

FIL ROUGE 2026



29/02/2026

LA SITUAZIONE MONDIALE DEL NUCLEARE AL 31/12 /2025 E LO SVILUPPO DEI REATTORI

Alessandro Clerici GdL nucleare AIDIC

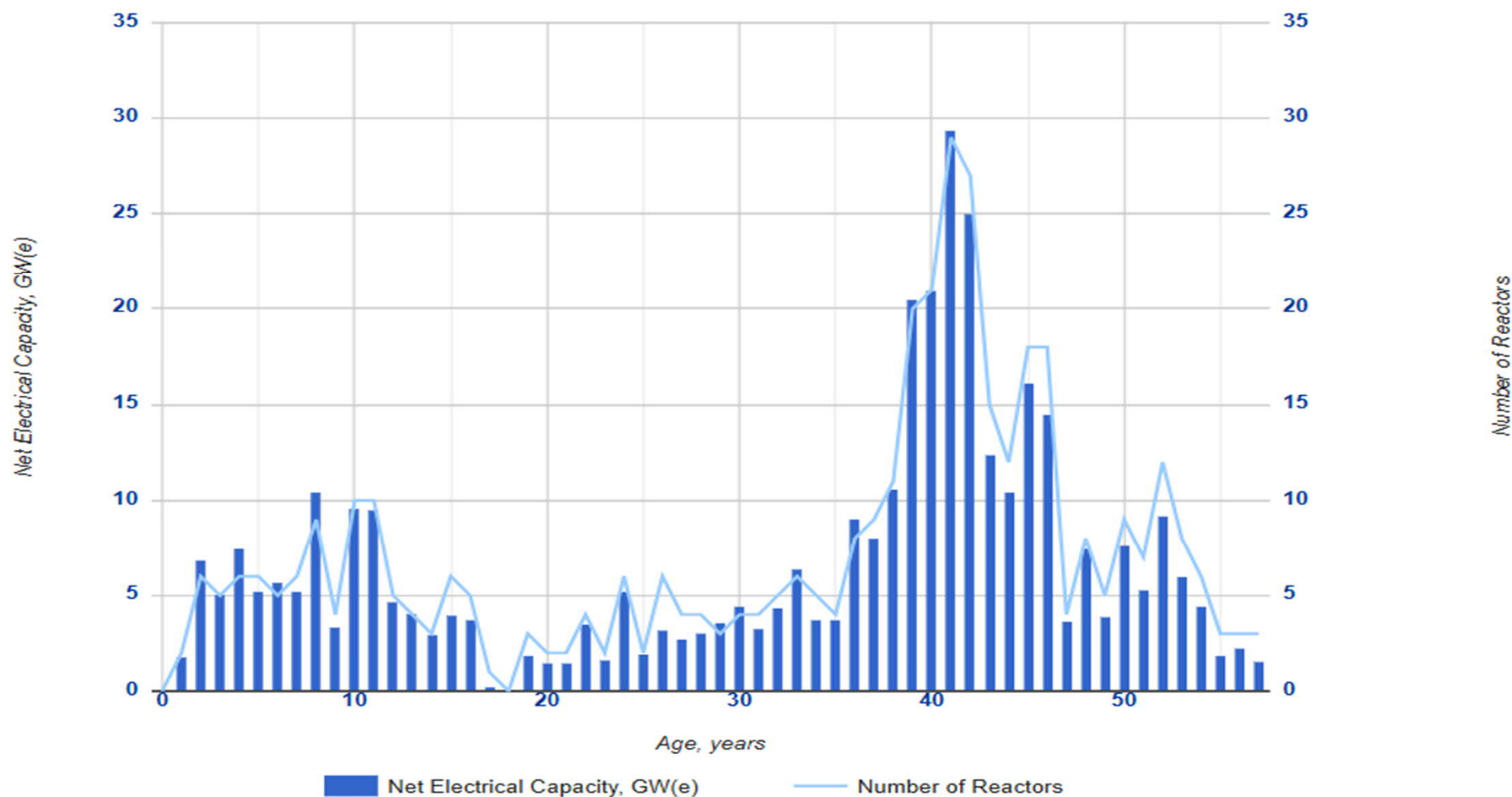
PRESIDENTE ONORARIO WEC ITALIA E FAST

Con il contributo di



EVOLUZIONE DEL NUCLEARE E SITUAZIONE AL 31/12/2025

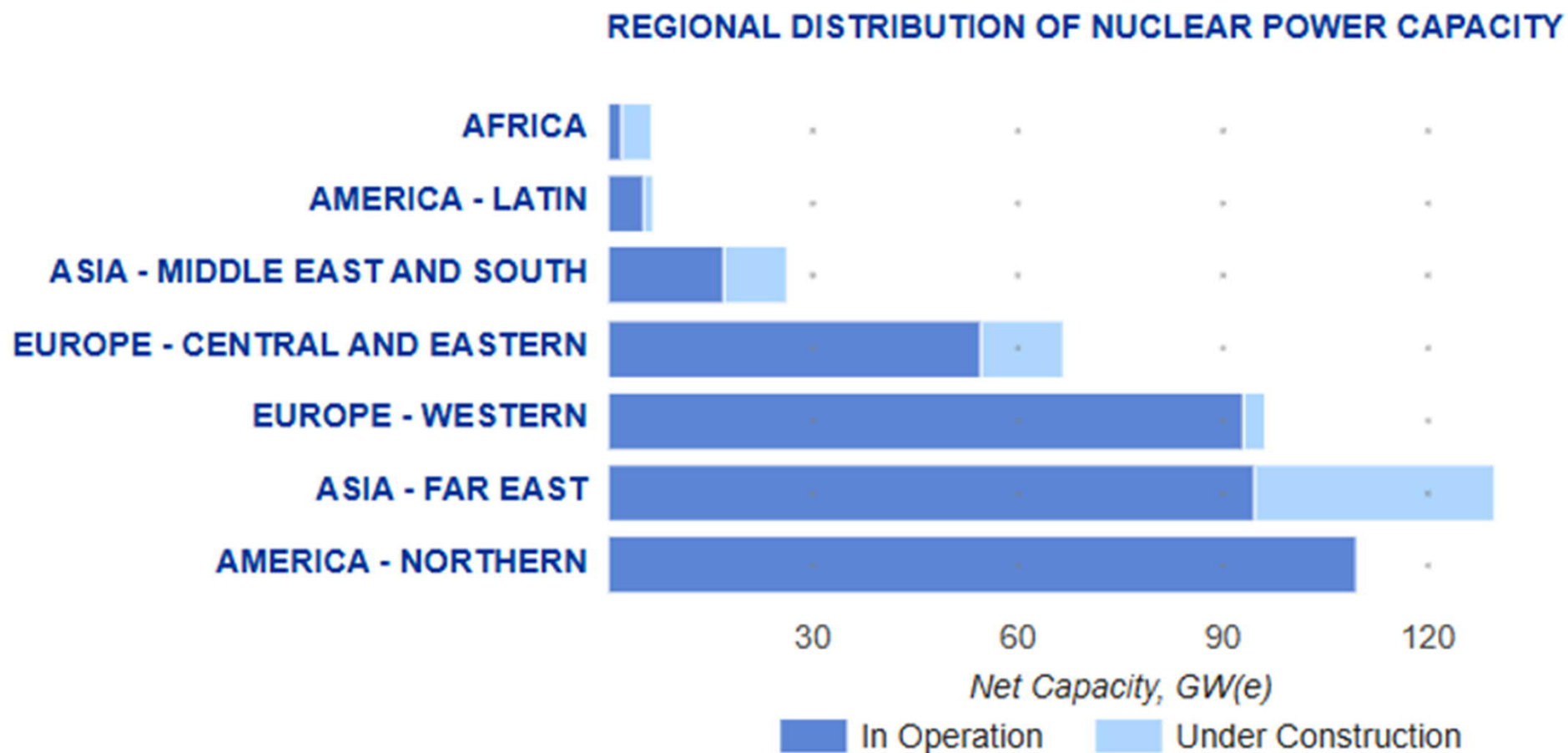
Andamento reattori installati e oggi in servizio (da IAEA PRIS) 1/1/26 anno zero
Anno 40 Chernobyl ed anno 15 Fukushima con successivo forte sviluppo da Cina



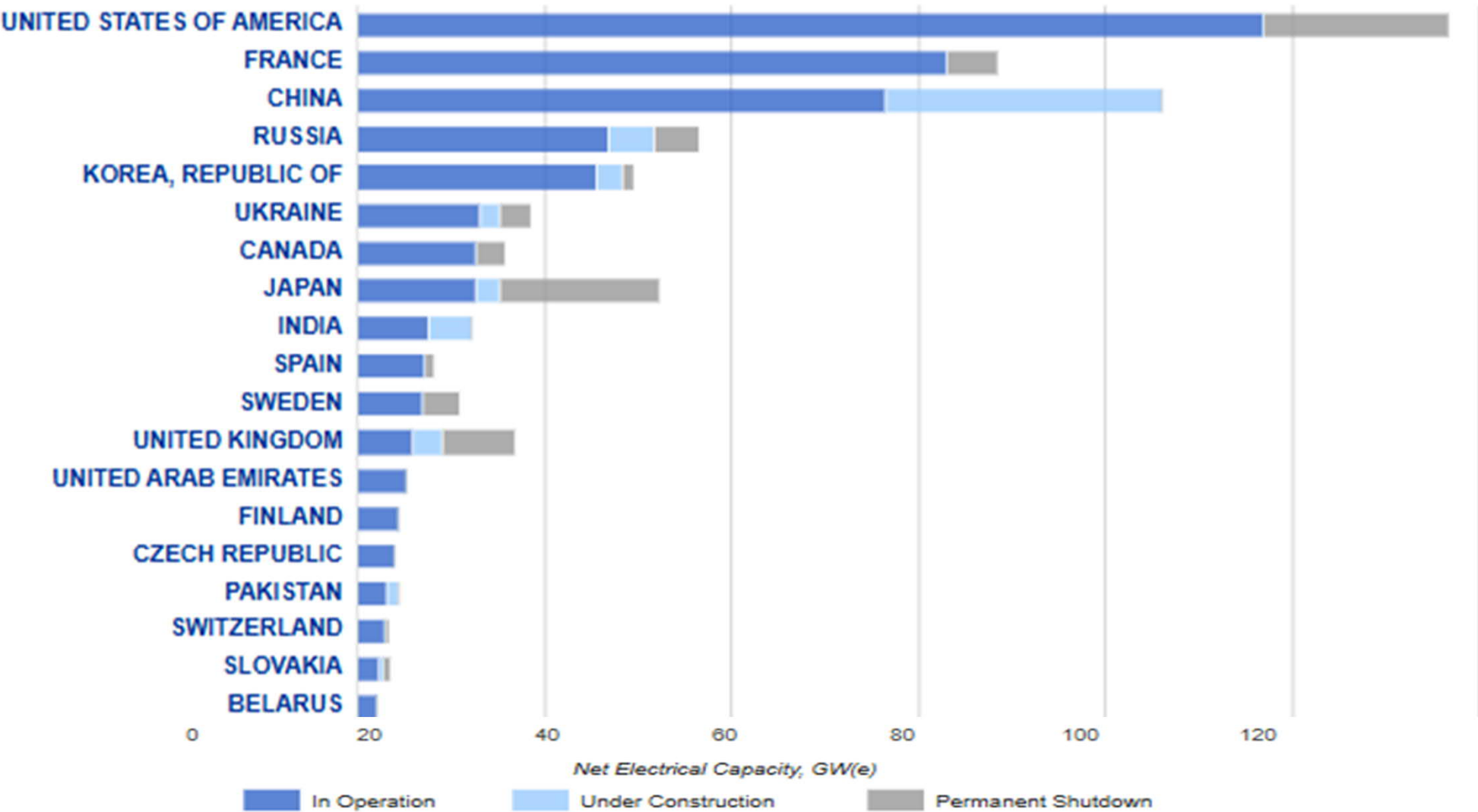
Situazione mondiale dei reattori al 31/12/2025

- **417 in servizio** per **377 GW** in 31 nazioni
- **62 in costruzione** per **65 GW** in 15 nazioni
- **223 permanentemente chiusi** per **115 GW** in 16 nazioni -Enorme mercato decommissioning -3 paesi hanno chiuso tutte le loro centrali: Italia (1990), Germania (2023) e Taiwan (2025)
- **23 in servizio sospeso** **24 GW** per adeguamento alle norme di sicurezza in 2 nazioni
 - n° 19 in Giappone (programmati rientri in servizio)
 - n° 4 in India

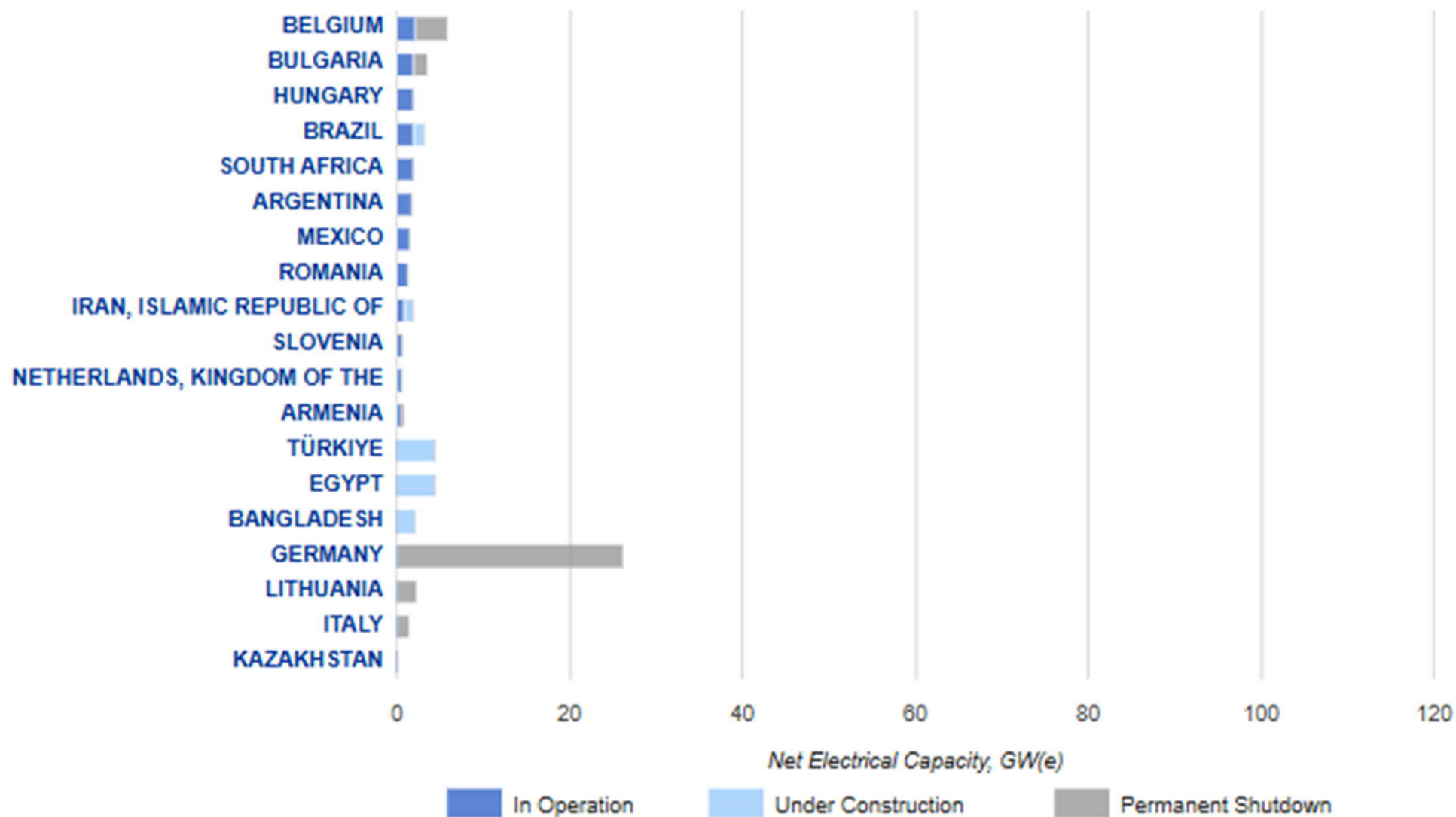
Situazione geografica del nucleare al 31/12/2025 (da IAEA PRIS)



Potenza in GWe dei reattori in servizio al 31/12/2025 – Grafico 1 (da IAEA PRIS)



Potenza in GWe dei reattori in servizio al 31/12/2025 – Grafico 2 (IAEA PRIS)



TECNOLOGIE DEI 416 REATTORI IN SERVIZIO NEL MONDO

66% PWR - 15,5% BWR - 12 % CANDU

2.5 % LWGR/RBMK - 2 % GCR - 2%SMR+AMR+Gen IV

NB in potenza installata i PWR vicini ad 80%

Per SMR+AMR+Gen IV

In Russia in servizio

.5 SMR (2 da 32 MW dal 2019 in servizio e 3 da 11MW dal 1975)

.2 Generation IV reactors :

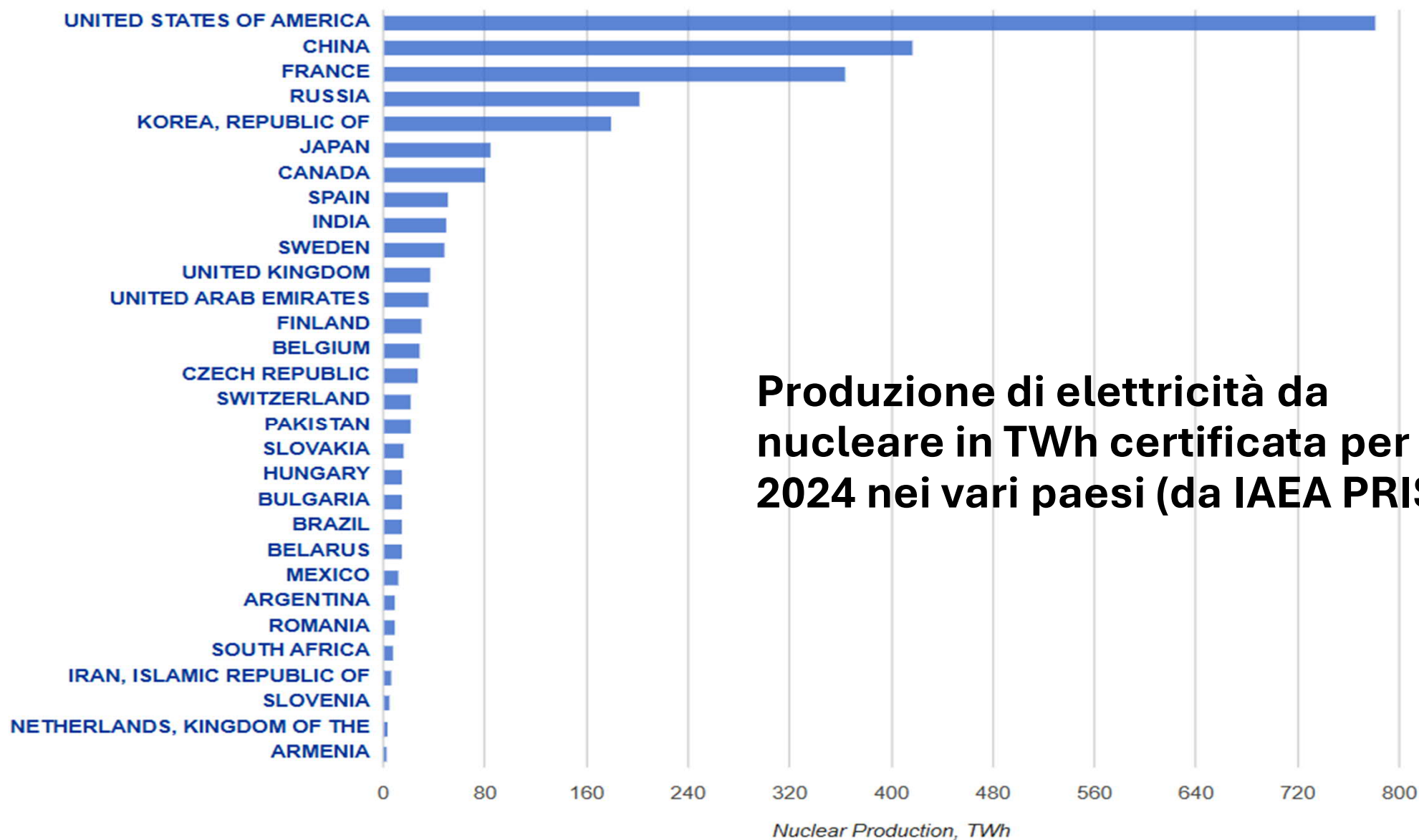
1 Fast Breeder in servizio **dal 1980** (l'unico in vita dei similari progetti sospesi in Francia ,Germania e Giappone)

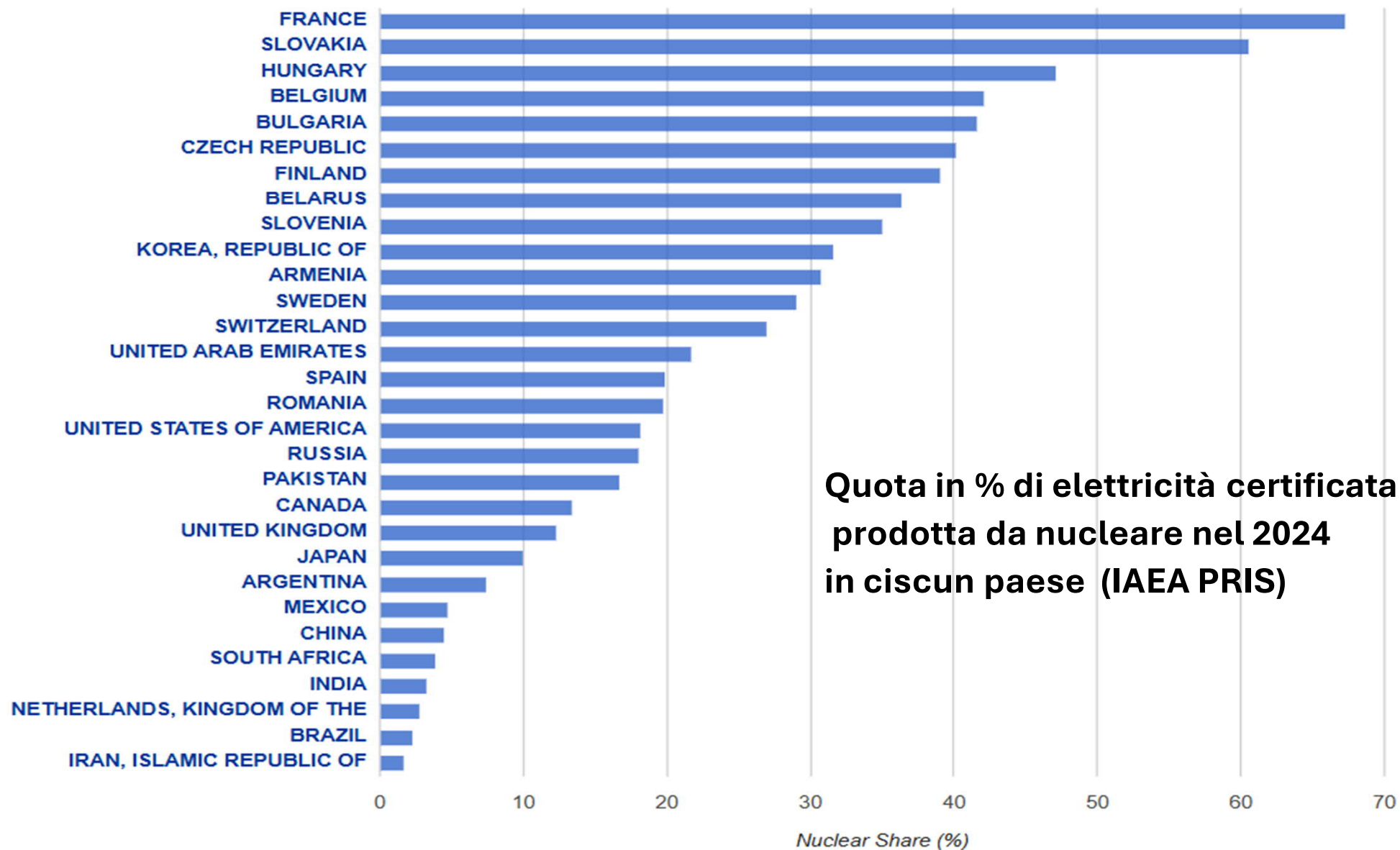
1 Fast Breeder 800 MW in servizio **dal 2016**

In Cina in servizio:

. 2 Generation IV reactors da 150 MW **HTGR** raffreddati a elio

. 1 reattore sperimentale da 20 MW tipo **SFR** (Sodium Fast Reactor).





Dettagli sui reattori in costruzione

- **-28 reattori in Cina**, 24 PWR fondamentalmente di 3° generazione +» con 4 dalla Russia; 2 SMR e 2 Gen IV da 680 MW sviluppati localmente
- **27 reattori russi (5 in Russia** dei quali 2 SMR da 32 MW e 1 GEN IV Fast Breeder da 300 MW, **4 in Cina, India, Turchia e Egitto, 2 in Bangladesh e Ucraina - chiaramente sospesi- ed 1 in Iran e Slovacchia);**
- **India 6 reattori : 4 Russi VVER, 1 locale PHWR ed 1 reattore di GEN IV FBR** progettato localmente **con costruzione iniziata da 21 anni**
- **UK-2 reattori EPR francesi** in Hinkley Point C da 1650 MW ciascuno con **notevoli ritardi e costi quasi raddoppiati**
- **Corea del Sud- 2 reattori APR 1400 MW da KHNP** (4 in funzione in UAE e 6 in Corea) dopo 14 reattori sempre PWR di tecnologia locale)
- **Giappone -2 ABWR GE-Hitachi da 1300 MW** con costruzione sospesa nel 2011/2012 per “safety checks” con rientro previsto nel 2028.

- **Brasile -1 reattore PWR 1400 MW**(in costruzione dal 1984 con continui stop and go e susseguirsi di diversi fornitori)
- **Argentina -1 reattore SMR di sviluppo locale da 25 MWe** costruzione è iniziata nel 2014 con un **costo rivalutato ad oggi di oltre 18.000 \$/kW e si attende annuncio di chiusura** (già eliminata gran parte del personale di costruzione dal nuovo presidente della repubblica Milei).
- **Pakistan -1 reattore PWR** fornito dalla Cina (1100 MWe Hualong One HPR1000) con **inizio costruzione nel marzo 2025** a seguito di altri 6 reattori forniti dalla stessa Cina.

27 REATTORI RUSSI SU 62 IN COSTRUZIONE (5 in Russia e 22 in 8 paesi)

25 REATTORI CINESI IN COSTRUZIONE(24 in Cina ed 1in Pakistan)

IN TOTALE RUSSIA+CINA HANNO L' 84% DEI REATTORI IN COSTRUZIONE

Tecnologie dei 62 reattori in costruzione

-Nei reattori «convenzionali» :

.. PWR dominano con 49 reattori seguiti da 2 ABWR

-La categoria SMR/AMR/GEN IV reactors vede 11 reattori ;4 in Cina-5 in Russia e gli altri 1 in Argentina ed 1 in India con dubbi su loro completamento

LO SVILUPPO FUTURO DEL NUCLEARE E DI TIPOLOGIE DI REATTORI

Anche se negli ultimi 20 anni 106 reattori permanentemente chiusi contro 102 nuovi entrati in servizio e ridotta dal 16% al 9% la quota del nucleare nella produzione di elettricità, **ma si nota da alcuni anni un prospettato rinascimento del nucleare in vari paesi menzionando:**

- **Le ridottissime emissioni climalteranti** nel ciclo di vita,
- **la programmabilità** della sua produzione,
- **Il minimo spazio richiesto per kWh prodotto**
- **Il contributo a soddisfare il previsto forte aumento della domanda di elettricità con minimo utilizzo di minerali rari**
- **Risparmi energetici sfruttando la cogenerazione di elettricità e calore** e con futuri reattori temperature fino a 900 °C(industrie "hard to abate")
- **Costo del kWh poco soggetto a volatilità nelle forniture di combustibile che è circa il 5% del prezzo del MWh prodotto** per nuovi grossi reattori di Gen 3+ previsti nel mondo occidentale

- **ridotti pesi/spazi/costi per stoccaggi multi annuali del combustibile presso le centrali** (bilanciamento di volatilità od effetti geopolitici nelle forniture di combustibile arricchito); 1 kg di uranio ha il contenuto energetico di 60 tonnellate di gas, di 85 tonnellate di petrolio e di 120 tonnellate di carbone e **circa 2 metri cubi di combustibile servono per il funzionamento di 1 anno di un reattore EPR da 1650 MW con un capacity factor di 8000 ore/anno (13,2TWh)**
- **importante contributo all'inerzia e potenza di corto circuito del sistema elettrico per stabilità di frequenza e di tensione ridottasi con lo sviluppo di fotovoltaico ed eolico con scarsi loro contributi ad inerzia e potenza di corto circuito** ed uscita di gruppi termoelettrici con l'inerzia/potenza di corto circuito dei loro gruppi alternatori /turbine
- **forte riduzione del problema dei rifiuti radioattivi con il futuro sviluppo di Gen IV reactors** (interessante programma russo al riguardo con Gen IV reactors in aree con presenza di rifiuti da reattori di Gen 2 e 3 e 3+ per alimentare reattori di Gen IV riducendo futuri depositi geologici)

MA SFIDE PER INSERIMENTO NUCLEARE

- **Il timore di incidenti ed il no in my backyard**.
Anche se dopo Chernobyl e Fukushima, errori umani nella conduzione e/ o localizzazione dell'impianto, **interventi su centrali esistenti e future per garantire sicurezza anche per impatto di un aereo sulla centrale con incremento di costi e tempi**
- **I depositi di rifiuti radioattivi e specie quelli geologici millenari** (merita seminario ad hoc su reale importanza immediata)
- **Alti investimenti richiesti per unità di potenza nel mondo occidentale** ma capacity factor di base load di 8 000 ore/anno rispetto al fotovoltaico ad esempio in Italia tra 1000 e 1500 ore /anno
- **Flessibilità ad oggi non veloce come cicli combinati; LCOE aumenta con riduzione capacity factor rispetto a base load di 8000 h/anno**
- **Forte aumento di tempi/costi in UE e US dei First of a Kind di reattori Gen III+; ora fase di learning curve (ma con costi ancora ben superiori rispetto a Cina, reattori Russi all'estero o reattori dal Sud Corea)**

PER SVILUPPI FUTURI DIFFERENTI PREVISIONI (da COP 28 circa 30 paesi con [USA](#), [Regno Unito](#) e [Francia](#) mirano a triplicare la capacità entro il 2050)

- **la IAEA prevede al 2050**

- **in “ high case projection” nuovi 650 GW dal 2026 (25% SMR e AMR pari a 165 GW) per arrivare a 2,5 volte l'attuale potenza .**

- **in “ low case projection” dal 2026 nuova capacità di 514 GW con 30 GW (5%) di SMR e AMR**

NR In 25 anni darebbero entrate in servizio in media dai 20 ai 25GW/anno. A mio avviso ottimistici rispetto alla storia della slide iniziale(ultimi 35 anni che hanno visto solo 3 volte l'avvicinarsi a 10 GW/anno e 2 GW nel 2025-7GW nel 2024)

Per i reattori SMR (teoricamente potenze fino 300 MW ma alcuni di maggior valore- Microreattori sotto circa 30 MW) ricadono in **2 grandi categorie:**

- **-Light Water Reactors con temperature a circa 300°C e supply chains di materiali e sottosistemi e del combustibile ben sperimentate.**
- **-Nuove tecnologie per gli AMR e raggruppabili in 6 gruppi come per i Generation IV reactors:**
 - *Gas-Cooled Fast Reactor (GFR);* -
 - *Very-High-Temperature Reactor (VHTR);*
 - *Supercritical-Water-Cooled Reactor (SCWR);*
 - *Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR);*
 - *Lead-Cooled Fast Reactor (LFR) ;*
 - *Molten Salt Reactor (MSR)*

Alcune consentono l'uso di temperature fino a circa 900°C.

SMR

- Da 2 decenni forte crescita di start up ed iniziative in parte supportate dai governi locali (specie in US, Canada, UK a parte Russia e Cina)
- Rapporto SMR della Nuclear Energy Association (NEA) del Settembre 2025 con situazione al Febbraio 2025 a livello globale

Evidenziate 127 tecnologie SMR in tutto il mondo.

74 SMR in differenti stati di sviluppo, sono annesse schede dettagliate

25 reattori che sono in fase di sviluppo, ma richiesta per ora l'esclusione dal NEA SMR report

28 reattori non sono in fase di sviluppo attivo e potrebbero esserlo per mancanza di risorse umane o finanziarie, oppure sono stati cancellati o sospesi a tempo indeterminato-

PER LE SOLUZIONI PIU' AVANZATE

- **CINA** con 3 reattori previsti in costruzione già nel 2026 e stanno interessando vari paesi in una politica di loro esportazione con:
 - . **ACP100** ad acqua pressurizzata da 125 Mwe ,vita di 60 anni e ricarica del combustibile ogni 2 anni ; uso anche per il teleriscaldamento, la desalinizzazione dell'acqua marina e la produzione di vapore industriale. **E' il primo reattore modulare terrestre al mondo a superare la revisione di sicurezza della IAEA.**
 - . reattori **HTR** con moderatore la grafite e termovettore l'elio e sono in fase avanzata di sviluppo
- **CANADA** 4 reattori GE Vernova BWRX da 300MW in Ontario Power Generation(OPG) da aggiungere alla centrale nucleare di Darlington. Sito già autorizzato per inserimento di SMR- Certificazione design da NRC US prevista entro fine 2026-In UK passato il 2°livello del GDA (Generic Design Assessment)—Non figura in costruzione da IAEA

- **STATI UNITI:**

- **TVA per 4 reattori GE Vernova BWRX da 300MW a Clinch River .**

Autorizzazione costruzione fine 2026

Early site permit già dal 2019 » for the construction of SMRs» (« the site is suitable for safety, environmental impact and emergency planning”).

Inizio costruzione 2028 ,commissioning primo reattore 2032-33

NB **Approccio collaborativo senza gare tra cliente (TVA), fornitore GE dei reattori e Bechtel, Sargent & Lundy per definire il costo e programma di realizzazione dell'SMR** con completamento in 1-2 anni.

- **Oak Ridge Laboratory**, grant di 300 million \$ dal Department of Energy (DOE) **per Kairos Energy per il reattore dimostrativo Hermes 1 da 35-MWt** con il costo totale del progetto di 630 million \$ **con operation prevista nel 2027.E' un Gen IV “non-power, molten salt-cooled reactor** uses FLiBe (fluoride-lithium-beryllium) coolant and TRISO fuel pebbles . **It is the first non-LWR permitted by the NRC in over 50 years”.**

Futuro Hermes 2 da 50 MW per produrre elettricità immessa in rete

INGHILTERRA

- **Nel Galles 1 PWR 470 MW di Rolls Royce in partnership con Centrica**
- **Nel Nord est 1 reattore da 80 MW Xe-100 tipo HTGR** (con temperatura dell'elio di 750 °C e del vapore 565°C) **di X-Energy in partnership con Centrica e Cavendish Nuclear che hanno ottenuto un grant di £ 3.34 million** dal fondo di 120 million £ istituito nel 2022 per potenziali progetti che potrebbero avere una Final Investment Decision entro il 2030 minimizzando i rischi di progetto di potenziali investitori

REPUBBLICA CECA

- **In centrale nucleare di Temelin primo SMR con reattore Rolls Royce PWR 470 MW in servizio intorno al 2035-**
- **Alleanza strategica con Rolls Royce per sviluppare fino a 3 GW di reattori con una supply chain con importanti contenuti di subforniture dalla repubblica CECA anche per applicazioni estere.**

SUD COREA

**Progetto nazionale per sviluppare l'i-SMR innovativo PWR 170 MW .
Over Night Cost stimato di 3500\$/kW e vita di 80 anni ;
Fine 2028 approvazione design con il primo FOAK in servizio nel 2037.
Tempo stimato di 3,5 anni per costruzione di centrale di 4 moduli**

ITALIA

- Recente accordo di Maire/ Nextxchem con EdF/Nuward per sviluppo e realizzazioni dell'SMR Nuward PWR da 400 MW**
- Recente accordo di Ansaldo Energia e Ansaldo Nucleare con Arabelle Solutions, Framatome (EDF) e Tractebel, per sviluppi dell'SMR Nuward da 400 MW**
- Newcleo è attiva con il supporto di ENEA per un AMR da 200 MW tipo LFR proposto anche in Francia e Stati Uniti dopo l'abbandono dell'Inghilterra per la tecnologia LFR.**

RUSSIA (meriterebbe una presentazione ad hoc con la Cina)

Precursora degli SMR e si propone di diventare leader mondiale nel loro impiego locale e all'estero con il colosso [Rosatom](#) e sfruttando tecnologie collaudate nelle navi rompighiaccio -

Varie applicazioni con componenti standardizzati

- **Cavalli di battaglia i reattori**
PWR 35 MWe galleggiante , da anni in esercizio nel Mar Artico
PWR 55 MWe in costruzione in Siberia in servizio nel 2028.
- **Export di nicchia** piccoli sistemi elettrici ,aree isolate, industrie , soluzioni galleggianti. In particolare **accordi in discussione per realizzazioni in India,Iran,Myanmar , Kazakistan e in Kirghizistan (piccoli impianti nucleari e parchi eolici integrati).**

In Uzbekistan 6 reattori da 55 MW con inizio lavori nel 2026

• **NOTE SU ALCUNI INSUCCESSI DI SMR e GEN IV reactors**

non per minimizzare l'importanza fondamentale di investimenti in ricerca e sviluppo ma per sottolineare quali sfide ci aspettino .

- **Nu Scale in US** nata nel 2007 -Ottenuta dopo 4 anni nel 2020 con fondi statali la design certification. Vari accordi e contratto in Idaho per centrale da 6 moduli da 77MW. 7000 \$/kW iniziali saliti a 20000 \$/kW nel 2023 con annullamento del progetto
- **Ultra Safe Nuclear Corporation (USNC) in US** nel campo microreattori da 1,5 a 15 MW:decretato fallimento in ottobre 2024
- **In UK consorzio con capo fila Urenco** per un micro SMR HTR da 10 MWt .Prevista entrata in servizio nel 2028 di un prototipo, fallito nel 2023 il consorzio per difficoltà di trovare investitori
- **in Argentina** 18000\$/kW raggiunti e forse chiusura del CAREM
- **in India** situazione critica per il FB reactor dopo 21anni da inizio costruzione

UE-COSTI/TEMPI DI REATTORI IN COSTRUZIONE O DA NUOVI CONTRATTI

-Hinkley Point C in UK -2 EPR da 1650 MW -4 anni per approvazioni (del progetto e per la regolazione nucleare del sito). **Nel 2017 inizio costruzione: stima di 18 miliardi di sterline** dal consorzio EDF Energy (74.9%) e China General Nuclear Power Group (25.1%); **al 2025 si prevedono ritardi di almeno 6 anni e costo salito a £ 35 miliardi - CAPEX** al cambio attuale **12200 €/kW e LCOE da me valutato in 174 € /MWh**; rimarcate forti forniture a industrie locali e notevole personale inglese per costruzione

-Piano nucleare francese del 2022 per 9900MW da 6 nuovi reattori EPR 2 da 1650 MW di Gen III+ con 2 reattori in ciascuno di 3 siti nucleari esistenti seguiti poi in futuro da altri 8 reattori. Richiesta iniziale di EdF Framatome nel **Marzo 2023 di € 53 miliardi**. con **primo reattore previsto in servizio a Penly nel 2038** e gli altri 5 ad inizi degli anni 2040. **A Dicembre 2025 aggiornamento a 72,8 miliardi di euro; CAPEX di circa 7300 €/kW e LCOE da me valutato in 105 €/MWh. Dubbi per i costi/tempi del nuovo EPR2 che alcuni considerano ancora un FOAK.**

-UNGHERIA: nel 2023 ordine di € 12,5 miliardi per 2 reattori russi da 1200 MW nella centrale nucleare di Paks con finanziamento russo
5200 €/kW con un LCOE da me valutato di 75 €/MWh) ;
esercizio previsto nel 2030
.La CE a dicembre 2025 ha annunciato una dettagliata indagine.

-REPUBBLICA Ceca: dopo 10 anni di analisi e trattative per nuovi reattori da 1000 MW da aggiungere a centrali nucleari esistenti ed esclusione finale di russi e cinesi , il 4 giugno 2025 contratto con i sud coreani di KHNP da \$18,6 miliardi per 2 reattori APR-1000.

Inizio di costruzione della prima unità nel 2029 e collegamento alla rete per il 2036.

CAPEX di 7900 €/kW con un LCOE da me calcolato di 113 €/MWh.-
EdF ha fatto ricorso più volte alla CE contro la propria esclusione e anche Westinghouse per uso di propri brevetti ; recentemente **la CE** ha deciso di aprire una inchiesta anche su finanziamenti statali

COSTI PER SMR IN COSTRUZIONE O IN ORDINE DEFINITO NEL MONDO OCCIDENTALE

-In costruzione nel mondo occidentale solo il già accennato **CAREM** di circa 32 MWe in **Argentina** : con completo progetto Argentino e con il 75 % dei componenti fabbricati in Argentina
.Partenza della costruzione nel 2014 con escalation di ritardi e costi arrivati a 18000 \$/kW; entrata in servizio nel 2027 dubbia(tagli fondi dal presidente Milei)

-In Canada in Ontario in fase di inizio costruzione l'aggiunta di 4 reattori GE Vernova BWRX da 300MW nella centrale nucleare di Darlington come sopra accennato; investimento previsto ad oggi di 21 billion \$ canadesi pari 12.4 miliardi di euro per 1200 MW con **CAPEX di 10300 €/kW con LCOE=123 €/MWh** con la procedura di calcolo da me considerata.

COMMENTI FINALI E CENNI AD APPROCCIO ITALIANO

- **Russia e Cina dominano mercato attuale dei grossi reattori di GEN III + ma anche le nuove tecnologie SMR,AMR e GEN IV ; tempi e specie costi pari ad una frazione di quelli di fornitori del mondo occidentale(escludendo i Sud Coreani) .**
- **In 3 decenni in Europa e US quasi nulla l'attività in nuovi impianti nucleari in una diffusa cultura antinucleare con forti aumenti di tempi e costi .**
Lunghi tempi in UE ed US per ricreare una adeguata forza lavoro esperta come in Russia e specie in Cina che nelle richieste di brevetti nucleari a livello mondiale depositati supera il 50% del totale.
- **Per produzione e trasporto di elettricità da sempre sfruttato l'effetto scala di aumento della potenza del singolo impianto per ridurre i costi del kWh .**

- Nel nucleare spinta in vari paesi
 - sia verso soluzioni SMR con moduli prefabbricati di piccola taglia con effetto scala basato sull'aumento dei moduli venduti
 - sia verso AMR di IV GEN con notevoli sfide e problematiche per materiali e supply chain di combustibili.
- Quale reale effetto scala senza concentrarsi a livello UE su pochissime tipologie tra le oltre 100 attuali a livello mondo?
- Recente accordo di ONR(Office Nuclear Regulation) UK con Nuclear Regulatory Commission(NRC) US per minimizzare tempi e costi di certificazione di reattori e siti e garantendo adeguato mercato e scambi info funzionamento. ESEMPIO PER ITALIA QUANDO AVRA' AUTORITA' NUCLEARE
- Notare tempi e costi nel mondo occidentale per aggiunta di nuovi reattori per di più in siti nucleari esistenti e con ben staffata autorità da decenni

-In Italia attuale approccio appare senza tempi chiari tra

- . tipologie fattibili a breve minimizzando rischi per tempi e costi del kWh nucleare**
- e investimenti in ricerche / prototipi per il medio e più lungo periodo**

-In ogni caso per un efficace approccio occorre investire in

- campagne di comunicazione per un consenso sul nucleare**
- e super celere strutturazione di una autorità con procedure e liabilities per impianti dalla culla (certificazione reattori e siti) e poi costruzione ed esercizio fino alla tomba (dismantling e contributi a depositi di rifiuti radioattivi)**
- eventuale revisione di regole del mercato elettrico che evitino discriminazioni tra tecnologie con diversi valori di LCOE e di costi aggiuntivi per un kWh sicuro all'utente finale e di qualità e rispettoso dell'ambiente**

PER SOLUZIONE CON SMR/AMR prevista, verificare i costi di molte piccole unità in siti diversi (notevole impatto di costi/tempi pre CAPEX sul kWh prodotto) rispetto a più unità modulari o grossi reattori referenziati in molto minori siti .

- **Evitare contrapposizioni ideologiche tra nucleare e rinnovabili aleatorie in forte sviluppo e con costante riduzione del loro LCOE-**

Seri studi per ottimizzare nel tempo un loro mix che minimizzi il costo del kWh all'utente finale ed altri costi energetici(es fornitura calore oltre elettricità)

- **Per indispensabili alleanze internazionali che massimizzino il contenuto delle nostre valide imprese del settore, quali scelte o impossibilità di scelte per problemi geopolitici imposti dalla UE in una fase di approcci autarchici? Solo paesi UE come partners? Esclusione di Russia ma anche di Cina e Sud Corea? E Stati Uniti? E UK?**
- **Approcci senza gare con collaborazioni viste sopra?**

**GRAZIE PER LA VOSTRA
ATTENZIONE E PAZIENZA**