POLITECNICO
MILANO 1863

Le prospettive dell'energia nucleare

NUCLEARE SOSTENIBILE: RICERCA, TECNOLOGIE, SCENARI E PROSPETTIVE

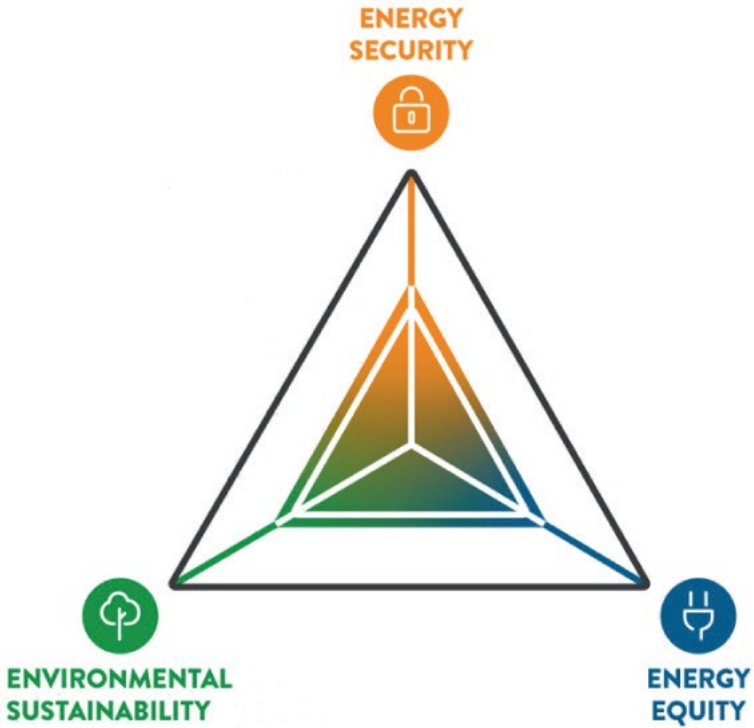
Roma
2024 Maggio 28

ENEA

prof. Marco Ricotti
Politecnico di Milano, Dept. of Energy
Nuclear Engineering division – Nuclear Reactors Group

Il «Trilemma Energetico» e il ruolo del nucleare

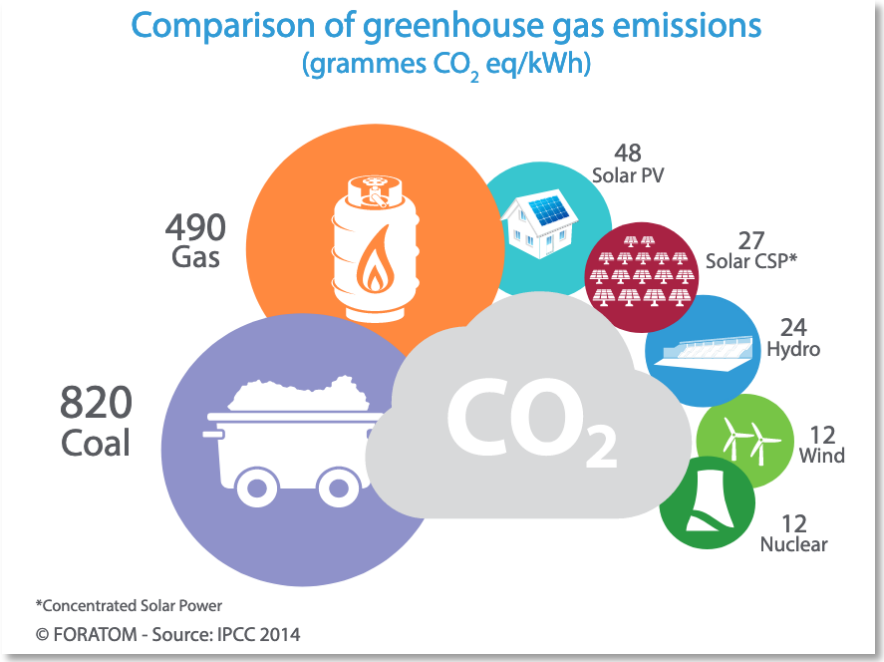
(I) Global warming **(II) Dipendenze strategiche** **(III) Ricadute economiche**



Il «Trilemma Energetico» e il ruolo del nucleare

I. Global warming

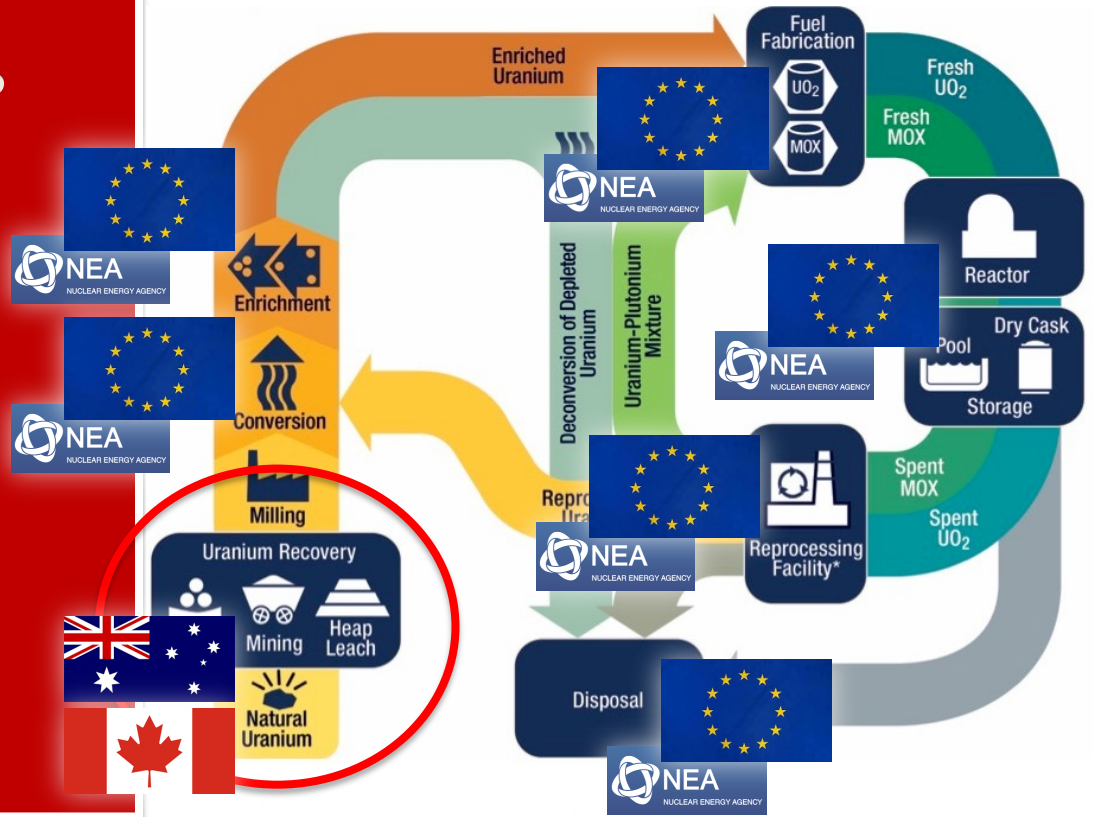
“ma il Nucleare danneggia l’ambiente…”



Il «Trilemma Energetico» e il ruolo del nucleare

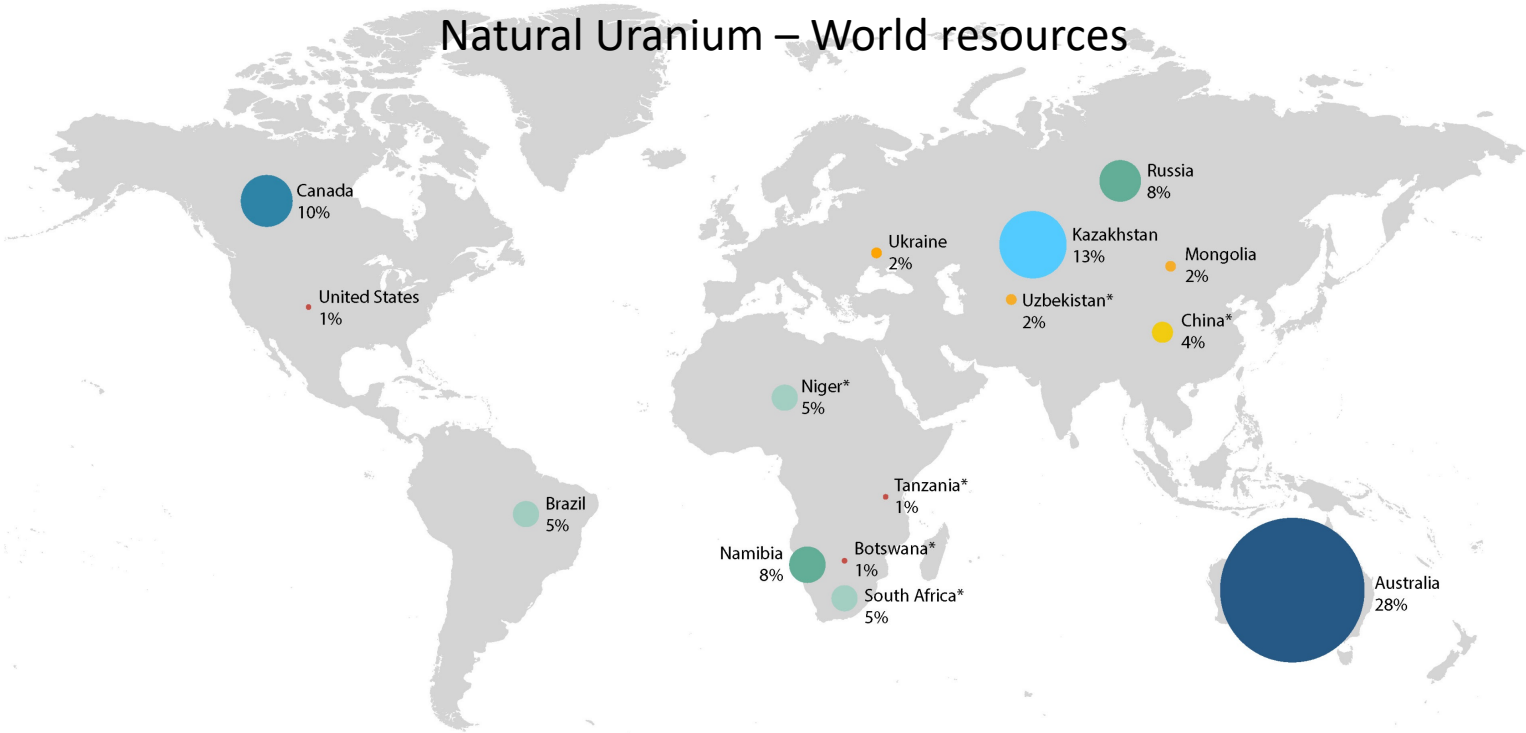
II. Dipendenza strategica

“ma il Nucleare è rischioso…”



II «Trilemma Energetico» e il ruolo del nucleare

II. Dipendenza strategica



IAEA / NEA, Uranium 2022: Resources, Production and Demand (Red Book), 2022

Il «Trilemma Energetico» e il ruolo del nucleare

III. Ricadute economiche

"ma il Nucleare non è economico..."

100

€ Billion/year

1

Million Jobs

Supply Chain

€94 bn
Direct impact

€451.4 bn
GDP generated by the nuclear sector in the EU

€357.4 bn
Indirect impact

Source: 2023 NuclearEurope

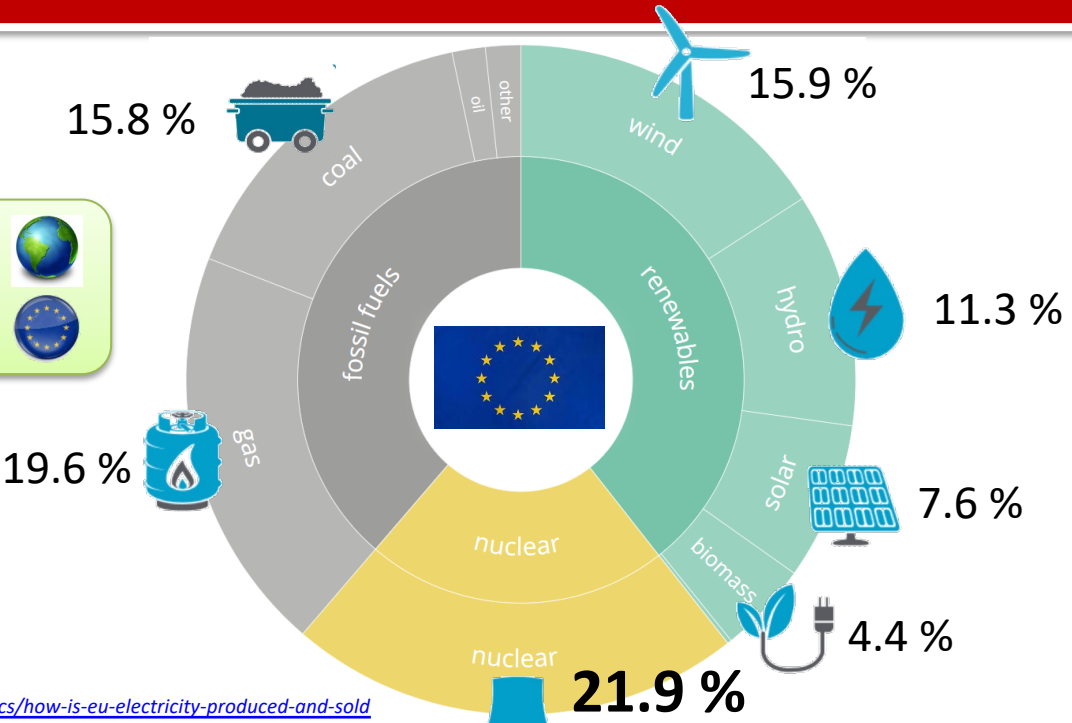
Il «Trilemma Energetico» e il ruolo del nucleare

Elettricità «green» in EU

"ma il Nucleare non è poi così importante..."

26%

36%



2023 Eurostat database

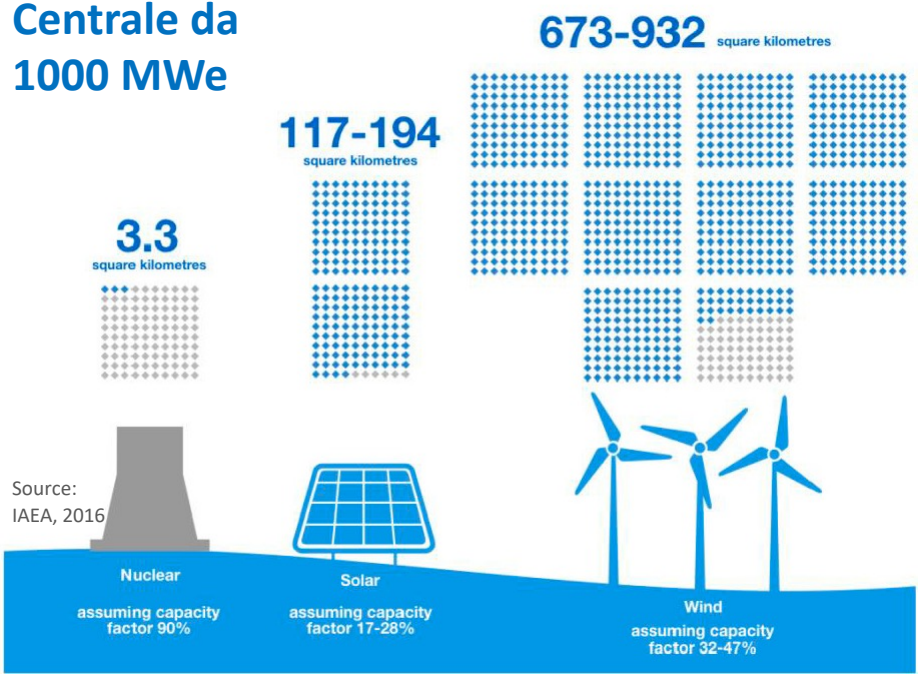
https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold

Il «Trilemma Energetico» e il ruolo del nucleare

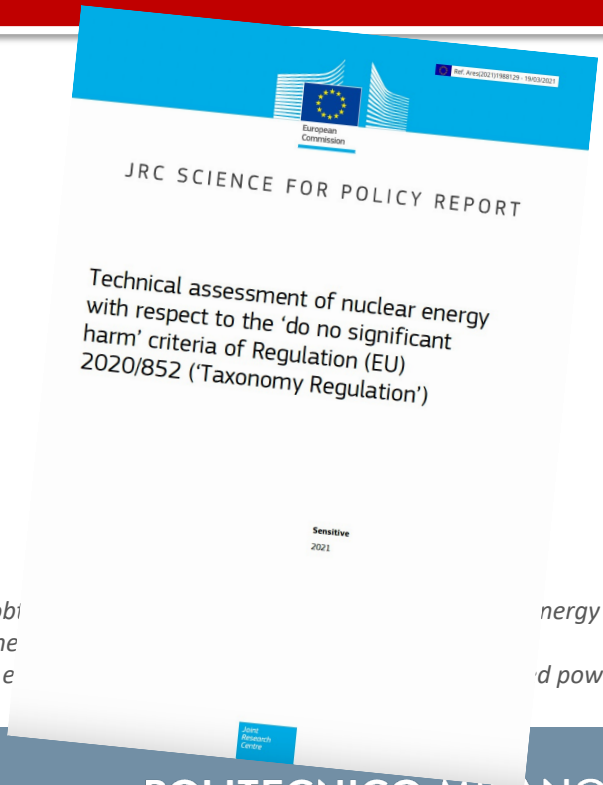
Uso del suolo

“ma il Nucleare danneggia l’ambiente-2…”

Centrale da 1000 MWe



Source: IAEA, 2016

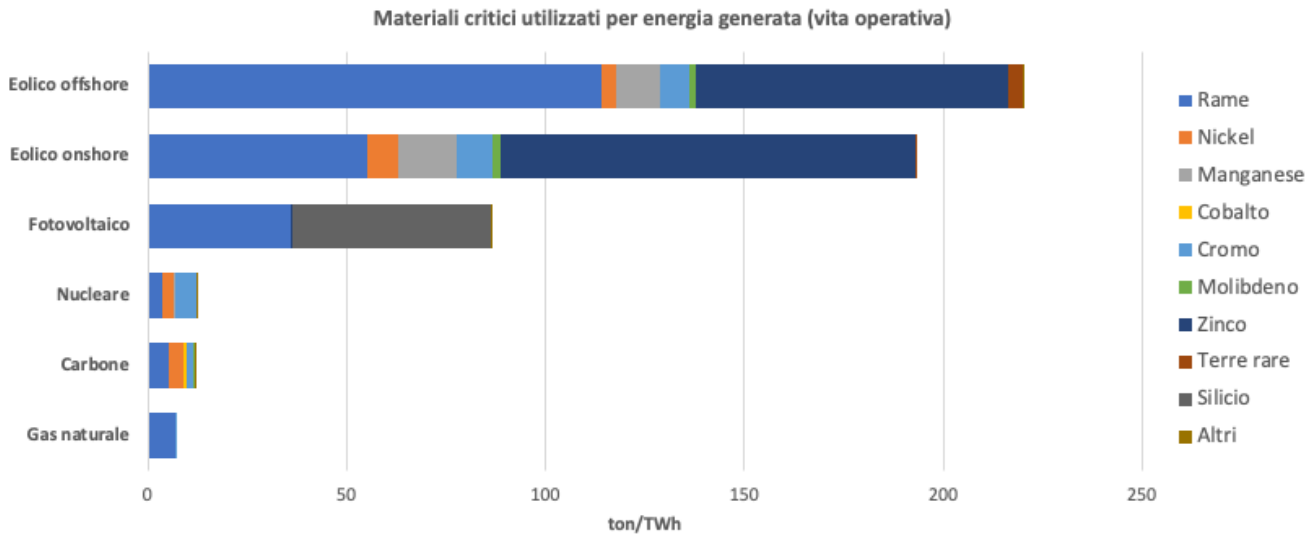


Note:
Surface needed to obt… …nergy production is different within the…
To obtain the same e… …d power + energy storage

Il «Trilemma Energetico» e il ruolo del nucleare

Uso di materiali critici

“ma il nucleare è rischioso-2…”

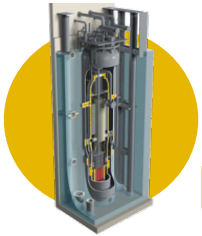


*Dati IEA, rielaborazione POLIMI: materiali critici **per elettricità prodotta** (intera vita operativa)*

Tecnologie nucleari: presente e futuro

Standard

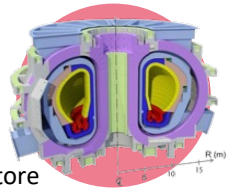
Quasi tutti i reattori oggi in funzione. Estensione della vita operativa (da 40 a 60-80 anni)



Small Modular Reactors

Piccola taglia (< 300 MWe), progettazione e costruzione modulari.

Fusione

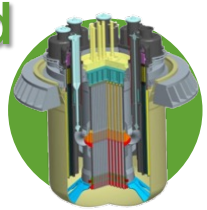


Primo reattore (commerciale) a fusione

Evolutivi

Alcuni già operativi (Cina, UAE, Corea Sud, Russia, India).
La maggioranza dei 59 reattori in costruzione nel Mondo

Advanced Modular Reactors



Raffreddamento a metallo liquido o a Sali fusi. Possibilità di riciclare i rifiuti a vita lunga e ad alta radioattività.

Aspetti economico-industriali del nucleare

“ma il Nucleare costa troppo e ci vuole molto tempo…”

EPR - Olkiluoto Unit 3

Start 2004 | Planned COD 2009 | Full Op. Apr. 2023

13+ Years Delay

Original Budget 3.2B€ | Expected 12 B€

8.8 B€ overrun, +270%

AP1000 - Vogtle Units 3 & 4

Start 2012 | Planned COD 2016 | Full Op. Jul. 2023

7+ Years Delay

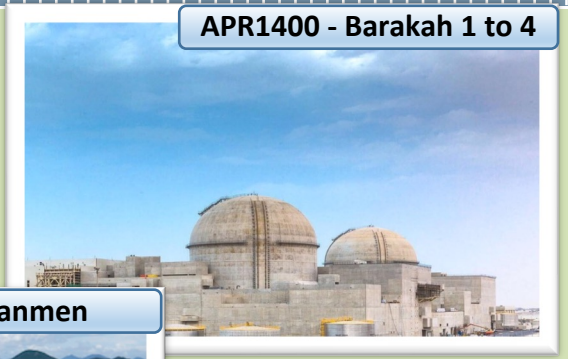
Original Budget 14B$ | Expected 26 B€

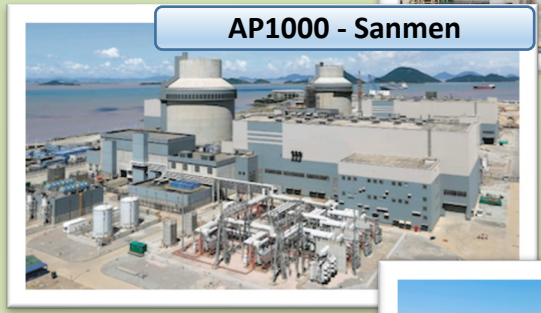
12+ B$ overrun, +85%

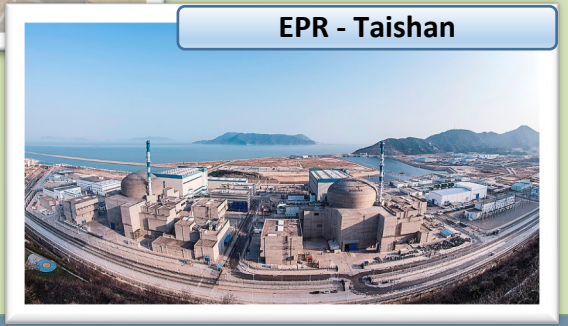
VC Summer: stopped

Aspetti economico-industriali del nucleare

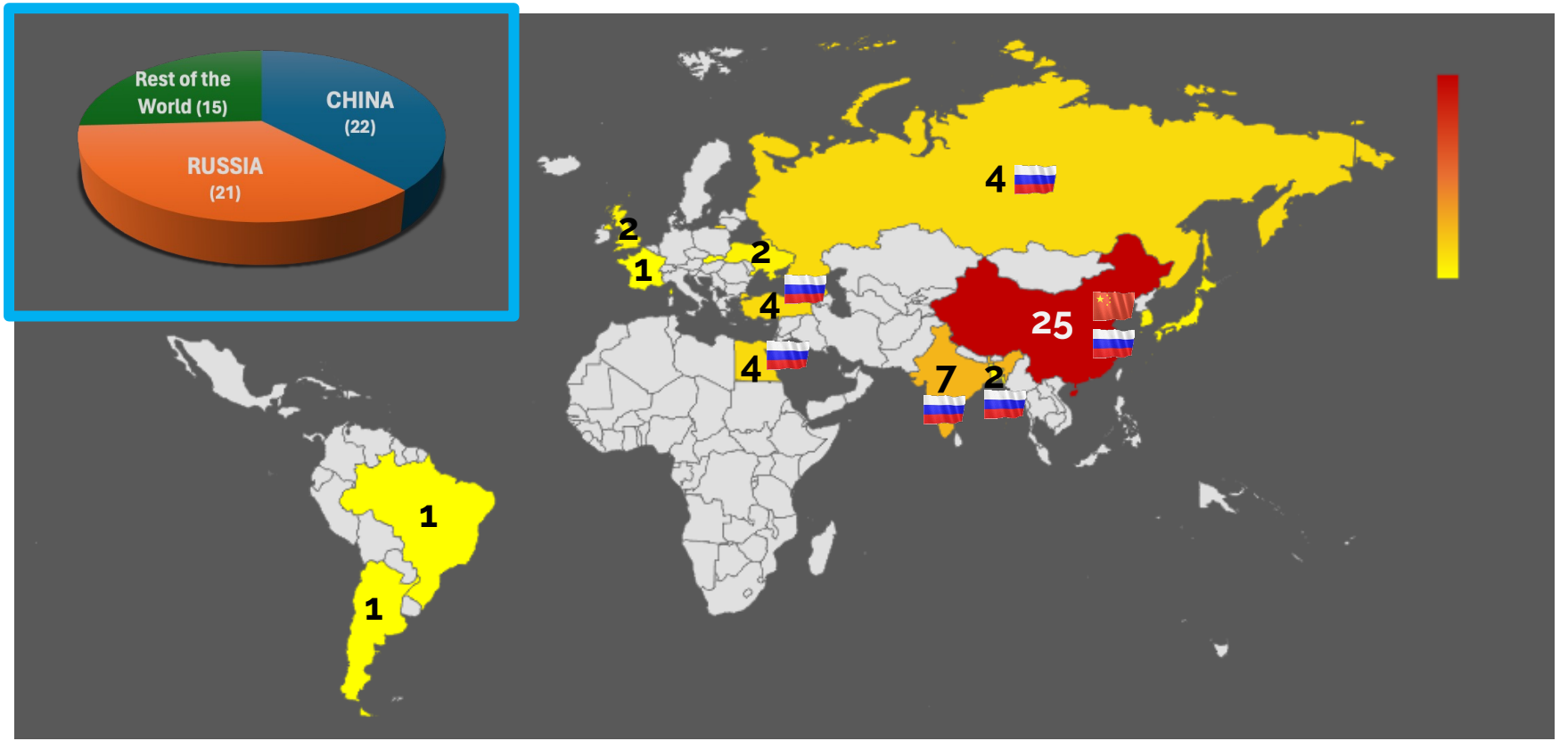
“ma il Nucleare costa troppo e ci vuole molto tempo…”







Reattori nucleari in costruzione nel Mondo (Maggio 2024)



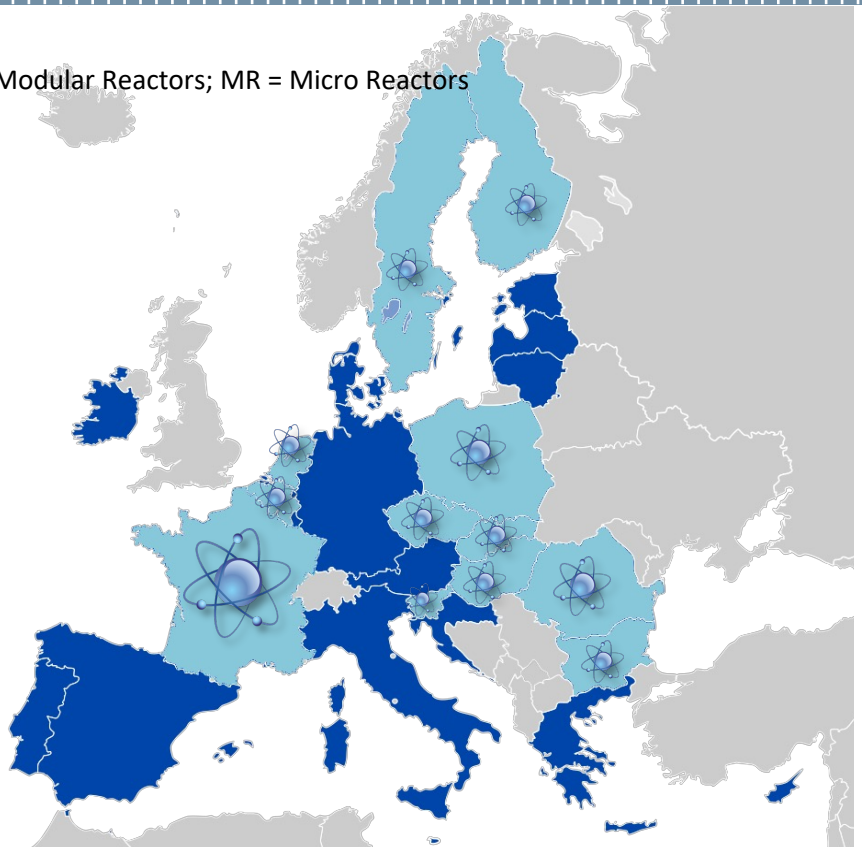
EU: interesse verso nuovi programmi nucleari

LR = Large Reactors; SMR = Small Modular Reactors; AMR = Advanced Modular Reactors; MR = Micro Reactors

Francia	(LR, SMR, AMR)
Svezia	(LR, SMR)
Belgio	(LR, SMR)
Finlandia	(LR, SMR)
Ungheria	(LR)
Bulgaria	(LR)
Rep. Ceca	(LR)
Romania	(LR, SMR)
Slovacchia	(LR, SMR)
Slovenia	(LR)
Olanda	(LR, SMR)
Polonia	(LR, SMR, MR)

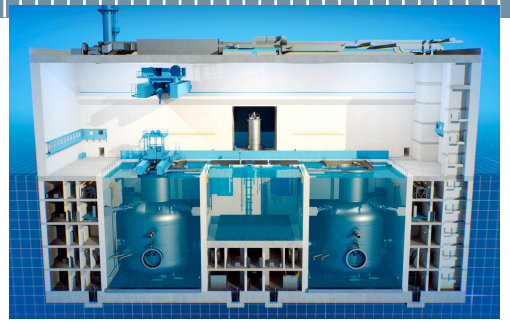
Potenziale mercato SMR in EU:

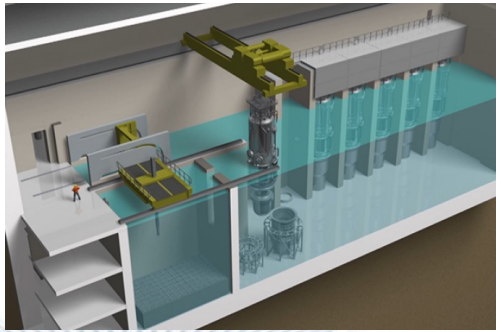
- 10 unità al 2035
- 10+ unità/anno al 2050



Small Modular Reactors: cambio di paradigma

Reattori nucleari di taglia limitata (< 300 MWe)



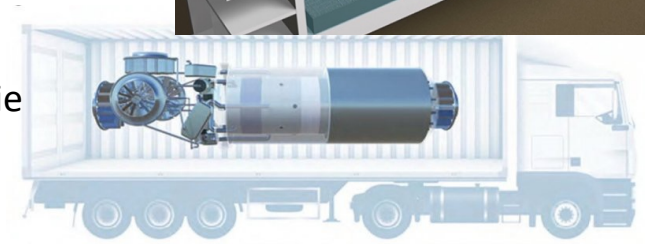


Vantaggi:

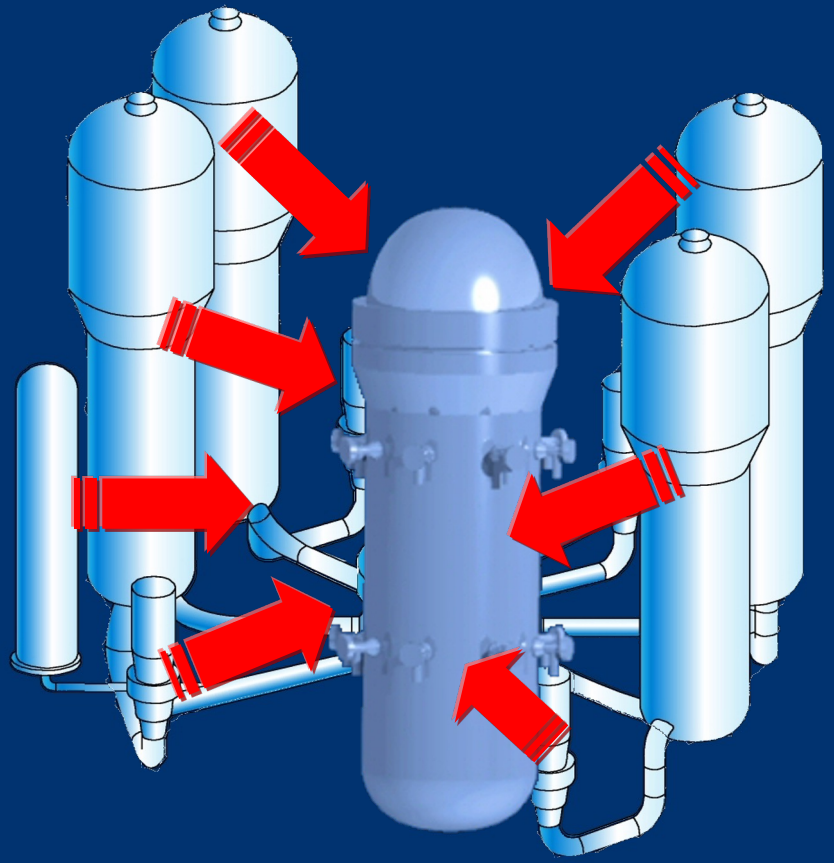
- Design **semplificato**
- Strategia di sicurezza a «**sistemi passivi**» (circolazione naturale: no Fukushima)
- Progettazione e costruzione **modulare**, in officina
- **Cogenerazione** (idrogeno, accumulo termico, teleriscaldamento, desalazione, biofuel)

Sfide:

- Mercato internazionale, costruzione in serie
- Dimostratori: tempi e costi



Small Modular Reactors: integral PWR



La soluzione «Integrale»:

- elimina le penetrazioni dei tubi e i componenti primari esterni

Small Modular Reactors: cambio di paradigma

80+ SMR/AMR/MR designs under development in the World, size: from 1-5 MWe to 300 MWe

- ▶ **Land Based WCRs (25)**
- ▶ Marine Based WCRs (6)
- ▶ HTGRs (14)
- ▶ Fast Reactors (11)
- ▶ MSRs (10)
- ▶ Micro (6)

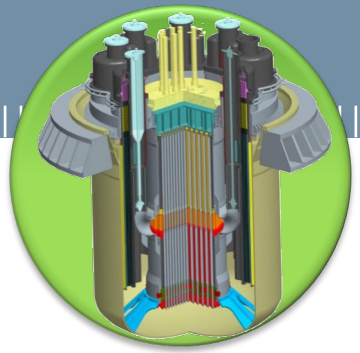
UNDER DEVELOPMENT								
INTEGRAL SMRs	**CAREM**	**NuScale**	**RITM-200**	**ACP100**	**SMART/**	**NUWARD**	**BWRX-300**	**IRIS**
Size MWth MWe	100 27	(160) 250 (50) 77	165 52	310 100	330 100	540 170	900 300	1000 335
In operation on:	? (constr.)	2029-2030	2030	2026	>2030	>2030	~2035	(closed)

ALREADY IN OPERATION

RUSSIA
KLT-40s: Barge mounted PWR reactor
CHINA
HTR-PM: High Temperature Gas Reactor

IAEA International Atomic Energy Agency

Advanced Modular Reactors: opzione riduzione rifiuti

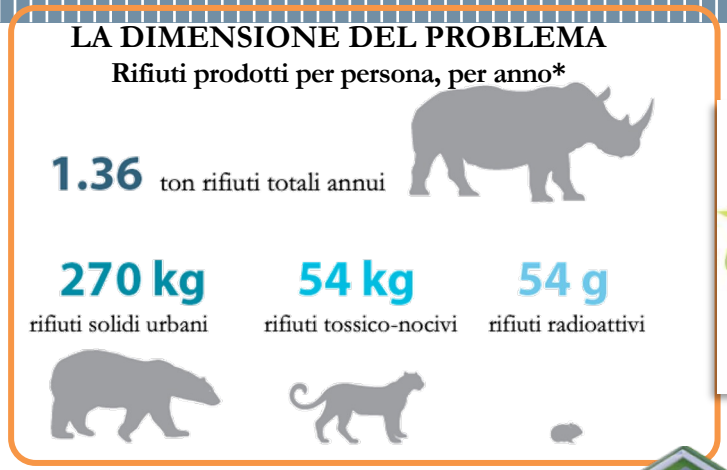


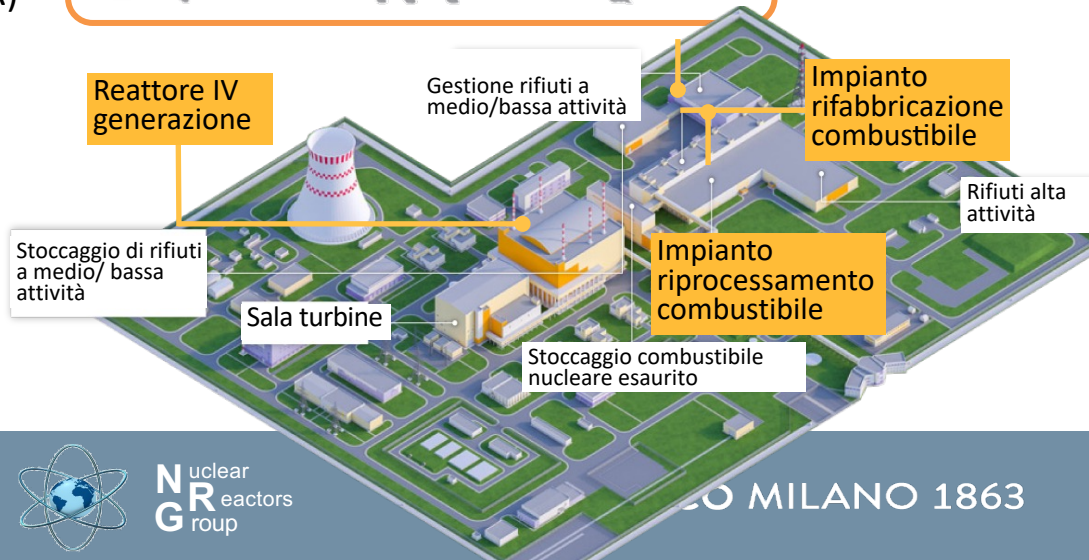
Reattori raffreddati a:
piombo liquido, sodio liquido, sali fusi

«fisica differente»: eccesso di neutroni

Vantaggi:
- Gli stessi degli SMR (molti GenIV sono SMR)
- Miglior **rendimento**
- Possibilità di **separare e «bruciare» i rifiuti** ad alta radiotossicità

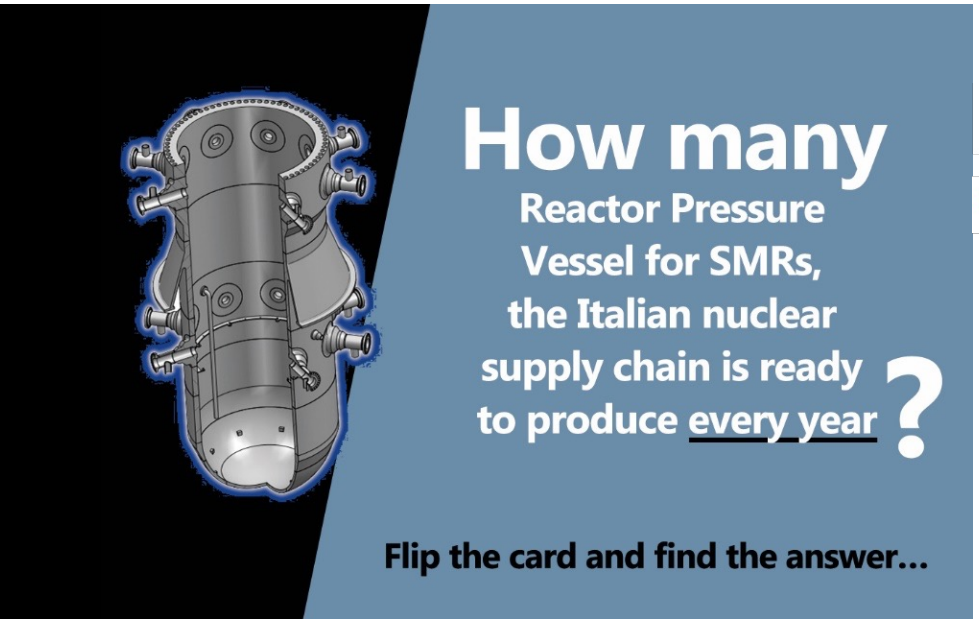
Sfide:
- Economicità
- Integrazione con impianti del ciclo del combustibile (proliferazione)





Nucleare e il possibile ruolo dell'Italia: un caso studio

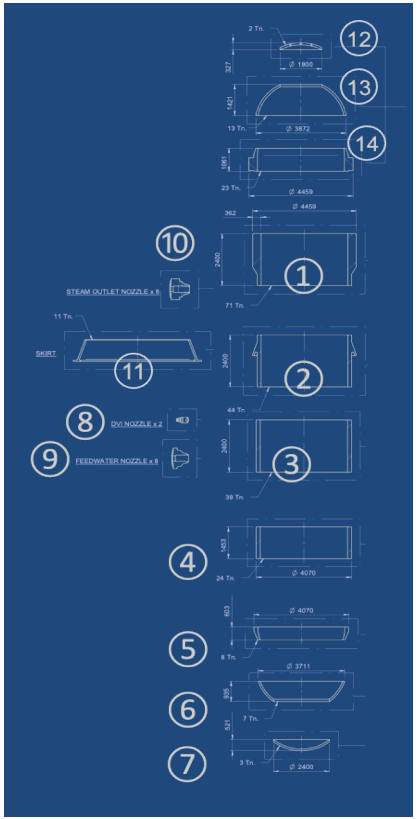
SMR supply chain

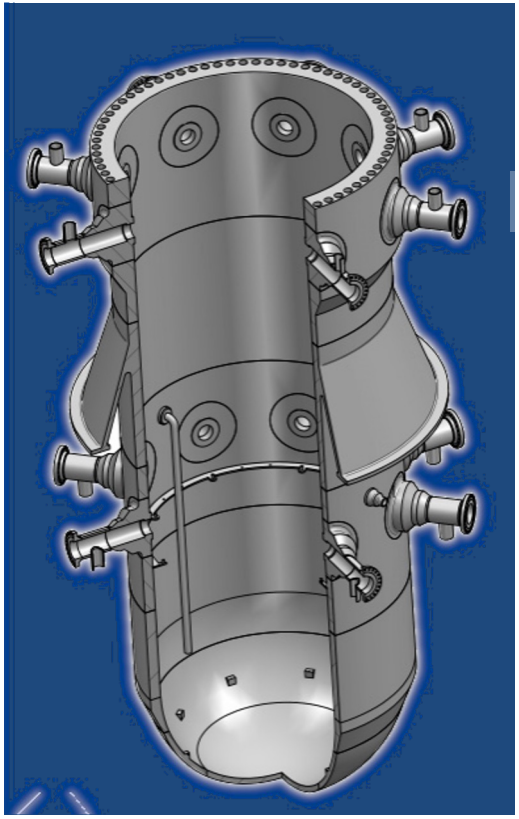


https://www.nuclearenergy.polimi.it/italian-nuclear-supply-chain-for-small-modular-reactors/

Nucleare e il possibile ruolo dell'Italia: un caso studio

SMR supply chain

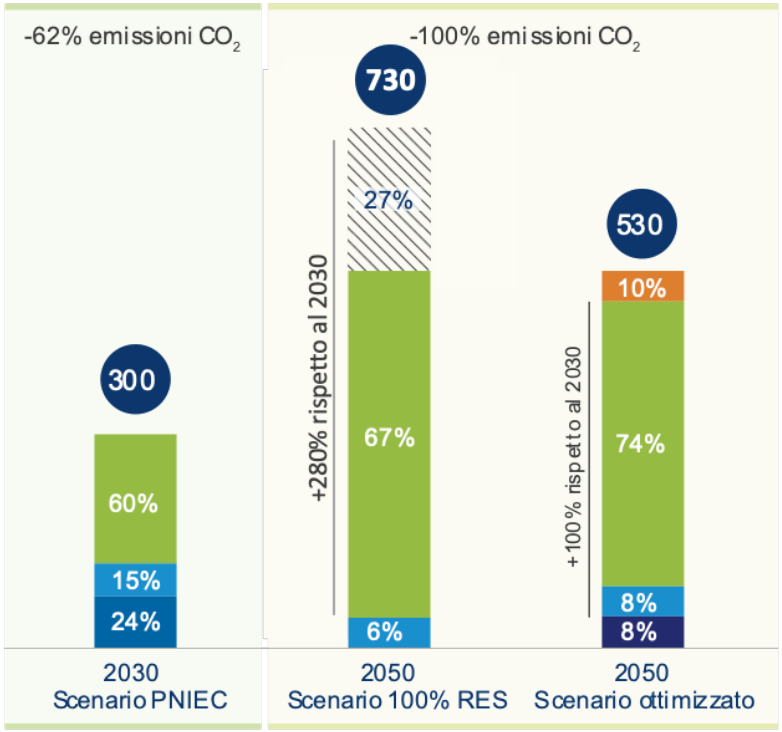





domande

Studio EDISON: scenario energetico (elettricità) Italia 2050 senza e con nucleare

Evoluzione Italiana del mix di produzione[1] (TWh)



- Il **nuovo nucleare**, insieme alle rinnovabili, contribuisce al raggiungimento della **neutralità carbonica al 2050**
- Lo **Scenario Ottimizzato** con rinnovabili, **nucleare (SMR+AMR)** e, nel transitorio, produzione a gas decarbonizzata, consente il raggiungimento dei target di decarbonizzazione al 2050 con **una riduzione degli investimenti di sistema (accumuli e trasmissione) e di overcapacity rinnovabile di circa 400 miliardi di euro**

1) Scenario PNIEC giugno 2023 in 2030, Scenario simulato Edison in 2050

Il «Trilemma Energetico» e il ruolo del nucleare

Sicurezza

"ma il peri