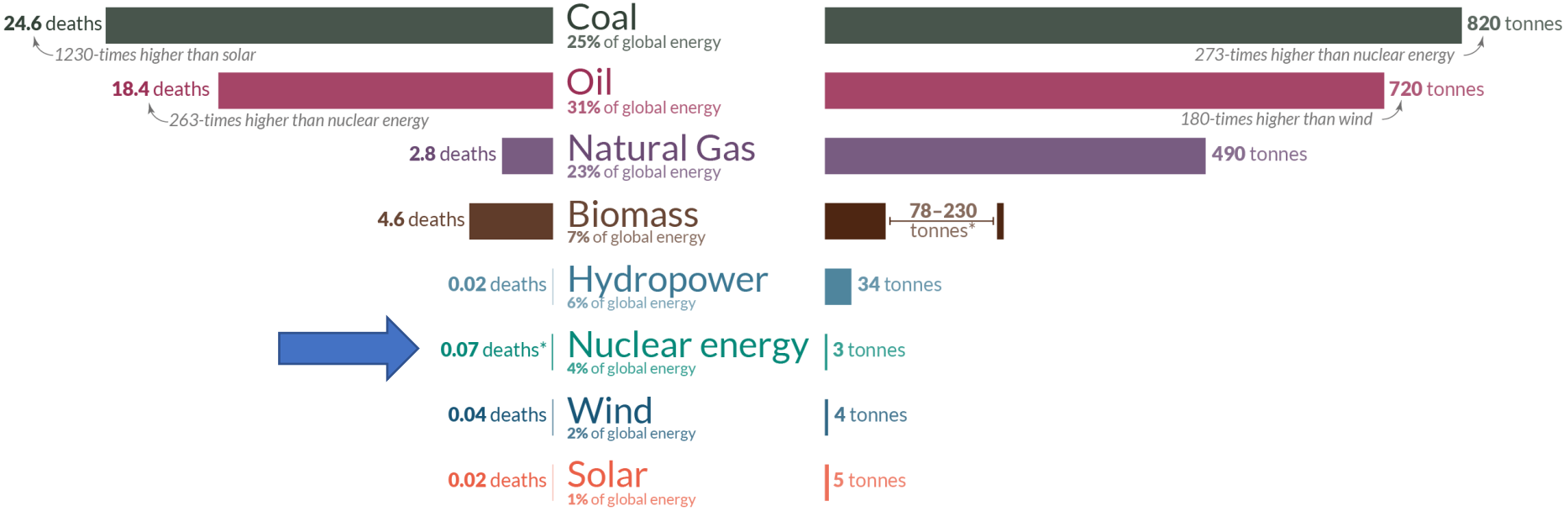
What are the safest and cleanest sources of energy?

Death rate from accidents and air pollution

Measured as deaths per terawatt-hour of energy production.
1 terawatt-hour is the annual energy consumption of 27,000 people in the EU.

Greenhouse gas emissions

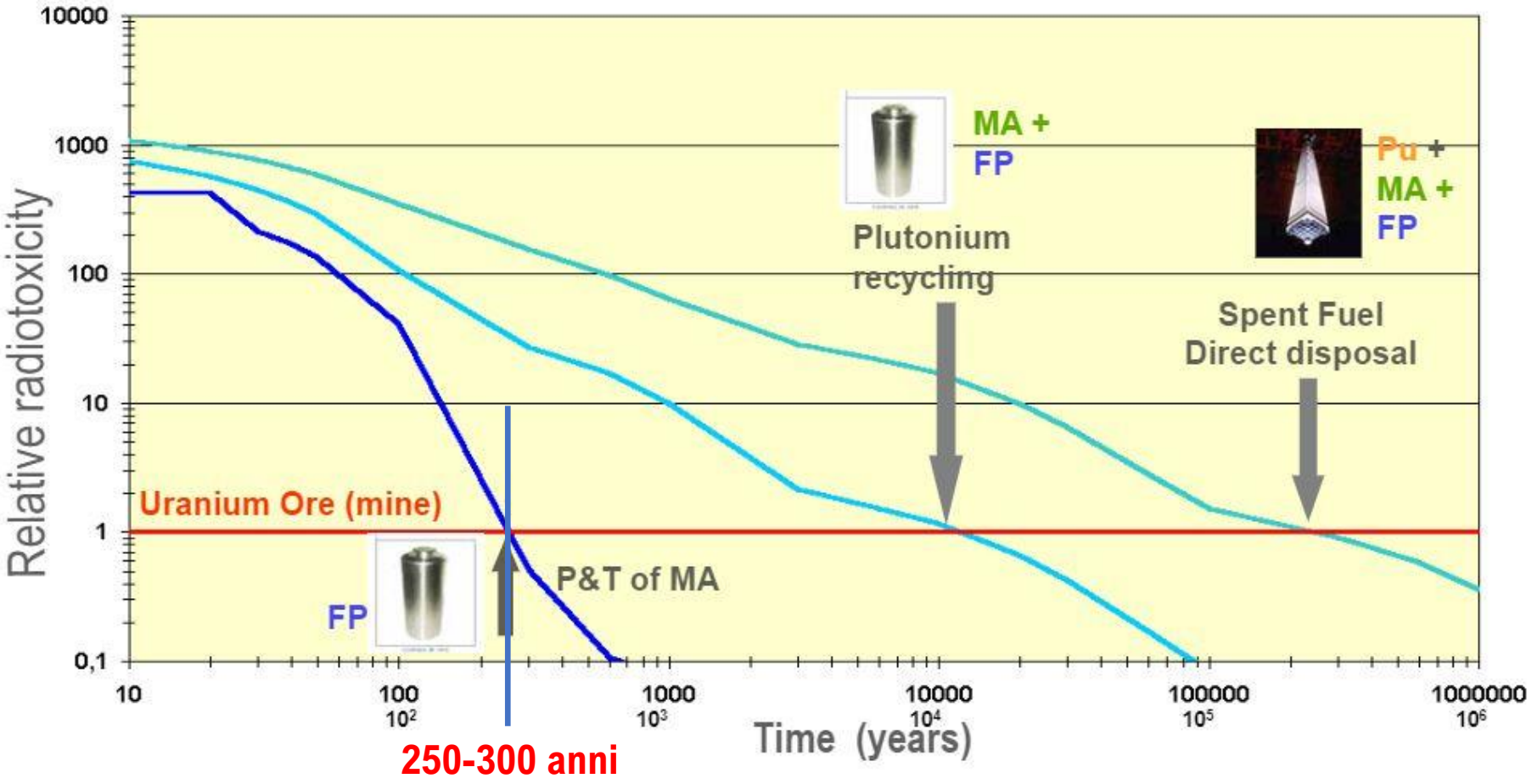
Measured in emissions of CO_2-equivalents per gigawatt-hour of electricity over the lifecycle of the power plant.
1 gigawatt-hour is the annual *electricity* consumption of 160 people in the EU.



*Life-cycle emissions from biomass vary significantly depending on fuel (e.g. crop resides vs. forestry) and the treatment of biogenic sources.
*The death rate for nuclear energy includes deaths from the Fukushima and Chernobyl disasters as well as the deaths from occupational accidents (largely mining and milling).
Energy shares refer to 2019 and are shown in primary energy substitution equivalents to correct for inefficiencies of fossil fuel combustion. Traditional biomass is taken into account.
Data sources: Death rates from Markandya & Wilkinson (2007) in *The Lancet*, and Sovacool et al. (2016) in *Journal of Cleaner Production*;
Greenhouse gas emission factors from IPCC AR5 (2014) and Pehl et al. (2017) in *Nature*; Energy shares from BP (2019) and Smil (2017).
OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

la GESTIONE DEI RIFIUTI

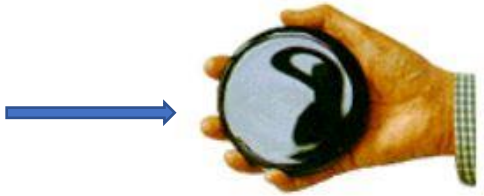
Radiotossicità relativa in diverse strategie di trattamento di rifuti



la GESTIONE DEI RIFIUTI

Commission, *Radioactive Waste Management in the European Union* (Brussels: EC, 1998).

Quantità di rifiuti ad alta attività associata a ciascun cittadino francese nell'arco della sua vita

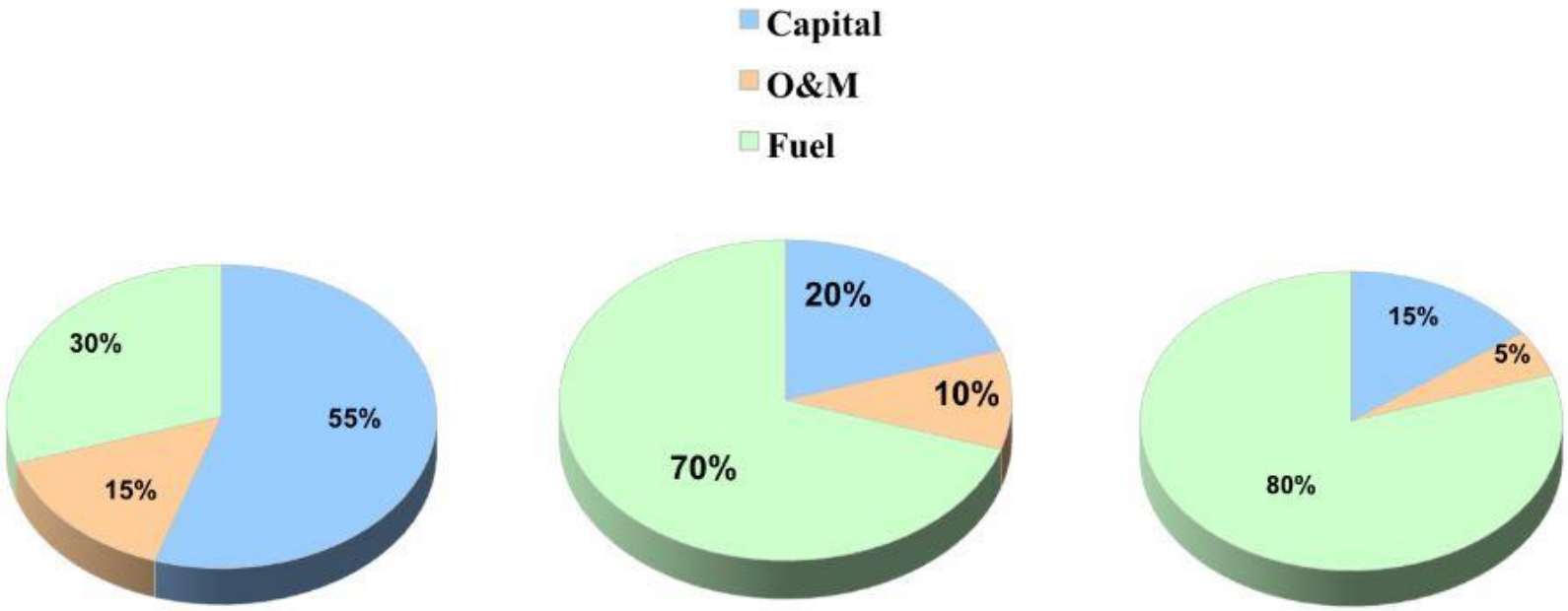


NUMERO

6-9 MILIARDI

è il costo medio per la costruzione di un reattore nucleare

la COMPOSIZIONE DEI COSTI



NUCLEAR
(including Decommissioning & Waste Management: +3/+6%)

COAL

OIL/GAS

la COMPOSIZIONE DEI COSTI

LCOE = Levelized Cost of Electricity

US$ values and exchange rates.

Projected nuclear LCOE costs for plants built 2015-2020, $/MWh

Country	At 3% discount rate	At 7% discount rate	At 10% discount rate
Belgium	51.5	84.2	116.8
Finland	46.1	77.6	109.1
France	50.0	82.6	115.2
Hungary	53.9	89.9	125.0
Japan	62.6	87.6	112.5
South Korea	28.6	40.4	51.4
Slovakia	53.9	84.0	116.5
UK	64.4	100.8	135.7
USA	54.3	77.7	101.8
China	25.6-30.8	37.2-47.6	48.8-64.4

tasso di interesse

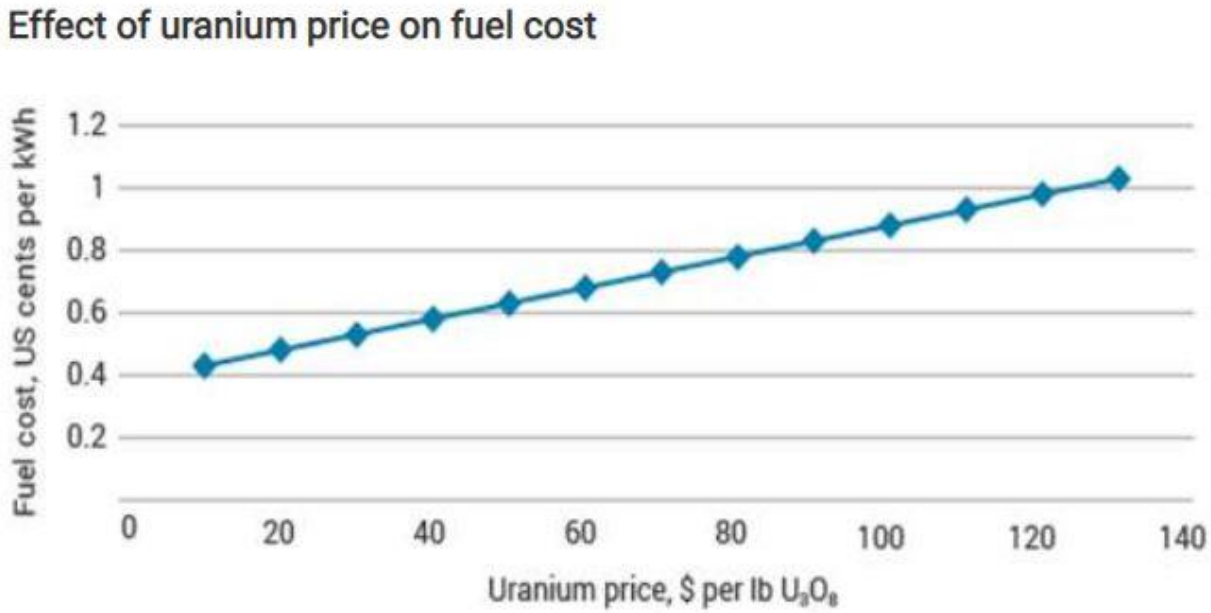
3% → 10%

LCOE ($/MWh)

+230%

Source: OECD IEA-NEA, *Projected Costs of Generating Electricity*, 2015 Edition, Table 3.11, assuming 85% capacity factor

la COMPOSIZIONE DEI COSTI



incremento costo combustibile

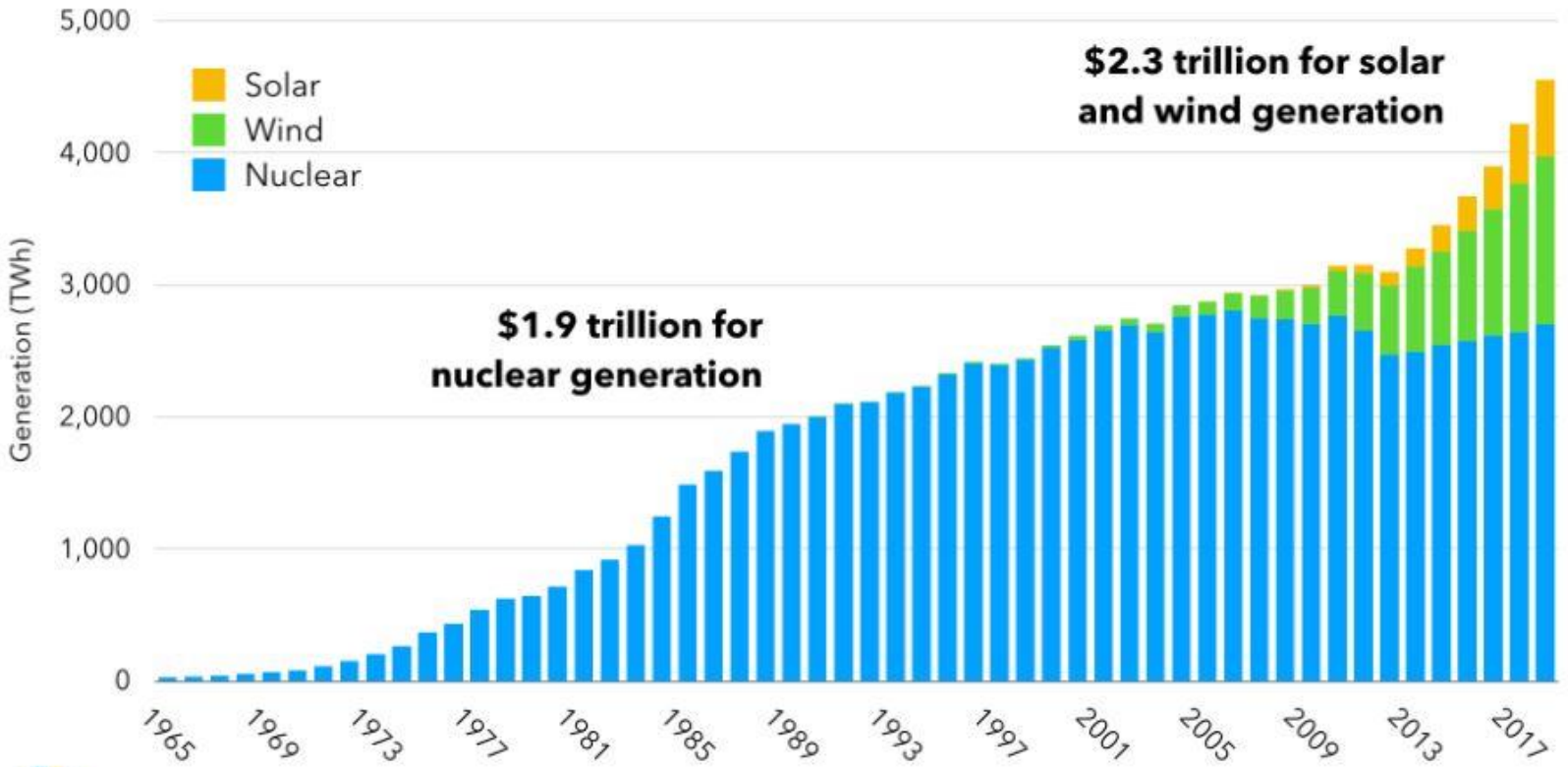
x2

incremento costo finale energia

+10%

il CONFRONTO TRA FONTI ENERGETICHE

il CONFRONTO TRA FONTI ENERGETICHE



ENVIRONMENTAL PROGRESS

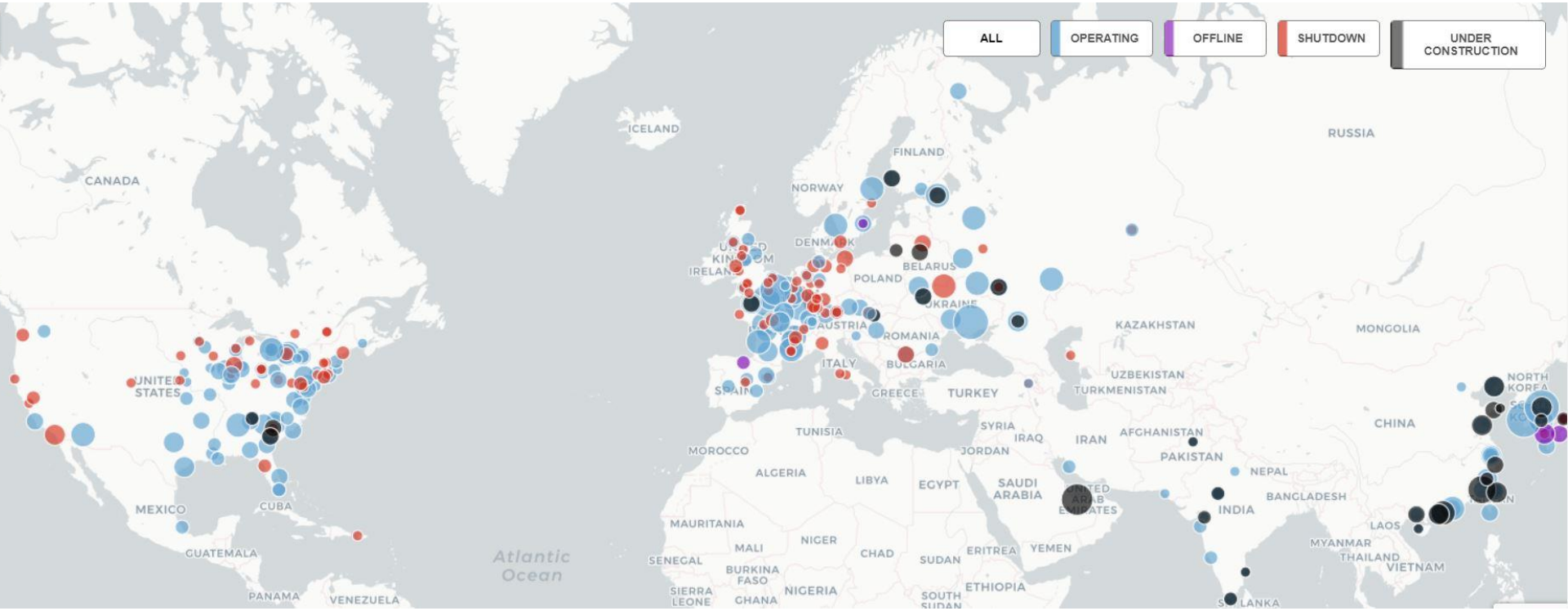
Sources: BP Statistical Review, 2019; Nelson et al., "Power to Decarbonize," EP, 2017, based on BNEF (solar/wind) Lovering, et al, 2016, *Energy Policy*

NUMERO

440

è il numero di reattori attualmente operativi nel mondo

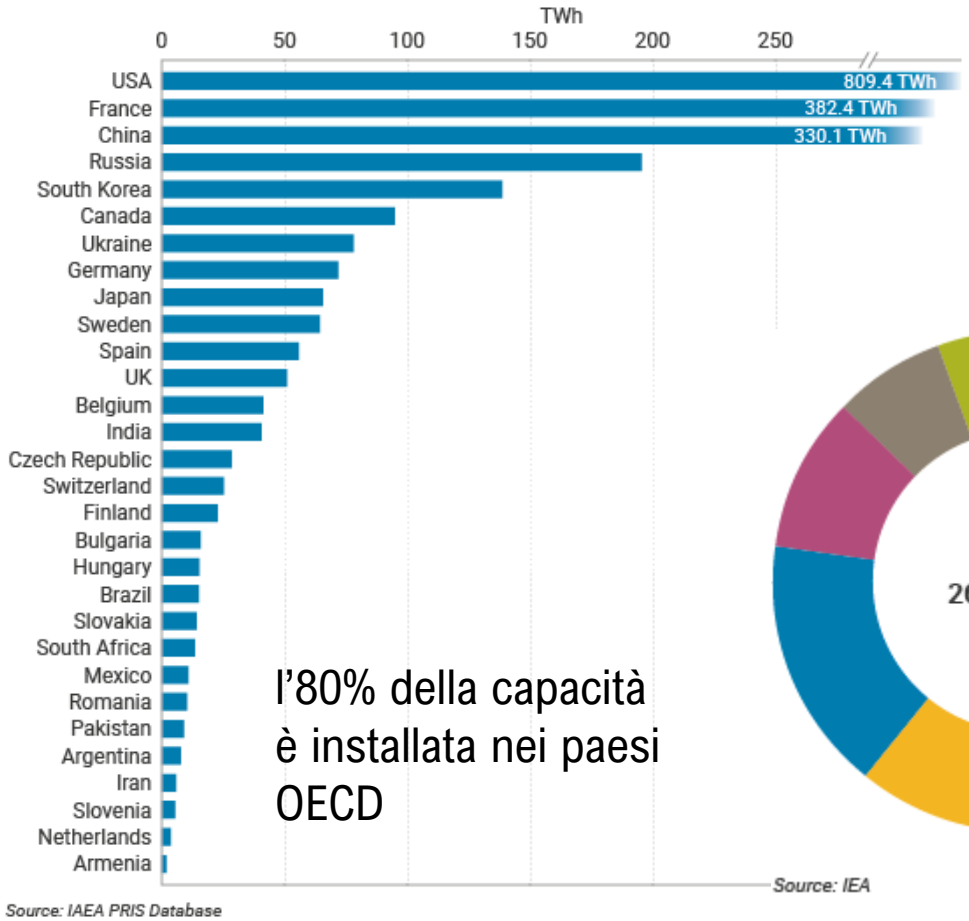
il NUCLEARE NEL MONDO



- affermato in Europa e Nord America
- in forte diffusione in Asia

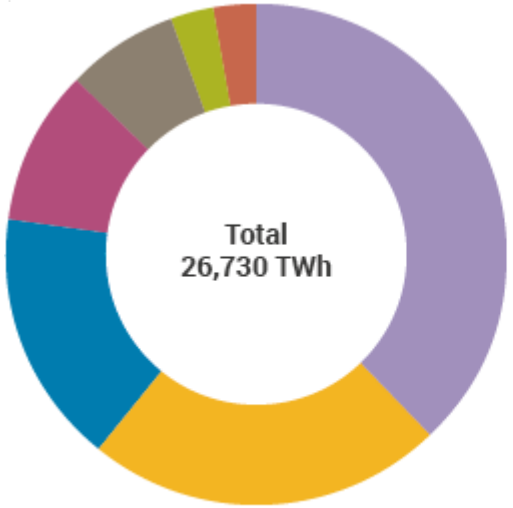
53 nuovi reattori in costruzione
di cui 11 in Cina e 7 in India

il NUCLEARE NEL MONDO

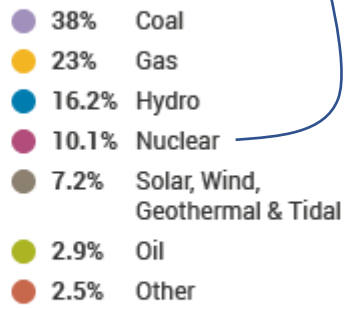


l'80% della capacità è installata nei paesi OECD

produzione elettrica da nucleare per paese



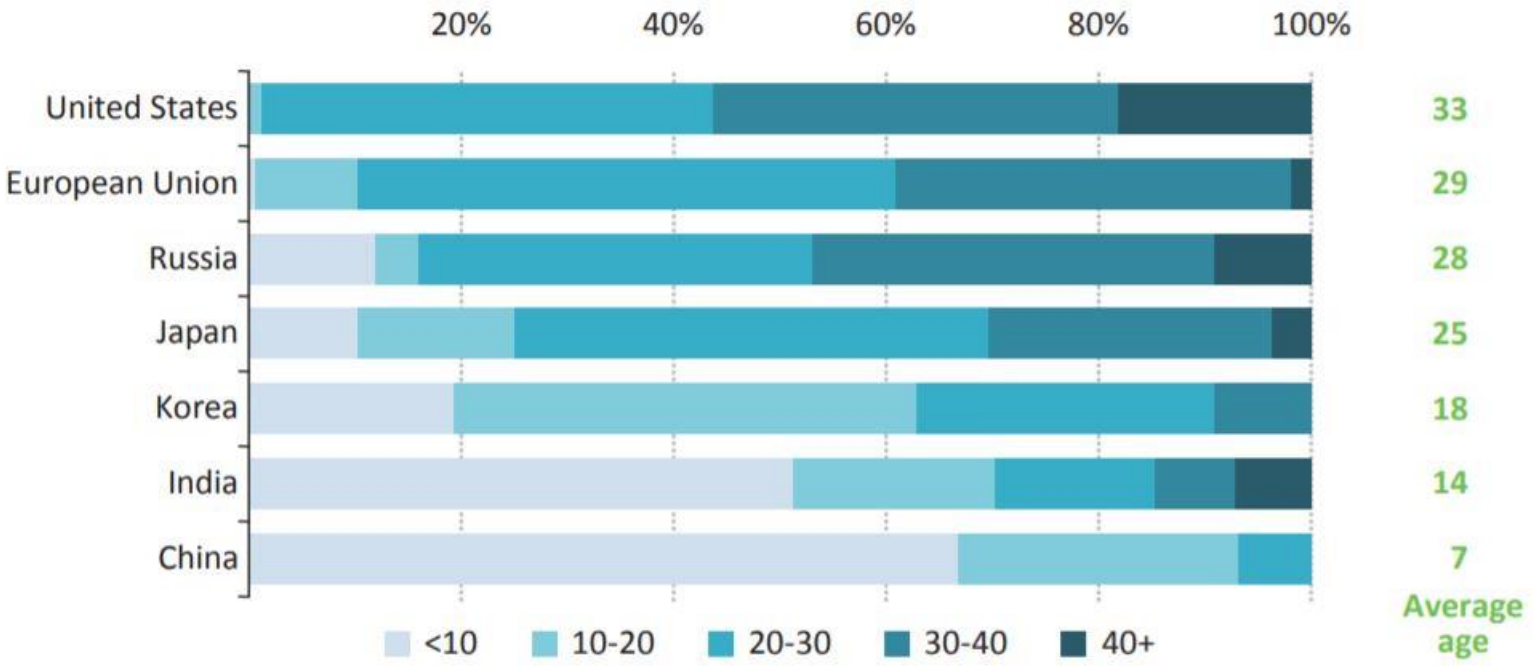
quota pari al 18% nei paesi OECD



produzione elettrica mondiale per fon

il FUTURO DEL NUCLEARE

Figure 10.2 ▷ **Age profile of nuclear capacity by selected region** (years)

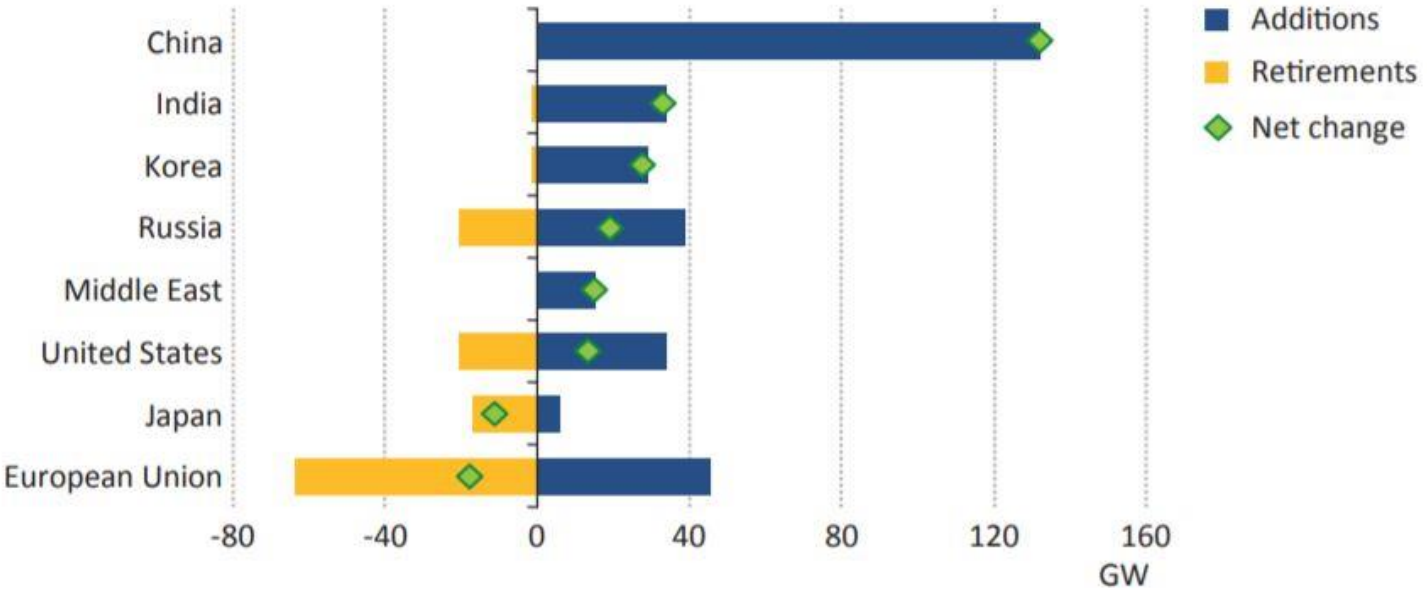


Sources: IAEA PRIS; IEA analysis.

circa 200 reattori saranno soggetti a retirement entro il 2040

il FUTURO DEL NUCLEARE

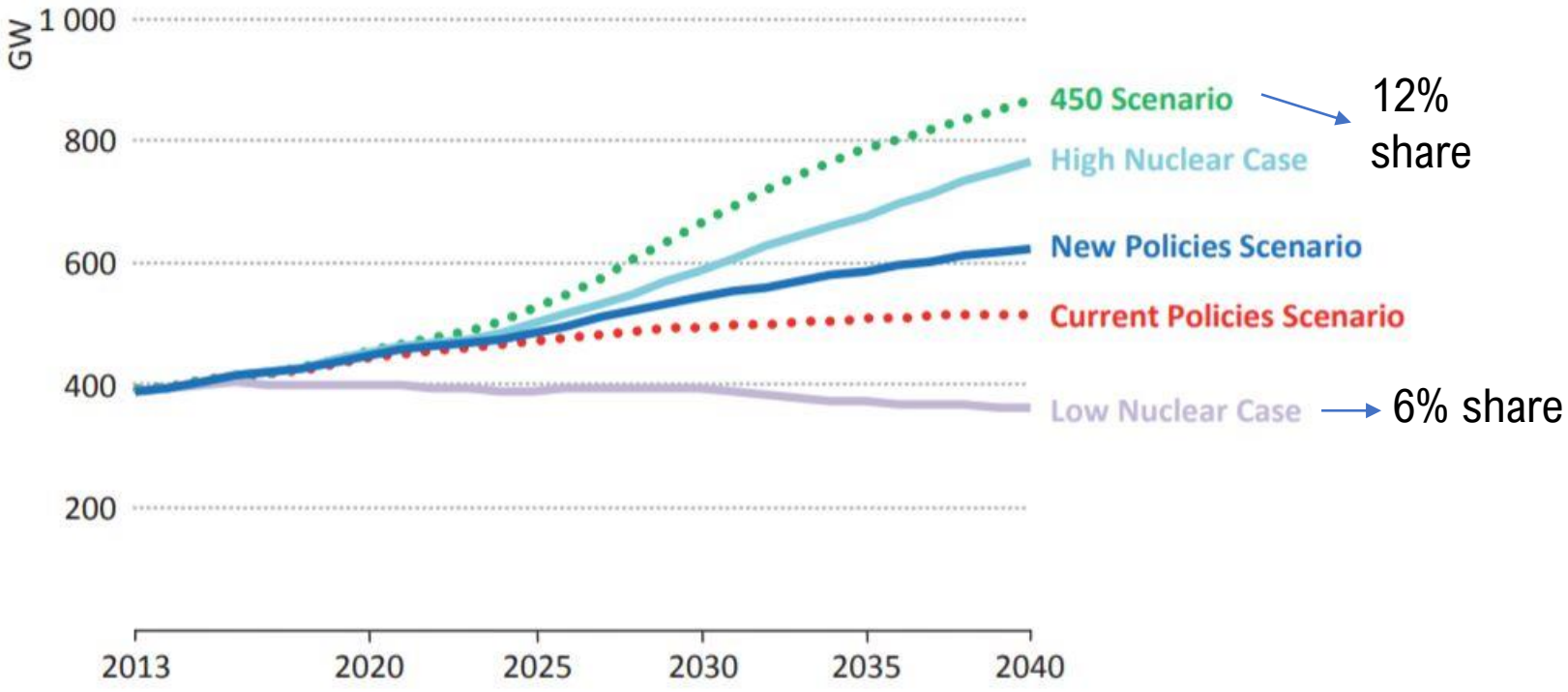
Figure 11.4 ▷ Nuclear power capacity additions and retirements by key region in the New Policies Scenario, 2014-2040



da World Energy Outlook 2014 - IEA

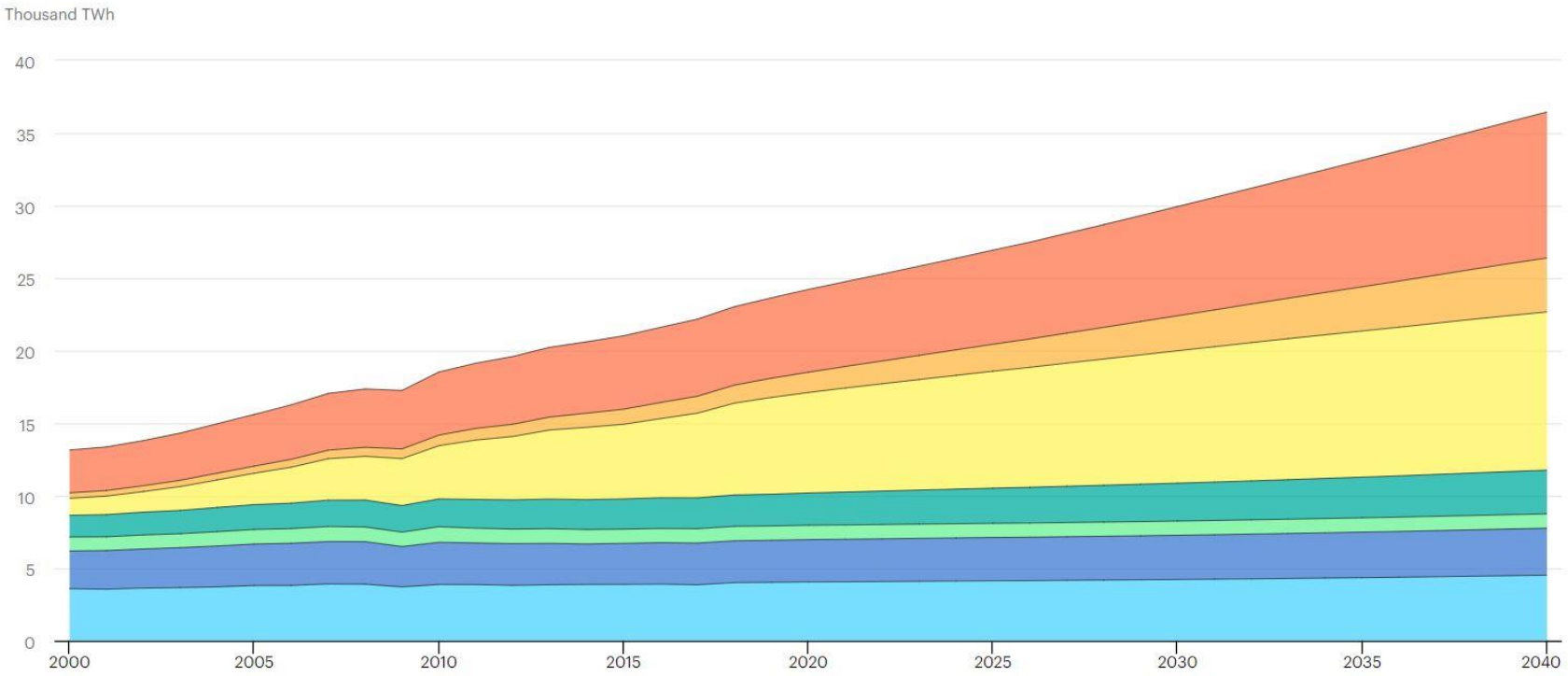
il FUTURO DEL NUCLEARE

Figure 11.12 ▷ Global nuclear power capacity by scenario and case

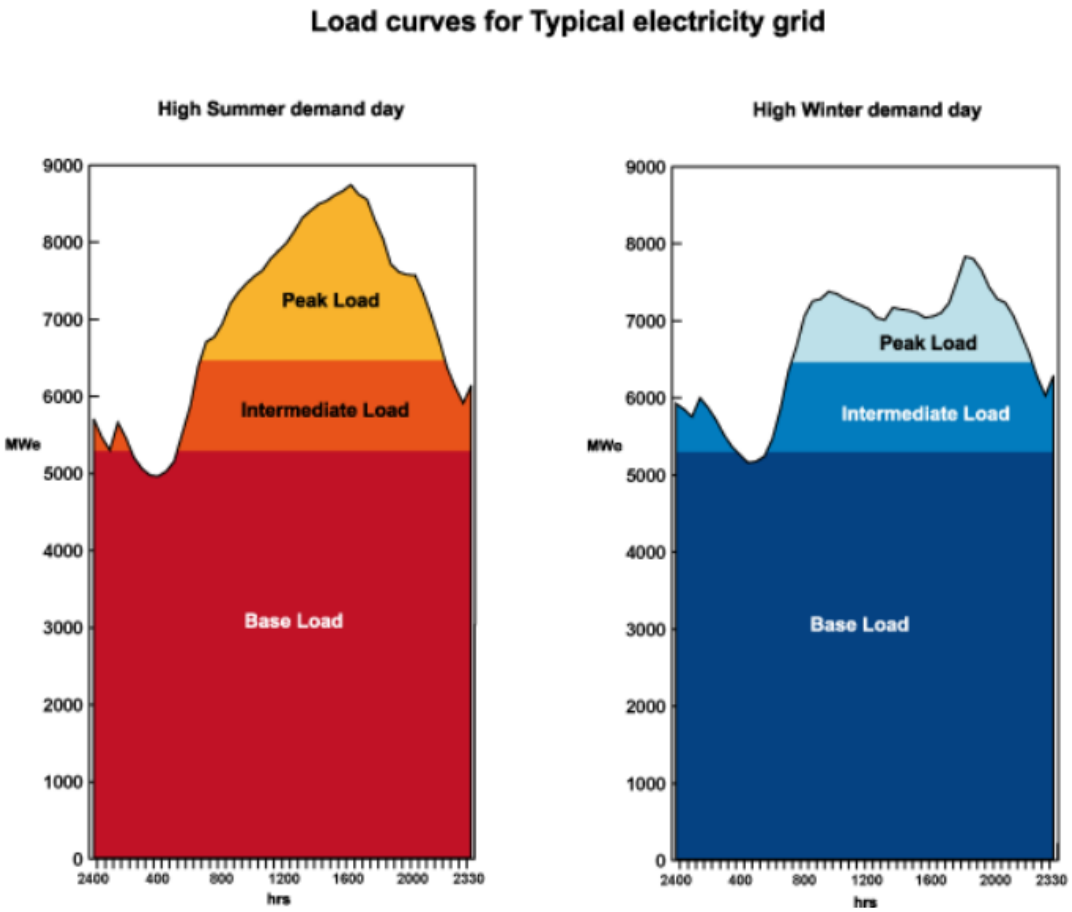


da World Energy Outlook 2014 - IEA

la DOMANDA di ELETTRICITA'

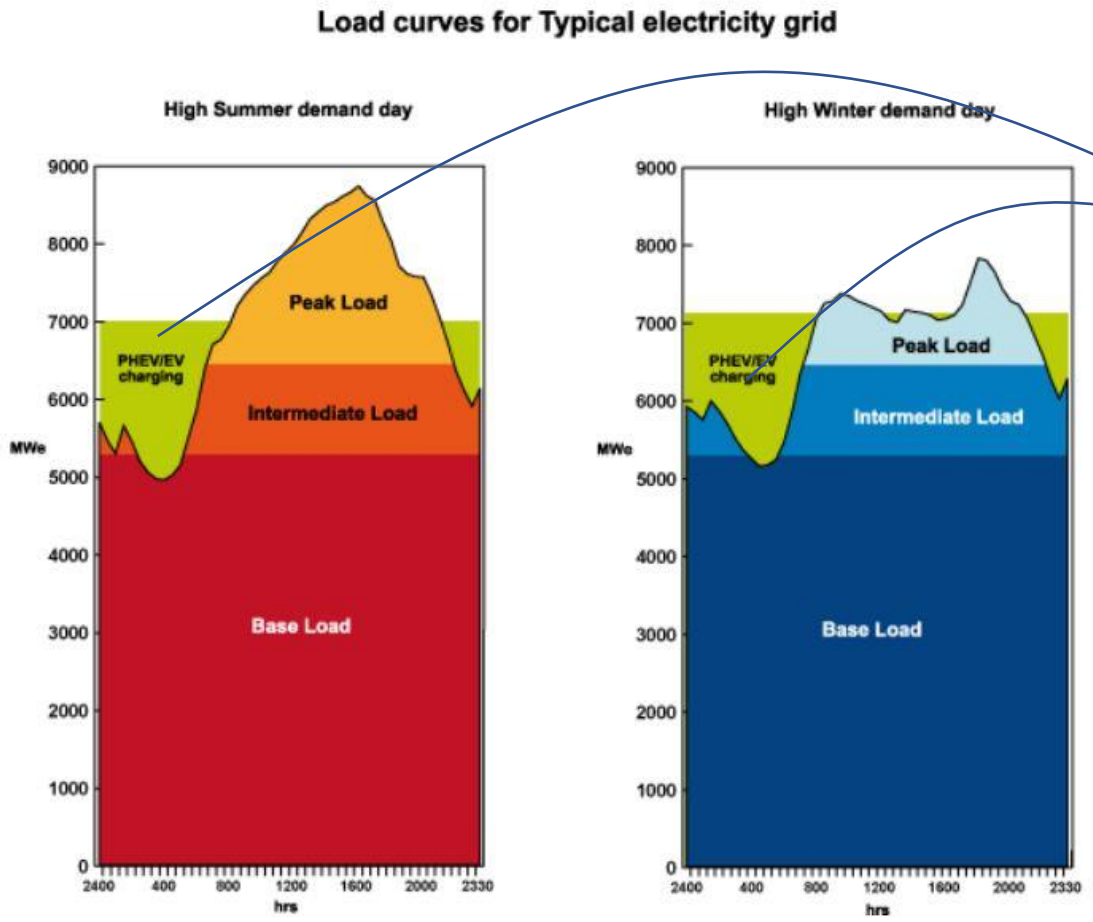


il RUOLO DEL NUCLEARE



This diagram shows that much of the electricity demand is in fact for continuous 24/7 supply (base-load), while some is for a lesser amount of predictable supply for about three quarters of the day, and less still for variable peak demand up to half of the time.

il RUOLO DEL NUCLEARE



Esempio tipico: l'elettrificazione dell'automotive rappresenta nuovo baseload

il RUOLO DEL NUCLEARE

Quali sono dunque i principali drivers per un maggiore sviluppo dell'energia nucleare?

- La sfida climatica
- La crescente domanda elettrica
- La necessità di garantire sicurezza della fornitura energetica
- L'economicità
- La stabilità rispetto alle oscillazioni di prezzo dell'energia

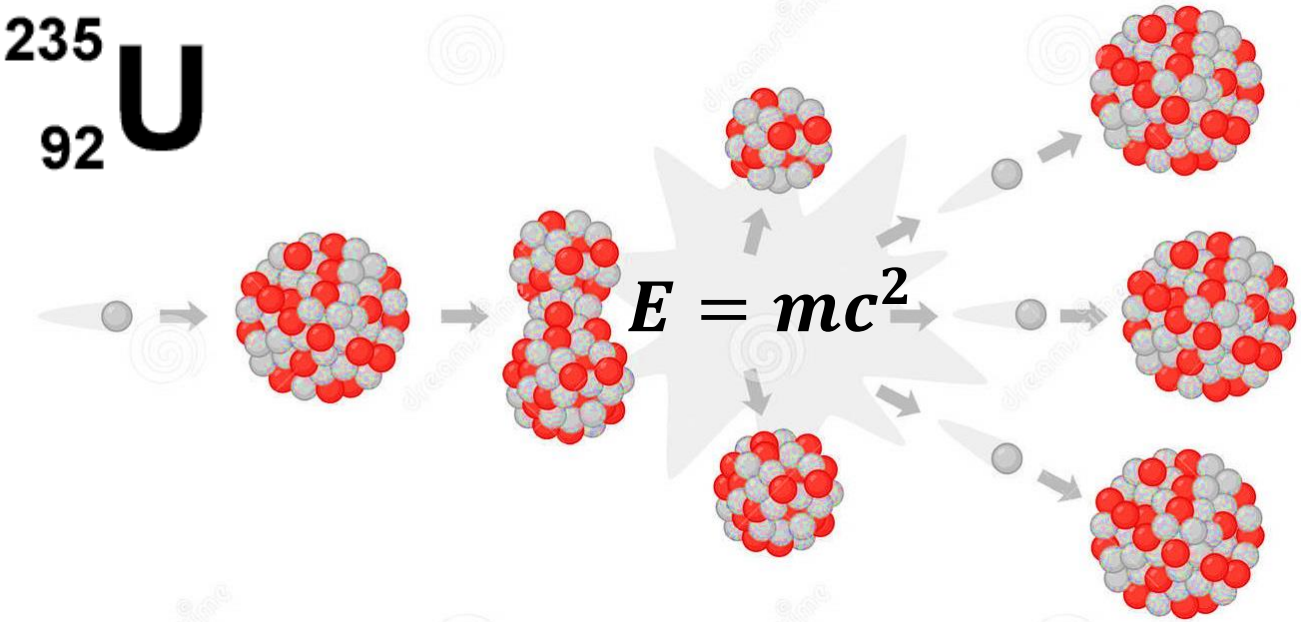
GRAZIE PER L'ATTENZIONE

CLICCA E SEGUICI SUI SOCIAL!

COMITATO NUCLEARE E RAGIONE

energia_in_numeri

COME FUNZIONA LA FISSIONE?

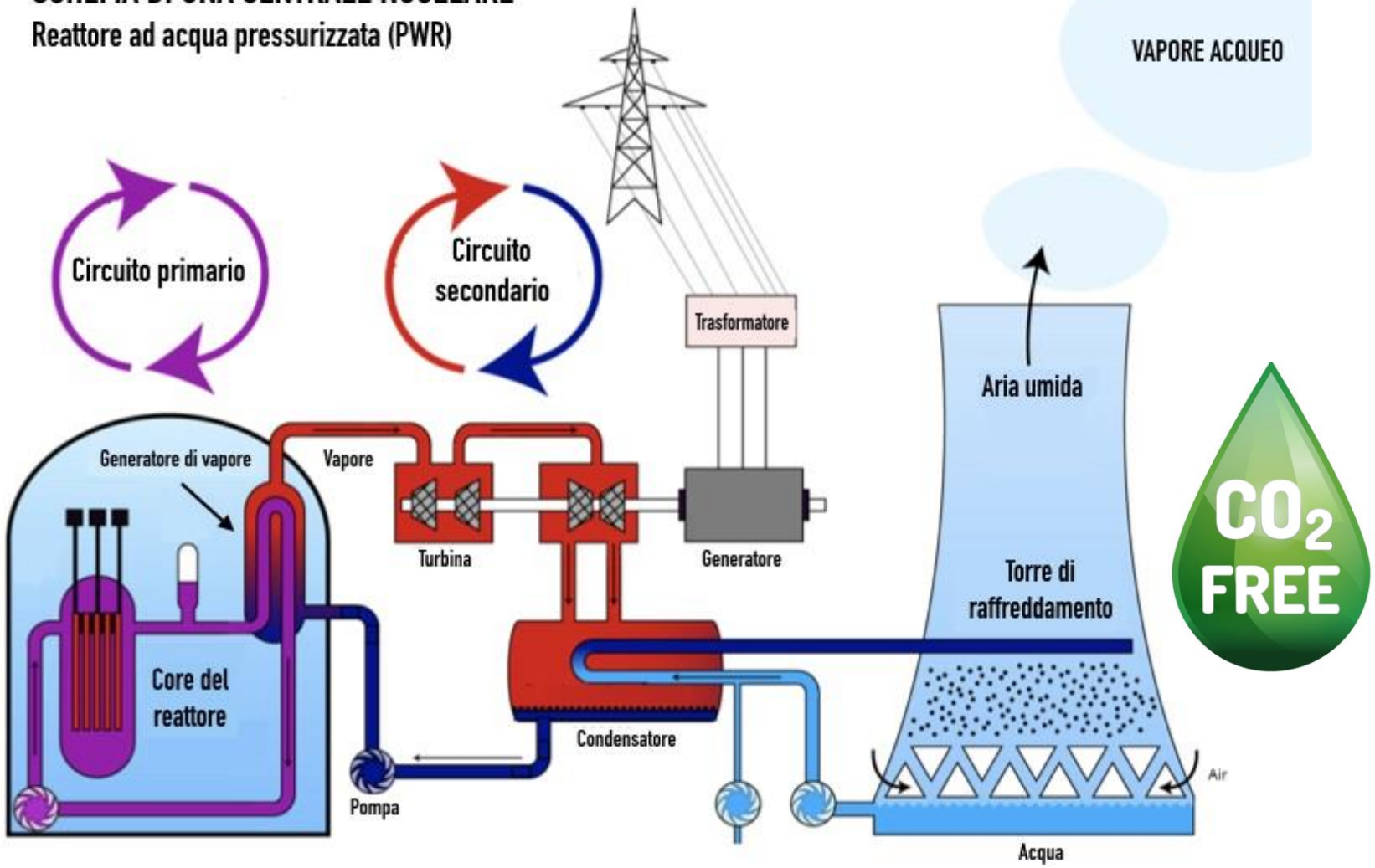


L'energia rilasciata dalla reazione contribuisce all'**aumento della temperatura** del combustibile

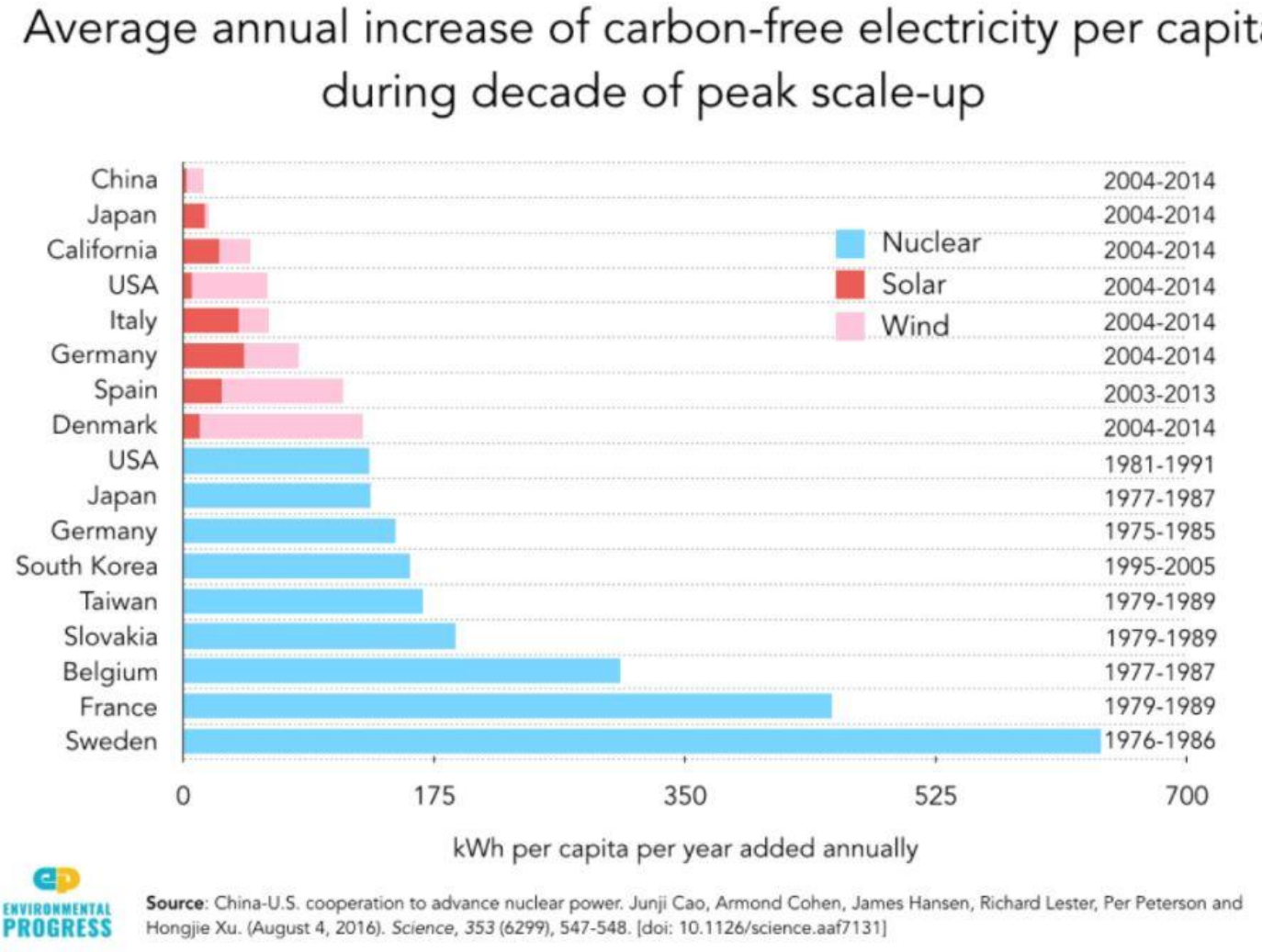
I neutroni si moltiplicano: **reazione a catena**

Che caratteristiche hanno i neutroni?

ENERGIA PER INTERE CITTÀ



il CONFRONTO TRA FONTI ENERGETICHE



GLI INCIDENTI NUCLEARI

	Chernobyl (1986)	Fukushima (2011)
Come è successo?	Criticità dei reattori RBMK a bassa potenza. Gli operatori hanno portato il reattore in condizione di criticità, violando le norme di sicurezza.	Terremoto di magnitudo 9,1 e conseguente tsunami non hanno causato danni strutturali alla centrale. Mancanza di corrente elettrica e generatori di emergenza sommersi dall'acqua hanno causato il mancato raffreddamento del nucleo.
Può succedere ancora?	No, i reattori RBMK sono stati utilizzati solo in Unione Sovietica e comunque ora sono tutti spenti. I paesi occidentali non hanno mai utilizzato questo tipo di reattore perché non rispettava i criteri di sicurezza.	Dopo Fukushima, ingenti risorse sono state impiegate per dotare le centrali esistenti di sistemi di raffreddamento passivi (che non necessitano di corrente elettrica).
Quali sono i danni alla salute?	Danni da radiazione: dobbiamo distinguere tra effetti deterministici (alte dosi) ed effetti stocastici (dosi più basse). I danni deterministici si manifestano come **sindrome acuta da radiazioni (ARS)**, mentre gli effetti stocastici sono molto difficili da stimare.	
Quante sono state le vittime?	3 lavoratori morti a causa dell'esplosione del reattore. 134 lavoratori della centrale ricoverati per ARS. Di questi, 28 sono morti a poca distanza dall'incidente. Furono evacuate 115.000 persone.	37 lavoratori ricoverati con lesioni fisiche. 2 lavoratori ricoverati per bruciature da radiazione. 1 lavoratore morto nel 2018 per tumore ai polmoni, ritenuto direttamente causato dal disastro. Il terremoto e lo tsunami hanno causato quasi 20.000 vittime. Furono evacuate 154.000 persone.
Quali sono le condizioni oggi?	Dose attuale a Chernobyl: 1-10 microSv/h.	Massima dose a Fukushima oggi: 3 microSv/h.
	Stiamo parlando dello stesso ordine di grandezza della dose ricevuta volando in aereo (5 microSv/h).	