



Giornata AIN

Roma

15 Dicembre 2021

INYG



Italian Nuclear Young Generation

Alcuni *highlights* del 2021:

- ❑ Support to Nuclear for Climate initiative together with the European Nuclear Society: translation into Italian of COP26 Position Paper and advertising of the Nuclear for Climate initiative on the AIN website and on social channels

Formazione e Trasmissione di competenze

- ❑ Endorsement e promozione del programma **ENEN+ Project training** (<https://plus.enen.eu/>) (March 2021)
- ❑ Partecipazione con un suo membro nominato al prestigioso **ENS PhD Award**, organizzato dal Comitato Scientifico della European Nuclear Society

Deposito Nazionale

- ❑ Pubblicazione del *Position Paper* a supporto della localizzazione e della realizzazione del Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi e dell'annesso Parco Tecnologico
- ❑ Partecipazione al Seminario Nazionale (<https://www.seminariodepositonazionale.it/>)



<https://www.ensygn.org/>



<https://www.iync.org/>

CURRENT STATUS

442 NUCLEAR POWER REACTORS
IN OPERATION

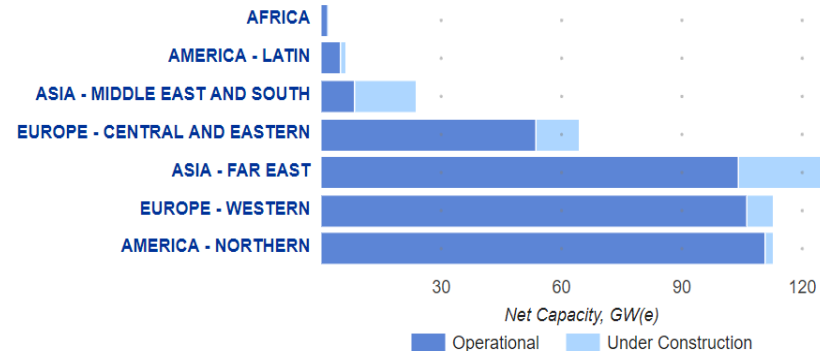
394 467 MWe TOTAL NET INSTALLED
CAPACITY

51 NUCLEAR POWER REACTORS
UNDER CONSTRUCTION

53 870 MWe TOTAL NET INSTALLED
CAPACITY

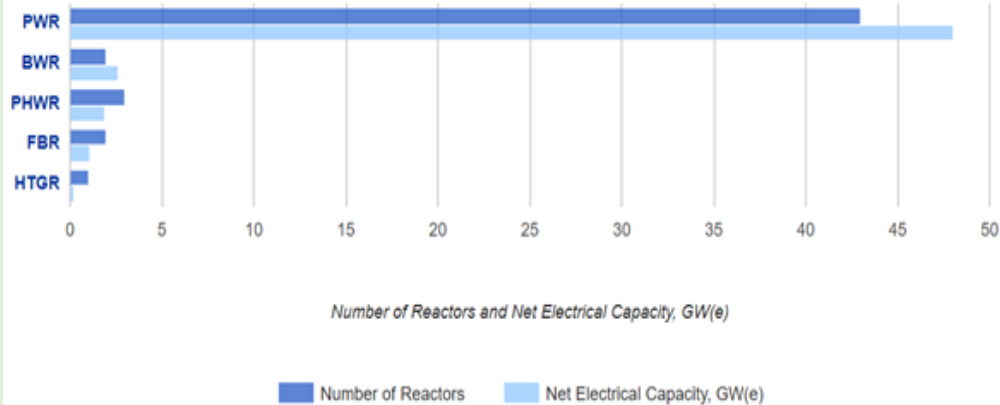
19 162 REACTOR-YEARS OF
OPERATION

REGIONAL DISTRIBUTION OF NUCLEAR POWER CAPACITY

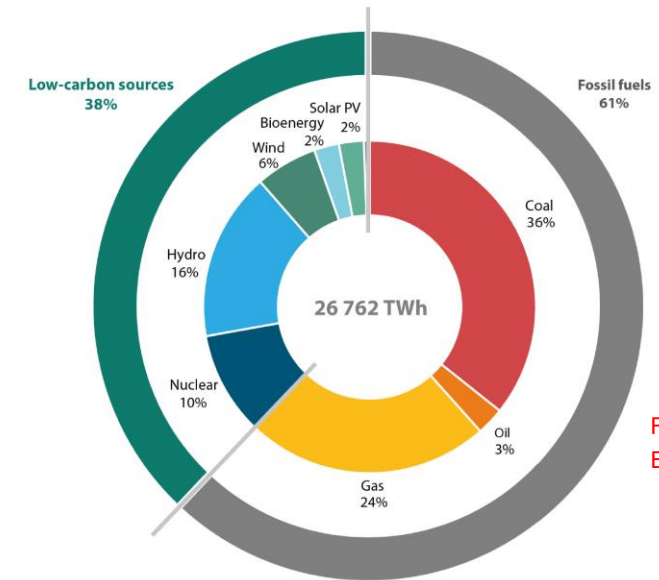


Fonte: IAEA PRIS-Power Reactor Information System, <https://pris.iaea.org/pris/>

UNDER CONSTRUCTION REACTORS



A giugno 2021 risultavano, inoltre, 220 reattori da ricerca in funzione, in 53 paesi. Altri 11 sono in costruzione e 16 in programma.



Produzione
mondiale di
elettricità
nel 2020

Fonte: IEA (2021), World
Energy Outlook 2021.

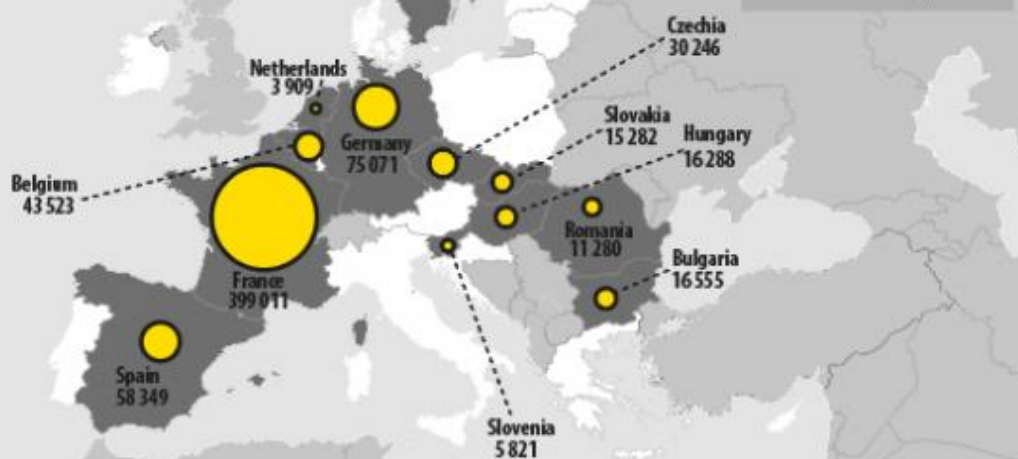
Reactor type	Main countries	Number	GWe	Fuel	Coolant	Moderator
Pressurised water reactor (PWR)	USA, France, Japan, Russia, China, South Korea	305	290.5	enriched UO ₂	water	water
Boiling water reactor (BWR)	USA, Japan, Sweden	62	63.1	enriched UO ₂	water	water
Pressurised heavy water reactor (PHWR)	Canada, India	49	24.5	natural UO ₂	heavy water	heavy water
Advanced gas-cooled reactor (AGR)	UK	12	6.6	natural U (metal), enriched UO ₂	CO ₂	graphite
Light water graphite reactor (LWGR)	Russia	12	8.4	enriched UO ₂	water	graphite
Fast neutron reactor (FBR)	Russia	2	1.4	PuO ₂ and UO ₂	liquid sodium	none
TOTAL		442	394.6			

Fonte: WNA – World Nuclear Association, <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclear-power-reactors.aspx>

Nuclear energy in the EU



765 337 GWh
 gross nuclear electricity production
 EU-27 Member States with nuclear electricity production
 Nuclear electricity production (GWh)
 EU-27 Member States with no nuclear electricity production



14 EU Member States without nuclear electricity production:

Denmark, Estonia, Ireland, Greece, Croatia, Italy, Cyprus, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Austria, Poland, Portugal.

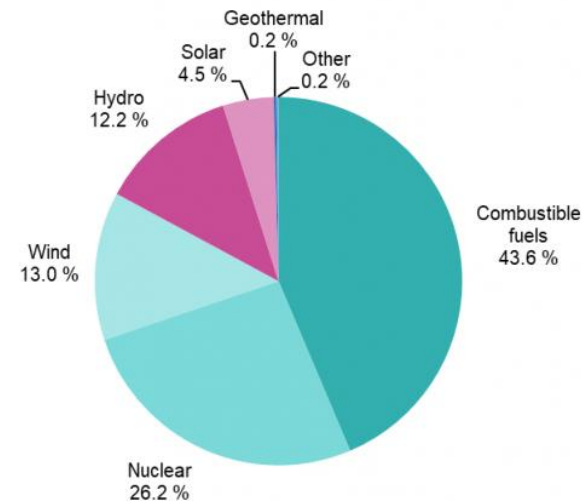
Data for 2019.

Source: Eurostat (nrg_inf_nuc)

ec.europa.eu/eurostat

Il 26% dell'energia elettrica della UE deriva dalla fonte nucleare

Net electricity generation, EU, 2019
(%, based on GWh)

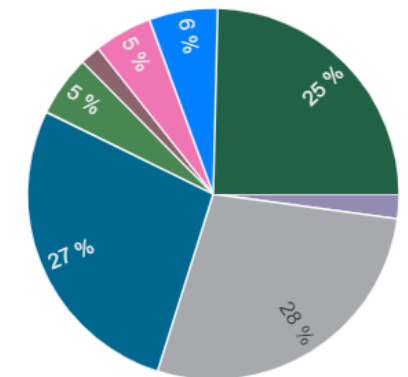


Source: Eurostat (online data code: nrg_ind_peh)

eurostat

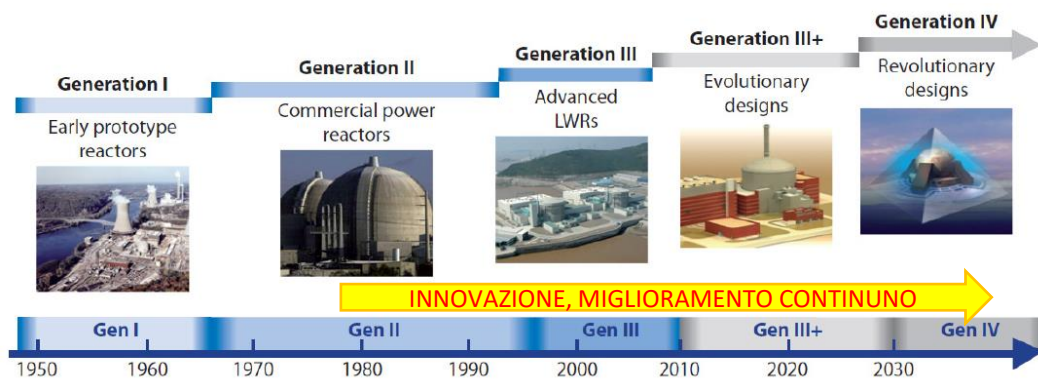
Mix elettrico dei 38 paesi OCSE

Power station (2019)
Total: 88 009 PJ



Oil products
 Oil
 Coal
 Natural gas
 Biofuels and waste
 Geothermal
 Solar/tide/wind
 Hydro
 Nuclear

Fonte: www.iea.org



Fonte: <https://www.gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/2014-03/gif-tru2014.pdf>

Formalmente
la III Gen è
operativa in
Giappone già
dal 1996

Principali operatori nel mercato dei reattori con caratteristiche di III Gen/III Gen+	
Fornitore	Modelli in commercio
EDF (Framatome) 	EPR2, Atmea1, Kerena
Westinghouse 	AP1000
GE Hitachi 	ABWR, ESBWR, PRISM
KHNP 	APR1400, EU-APR
Mitsubishi 	APWR, Atmea1
Rosatom 	AES-92, AES-2006, VVER-TOI
SNC-Lavalin 	EC6
CNNC & CGN 	Hualong One
SNPTC 	CAP1400



EPR presso la centrale nucleare di Flamanville (Francia). Photo courtesy EDF Médiathèque

Altri reattori

Developer	Reactor	Size – MWe gross	Design progress, notes
GE Hitachi	ESBWR	1600	Planned for Fermi and North Anna in USA. Developed from ABWR, but passive safety systems. Design certification in USA Sept 2014.
Mitsubishi	APWR	1530	Planned for Tsuruga in Japan. US design certification application for US-APWR, but delayed. EU design approval for EU-APWR Oct 2014.
Areva & Mitsubishi	Atmea1 (PWR)	1150	Originally designed for Sinop in Turkey. French design approval Feb 2012. Canadian design certification in progress.
Candu Energy	EC6 (PHWR)	750	Improved CANDU-6 model. Canadian design certification June 2013.
OKBM	VVER-600	600	Planned for Kola.

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION

Reattori in esercizio e in costruzione

Developer	Reactor	Size – MWe gross	Design progress, notes
GE Hitachi, Toshiba	ABWR	1380	Commercial operation in Japan since 1996-7. US design certification 1997. UK design certification application 2013. Active safety systems.
KHNP	APR1400 (PWR)	1450	Operating at Shin Kori 3&4 in South Korea and at Barakah in UAE. Under construction: Shin Hanul 1&2 in South Korea. Korean design certification 2003. US design certification August 2019.
Gidropress	VVER-1200 (PWR)	1200	Operating at Novovoronezh II and Leningrad II in Russia, and at Ostrovets in Belarus. Under construction at Akkuyu in Turkey and Rooppur in Bangladesh.
OKBM	BN-800	880	Beloyarsk 4, demonstration fast reactor and test plant.
Westinghouse	AP1000 (PWR)	1250	Four units operating in China; two under construction in the USA; many units planned in China (as CAP1000).
Framatome (& EDF)	EPR (PWR)	1750	Two units operating in China, under construction in Finland, France and UK.
CNNC & CGN	Hualong One (PWR)	1170	Main Chinese export design, operating at Fuqing in China, and at Karachi in Pakistan.

Altri reattori in costruzione

Developer	Reactor	Size – MWe gross	Design progress, notes
Gidropress	VVER-TOI (PWR)	1255	Under construction at Kursk II, planned for Nizhny Novgorod and many more in Russia.
INET & CNEC (China)	HTR-PM, HTR-200 module	2x105 (one module)	Demonstration plant being built at Shidaowan.
SNPTC	CAP1400/Guohe One	1500	Demonstration plant being built at Shidaowan.

Fonte: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/advanced-nuclear-power-reactors.aspx>



Fonte: <https://www.westinghousenuclear.com/new-plants/ap1000-pwr>



EPR presso la centrale nucleare di Flamanville (Francia).
Photo courtesy EDF Médiathèque



Rendering di una centrale nucleare con 2 unità APR-1400
(Fonte: KHNP)



Fonte: <https://www.westinghousenuclear.com/new-plants/ap1000-pwr>

Caratteristiche salienti dei reattori di terza generazione (miglioramenti rispetto alla generazione precedente) :

- Maggiore ricorso alla **standardizzazione nei componenti e del layout di impianto** per accelerare la concessione di licenze, ridurre i costi di capitale e ridurre i tempi di costruzione.
- **Design più semplice e robusto**, orientato alla rapidità di intervento e manutenzione: meno vulnerabili a problemi operativi.
- **Fattori di utilizzo più elevati e vita operativa più lunga**, in genere 60 anni.
- Probabilità di incidenti che comportano la fusione del nocciolo, ulteriormente ridotta e introduzione di nuovi sistemi di mitigazione degli incidenti severi
- In seguito ad arresto veloce l'impianto non necessita di alcun intervento attivo per (tipicamente) 72 ore.
- **Migliore sfruttamento del combustibile** (bruciamento del fissile)
- Edifici di contenimento ulteriormente rinforzati per resistere all'impatto con aeromobili
- caratteristiche di **sicurezza passiva o intrinseca** che non richiedono controlli attivi o interventi da parte dell'operatore in caso di malfunzionamento: i sistemi di sicurezza fanno affidamento sulla gravità, sulla convezione naturale o sulla resistenza alle alte temperature.
 - Progettazione ottimizzata per "seguire" il carico: potenzialmente l'unità può variare la sua potenza in uscita dal 25% al 100% in meno di 30 minuti per meglio adattarsi alle richieste della rete (caso dell'EPR di EDF-Framatome)
 - Modularità dei componenti e dei sistemi: ampio ricorso al pre-assemblaggio e al test in fabbrica. I moduli (alcuni fino a 1000 t) sono già progettati per facilitarne il trasporto e l'installazione: ciò comporta una riduzione dei tempi di costruzione in sito (caso dell'AP-1000 di Westinghouse).



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
State Atomic Energy Corporation "Rosatom"

Reattori di piccola taglia modulari



Rendering di una centrale nucleare con 2 unità APR-1400 (Fonte: KHNP)



Rendering Westinghouse SMR (Fonte: IAEA SMR-Book 2020)

❑ Carico di base e incremento della domanda di elettricità



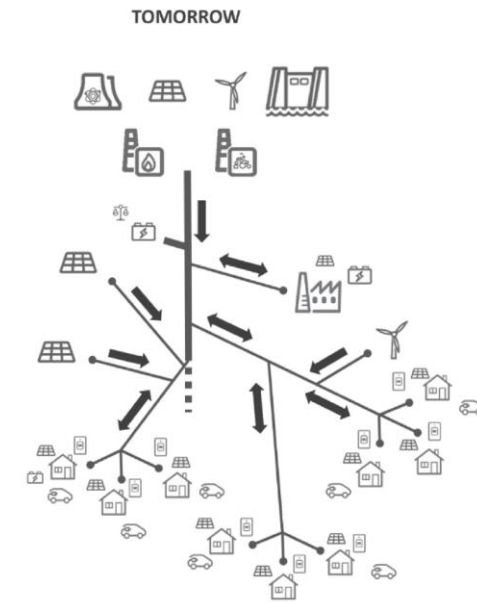
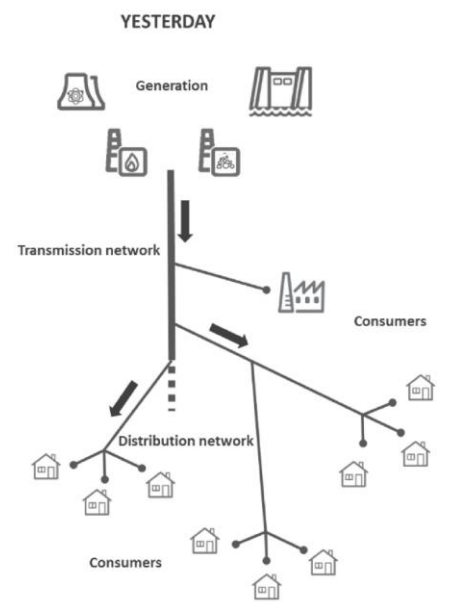
❑ Probabile installazione in paesi con consolidata produzione elettronucleare, in sostituzione/aggiunta ai reattori di II Gen

❑ Probabile installazione in paesi con piccola/nessuna produzione elettronucleare, in sostituzione/aggiunta ad impianti convenzionali a gas, bilanciamento di fonti intermittenti,



❑ Decarbonizzazione di alcuni comparti industriali (es. calore di processo per industria di base), supporto alla produzione industriale del vettore idrogeno.

❑ Carico di base e incremento della domanda di elettricità (nel medio lungo periodo)



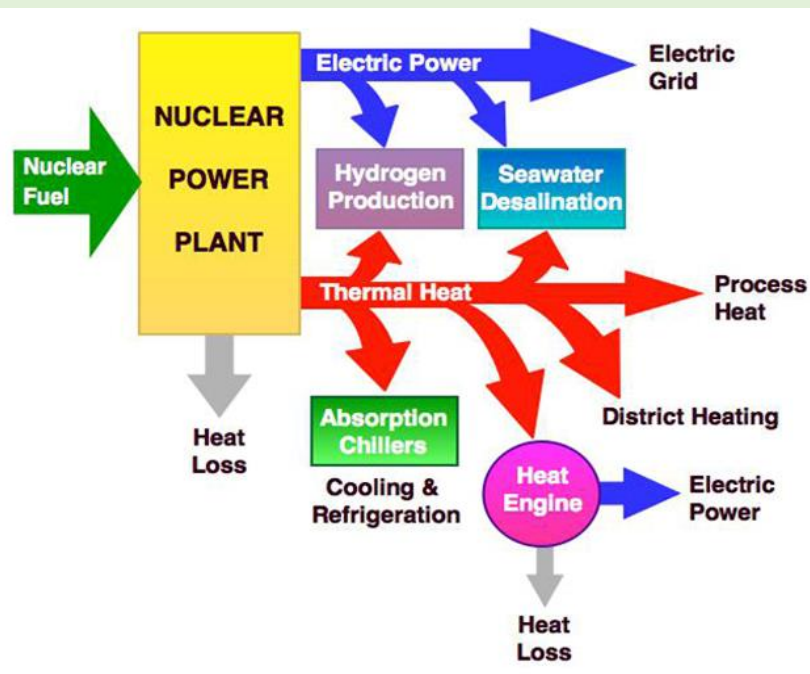
Evoluzione dei sistemi elettrici (Fonte: *Advanced Nuclear Reactor Systems and Future Energy Market Needs*, OECD-NEA 2021)



Altri usi NON - elettrici

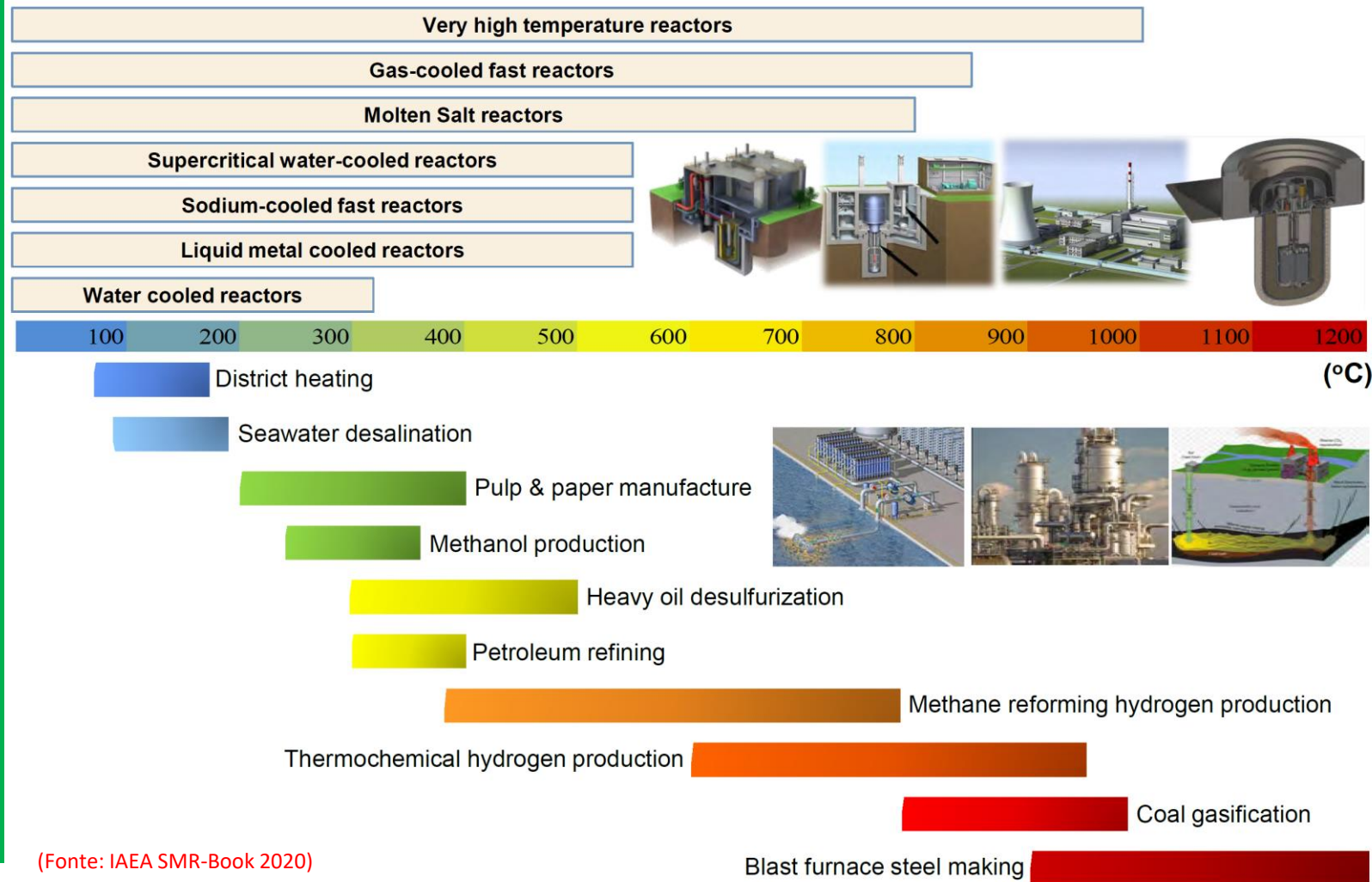
I REATTORI MODULARI ampliano lo spettro delle applicazioni dell'energia nucleare

Altri usi NON – elettrici dell' energia nucleare



<https://www.iaea.org/topics/non-electric-applications/industrial-applications-and-nuclear-cogeneration>

Potenziali usi NON elettrici degli SMR

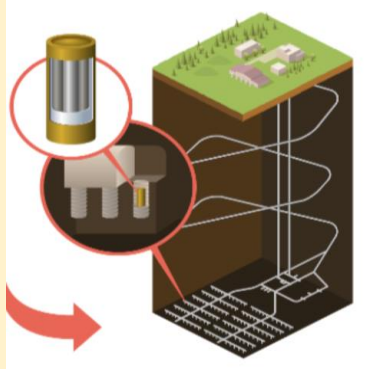


(Fonte: IAEA SMR-Book 2020)

Smaltimento diretto (open cycle)

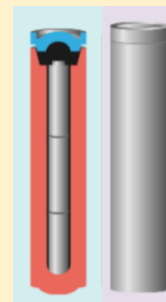
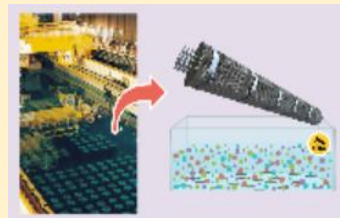


- ❑ Gestione complessivamente più semplice a costi più bassi (in alcuni casi)
- ❑ conveniente per prezzi dell'Uranio bassi
- ❑ Disponibilità di aree di stoccaggio

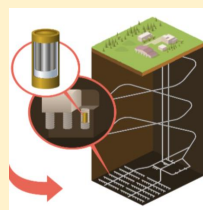


- ❑ Deposito geologico di grandi dimensioni, costi di realizzazione maggiori, scelta limitata di aree, caratteristiche peculiari, accettabilità sociale

Riprocessamento (closed cycle)

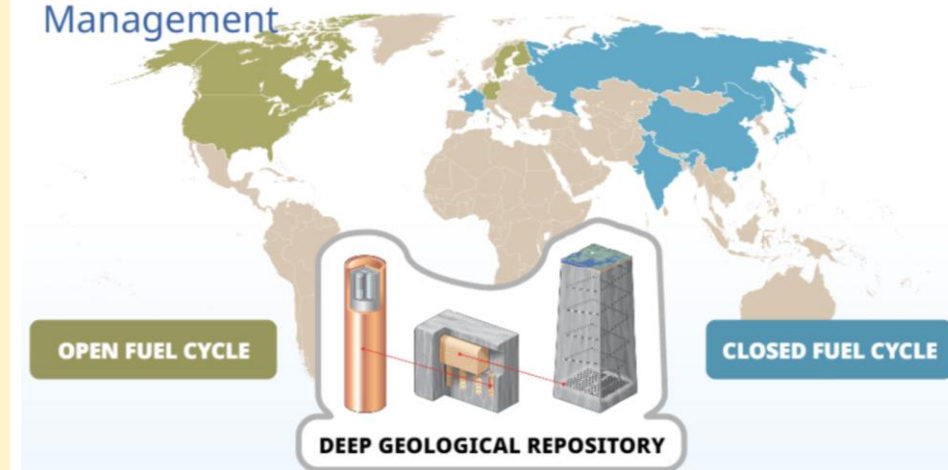


- ❑ Recupero del fissile e del 95 % in massa del «materiale utile» alla fabbricazione del nuovo combustibile
- ❑ Costi di gestione più alti ma NON proibitivi
- ❑ Logistica più complessa
- ❑ Costo di produzione dell' uranio e dell' arricchimento più basso.
- ❑ Disponibilità di aree di stoccaggio temporaneo

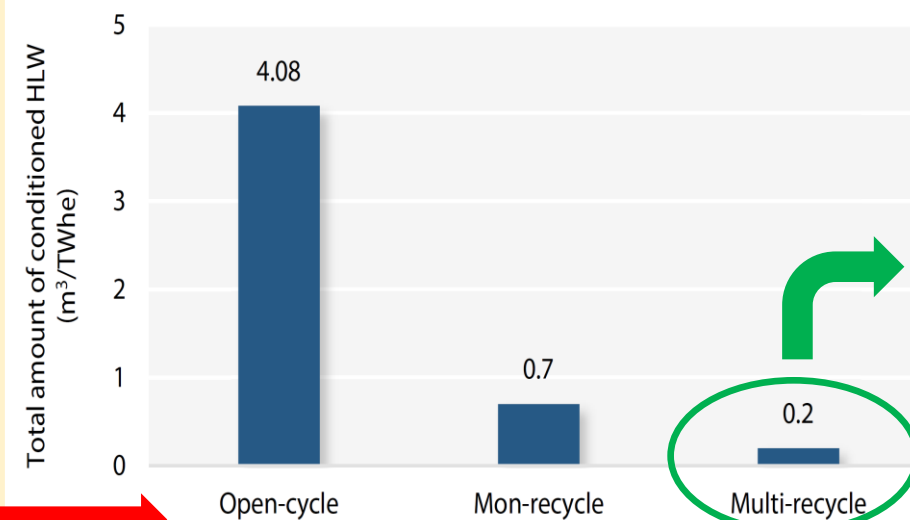


- ❑ Medesime problematiche ma **quantitativi di HLW ridotti**, deposito più piccolo

Strategic Options for Spent Nuclear Fuel Management



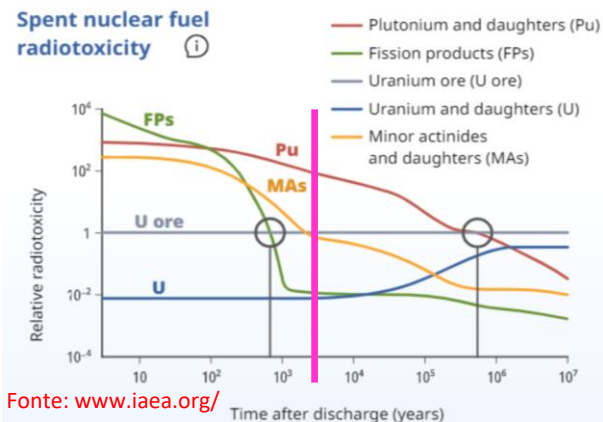
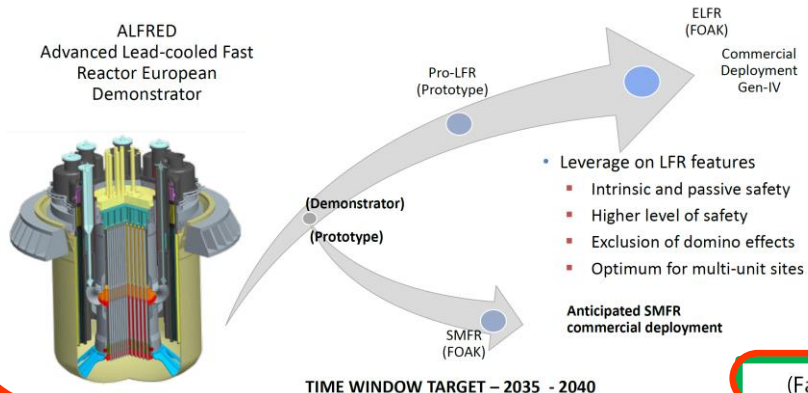
Immagini tratte da: <https://www.iaea.org/>



Fonte: *Strategies and Considerations for the Back End of the Fuel Cycle*, NEA-OECD 2021

ALFRED: a LFR Demo with SMR-oriented features

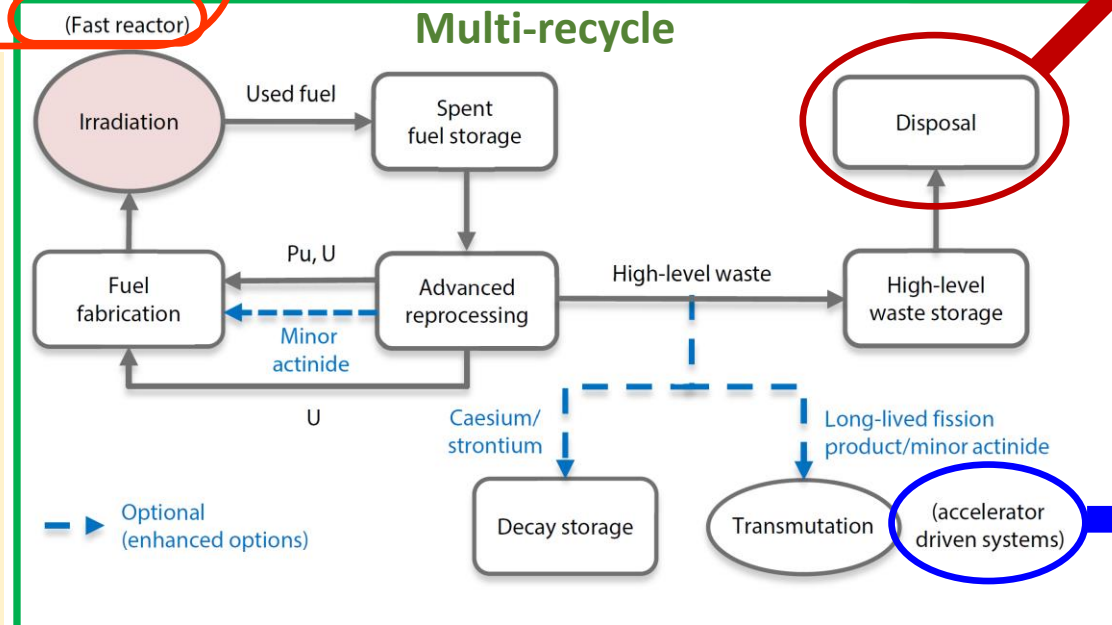
Fonte: <https://www.gen-4.org/>



- Smaltimento a media profondità previsto solo per alcuni stream (~FPs), volumi degli HLW 1000 volte inferiori, **RADIOTOSSICITA' ridotta di un fattore 100 (*)**
- Requisiti geologici non più richiesti, dimensioni e complessità del deposito sotterraneo fortemente ridotte. **Maggiore accettabilità sociale**

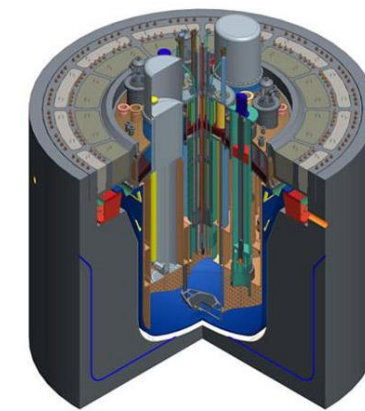
Un nuovo paradigma nucleare

- Tempi medio-lunghi per l'entrata in servizio
- Incertezze sui costi
- R&D nuovi combustibili o «elementi bruciabili»
- R&D nuovi materiali compatibili con i metalli liquidi
- Modifica/upgrade dei metodi di separazione isotopica esistenti e Introduzione di nuovi metodi di riprocessamento (R&D)
- Riprogettazione della logistica di gestione dei RaW
- Layout di impianto dedicati (es. riprocessamento in prossimità del NPP)



Fonte: *Strategies and Considerations for the Back End of the Fuel Cycle*, NEA-OECD 2021

(*): *Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast Reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel Cycles, A Comparative Study*, NEA-OECD 2006



©SCK•CEN, 2014

Fonte: <https://ec.europa.eu/jrc/en/science-update/nuclear-data-needs-myrha-reactor>

- I **reattori nucleari di III Gen+** sono l'unica tecnologia allo stato dell' arte in grado di fornire elettricità a bassa emissione di carbonio e che può essere dispiegata nella scala e nei tempi necessari a raggiungere gli obiettivi di drastica riduzione delle emissioni di inquinanti e gas serra, così come programmati dalla UE.
- Gli SMR e le altre tipologie di reattori avanzati costituiranno invece il necessario **complemento** ai grandi reattori (deputati al mantenimento del carico di base della produzione elettrica), ampliando le applicazioni e gli scenari adatti all'uso dell'energia nucleare, nell'industria, a sostegno della filiera di produzione dell' idrogeno e della produzione di calore. Si prevede una rapida crescita del ruolo degli SMR nella decarbonizzazione negli anni 2030 e 2040, ossia a mano a mano che i vari progetti raggiungeranno la maturità commerciale.
- Per molti paesi, l'energia nucleare è e continuerà a costituire la spina dorsale dei loro sistemi energetici a basse emissioni di carbonio, garantendo energia pulita, disponibile e a basso costo, assicurando la stabilità dei prezzi e la crescita economica.
- La scelta ottimale sarebbe quella di un mix basato sugli attuali reattori di potenza LWRs e sui reattori di nuova concezione, la cui introduzione è destinata a crescere nel tempo. Tuttavia, anche per i paesi che intenderanno potenziare la quota nucleare del proprio sistema energetico o per quelli che la introdurranno, l'energia nucleare sarà una grande occasione di rilancio economico all' insegna di un vero sviluppo sostenibile.

Grazie per l'attenzione