



Italian National Agency for New Technologies,  
Energy and Sustainable Economic Development

# I nuovi scenari del nucleare

## Nucleare sostenibile: ricerca, tecnologie, scenari e prospettive

*Esperienza Europa David Sassoli – Roma 28 maggio 2024*

**Alessandro Dodaro, Direttore dipartimento Nucleare**



# Abbiamo bisogno di energia, ma non dobbiamo basarci sui fossili



**9.7** miliardi di persone entro il 2050  
2/3 nelle aree urbane



**25%** in più del fabbisogno energetico entro il 2040  
Aumento della richiesta di elettricità 2 volte più veloce che in passato



**1.7%** aumento delle emissioni di CO<sub>2</sub> nel 2018  
70% più alto rispetto al 2010



**2.8%** incremento annuale RES (Renewable Energy Sources)  
Le RES forniranno il **31%** della produzione energetica entro il 2040

# Qual è la ricetta per contrastare il cambiamento climatico (se c'è)?

**ridurre fino ad azzerare l'uso di combustibili fossili entro il 2050:**

- **massimizzare** l'uso delle **fonti rinnovabili** nella produzione di energia elettrica e incrementare le capacità di accumulo
- continuare il percorso di **efficientamento dei consumi**
- **sostituire il gas** nelle attività non elettriche con un combustibile climaticamente neutrale (es. H<sub>2</sub>, che però consuma energia per essere prodotto)

Si deve arrivare all'**elettrificazione** dell'**autotrasporto**, all'**eliminazione** del **gas** per **uso domestico** e a **minimizzare** l'uso di **fossili** nei settori **hard to abate** (acciaio, cemento, vetro e carta)...

**servirà sempre più energia elettrica!!!**

# L'Italia e l'indipendenza energetica...

## ... praticamente un ossimoro:

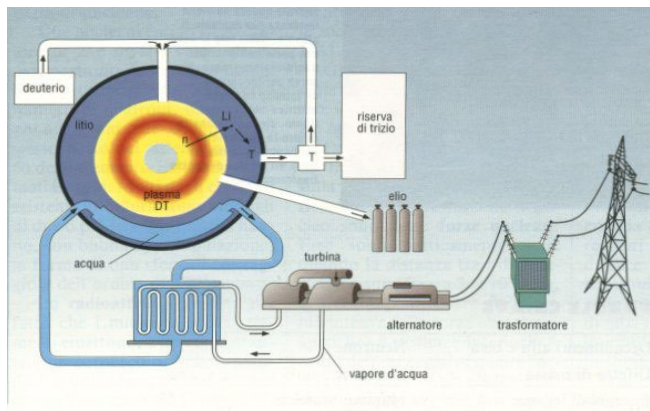
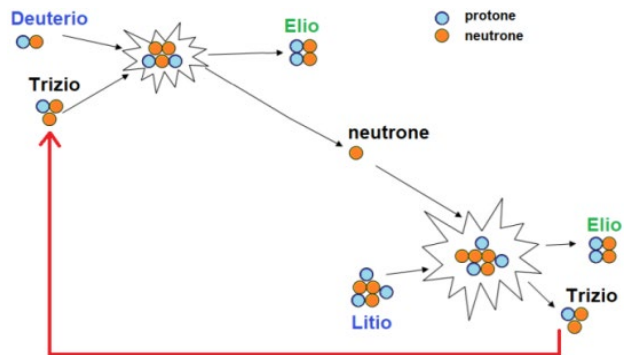
- nel 2021 abbiamo **importato** circa il **16%** del fabbisogno nazionale di energia elettrica netta dall'estero e abbiamo **prodotto** il **56%** con materie prime **fossili** (gas e carbone in primis) **importate dall'estero**.
- nel 2022 la situazione è peggiorata: il **crollo dell'idroelettrico** non è stato bilanciato da un aumento della produzione da rinnovabili troppo esiguo e la quota di autosufficienza nazionale si è ridotta al **25% del fabbisogno...**
- dipendiamo drammaticamente dall'estero e dagli umori di un **mercato** sempre più **soggetto alle tensioni geopolitiche** del momento!

# Ma nucleare e rinnovabili possono coesistere?

## Non solo possono, ma DEVONO

- immaginare **una produzione nazionale centrata sul nucleare** può andar bene per la **Francia**, che ha fatto questa scelta molto tempo addietro, non per un Paese che timidamente sta pensando di ricominciare
- ipotizzare una **produzione 100% RES è un sogno irrealizzabile** non tanto per i tempi e i costi, quanto per evidenti limiti di continuità di produzione e per l'indisponibilità di sistemi di accumulo, che dovrebbero garantire una **capacità superiore al 20% del fabbisogno nazionale** e avere un'efficienza tale da non sprecare molta dell'energia accumulata
- mix energetico ideale: almeno il **70%** del fabbisogno di energia elettrica **da fonti rinnovabili** e il resto, rendendolo disponibile H24, con **una fonte pulita, sicura ed economicamente sostenibile**

# Fusione nucleare: la rinnovabile fra le rinnovabili (cit.)



- **Combustibile** (deuterio, isotopi dell'idrogeno, e litio) illimitato e disponibile in tutte le aree geografiche
- **Trascurabile produzione di rifiuti radioattivi a lunga vita** (rifiuti prodotti analoghi a quelli generati, anche in Italia, da attività non correlate alla produzione di energia elettrica)
- **Intrinsecamente sicura** (un eventuale incidente avrebbe impatto trascurabile sull'ambiente e sulla popolazione)
- **Assenza di emissioni di gas serra**

# La roadmap europea

**Obiettivi:** completare in tempo utile tutti gli sviluppi che consentano l'inizio della costruzione di DEMO nel momento in cui ITER consegua  $P_{\text{fus}}/P_{\text{in}} = 10$  (2035).

Iniziare le operazioni di DEMO **intorno alla metà del secolo.**

**La Roadmap prevede di procedere prioritariamente a:**

- Contribuire al raggiungimento degli obiettivi di ITER
- Consolidare il quadro di conoscenze dei meccanismi di base della fisica del plasma in condizioni reattoristiche.
- Affrontare e risolvere le sfide tecnologiche
- Finalizzare il progetto di DEMO

**Ma cosa possiamo fare da qui al 2050 senza la fusione?**



# Il ruolo della fissione nella transizione ecologica mondiale

## Nuclear to be included in Delegated Act of EU taxonomy

21 April 2021



The European Commission today announced its decision to include nuclear energy in a complementary Delegated Act of the EU Taxonomy Regulation. The decision follows the recent publication of the Joint Research Centre's report confirming nuclear is as sustainable as other taxonomy-compliant energy technologies.



The European Commission building in Brussels (Image: Pixabay)



- **L'energia nucleare è la più grande (26.7% nel 2019) fonte di energia low-carbon in europa**, seguita da idroelettrico (12.3%), eolico (13.3%), solare (4.4%) e alter fonti (0.5%).
- **L'energia nucleare** contribuisce alla neutralità climatica.
- Il technical expert group sulla Tassonomia ha stabilito che "c'è chiara evidenza che la **sostenibilità nucleare** contribuisce alla mitigazione dei cambiamenti climatici.

Ref.: World Nuclear News

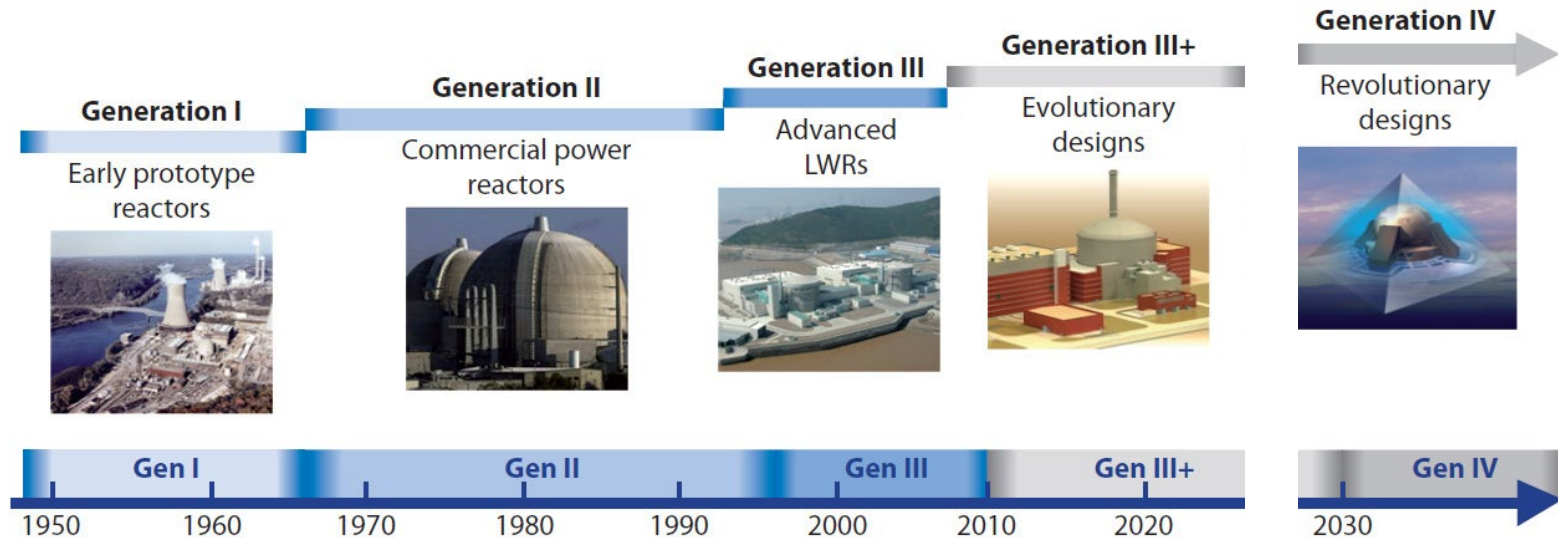
<https://world-nuclear-news.org/Articles/Nuclear-to-be-included-in-Delegated-Act-of-EU-taxo>



# Il progredire delle tecnologie

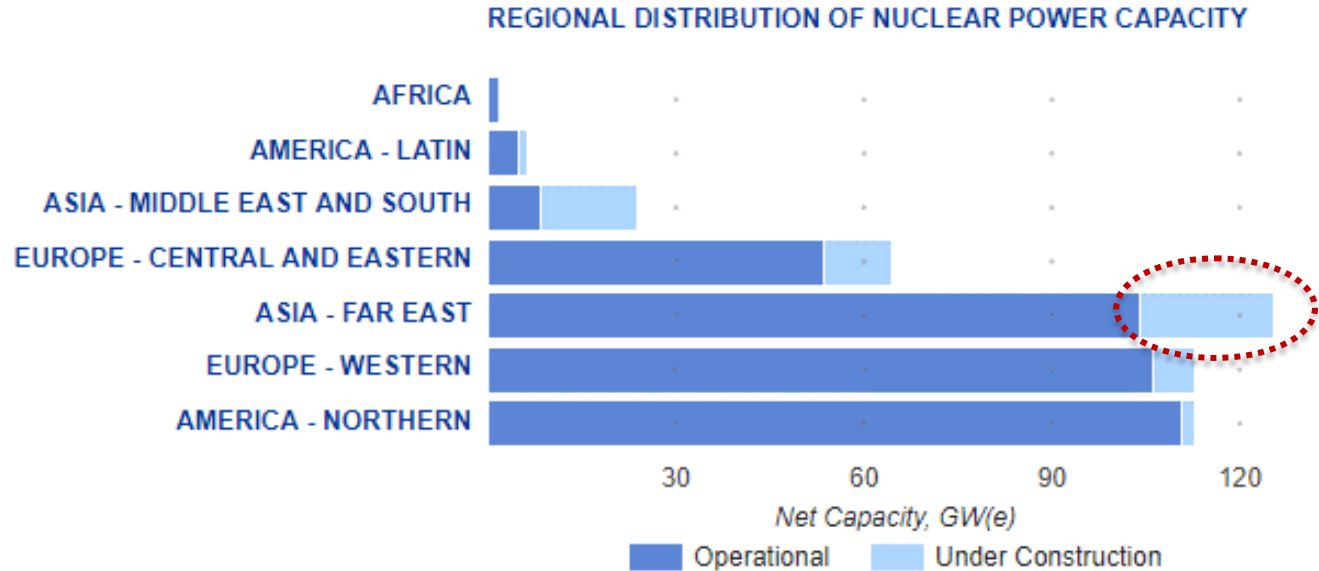
Nuovi concetti evolutivi...

...e progetti rivoluzionari



# La situazione attuale

- 443 impianti nucleari in funzione
- 52 impianti nucleari in costruzione



## EPR unit at the Flamanville

Initial plan: op. in 2012 (54 mm construction), 3.3 b€

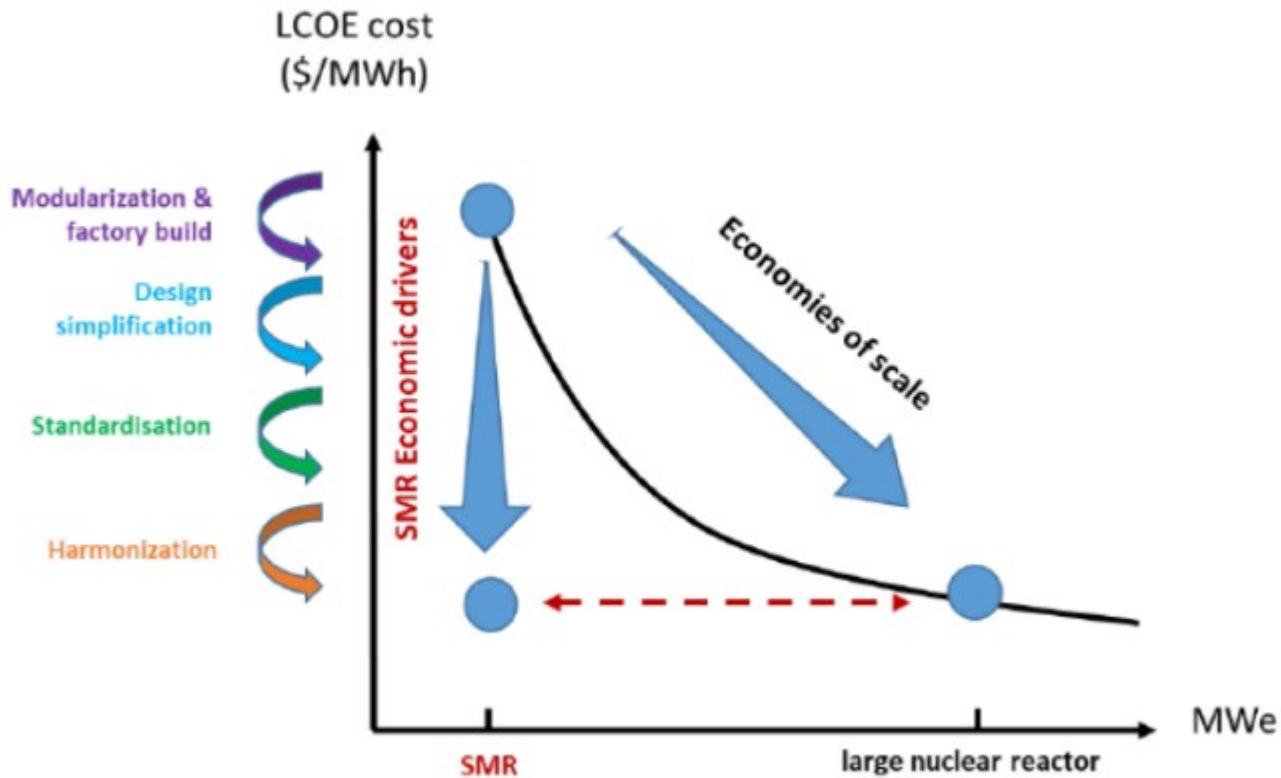
As of today: operation at the end of 2023, 19.1 b€

Ref.: ["Construction of Flamanville EPR begins"](#). *World Nuclear News*. 4 December 2007. Archived from [the original](#) on 14 October 2014. Retrieved 19 March 2011.

Ref.: ["Echec opérationnel " et " dérive des coûts " : la gestion de l'EPR, réacteur nucléaire de troisième génération, décrite par la Cour de comptes"](#). *Le Monde.fr* (in French). 9 July 2020. Retrieved 9 July 2020.

Ref.: ["Snag-hit new French nuclear power station delayed by further 3 years"](#). *Agence France Presse*. 29 July 2019.

# Come rendere competitivi impianti più piccoli?



# Reattori modulari avanzati in sistemi energetici ibridi



Più di **50 progetti** o concetti in fase di progettazione di **SMR** (Small modular reactor) o di **AMR** (advanced modular reactor)



Entro il 2035 si stima fino a **21 GWe di SMR** a livello globale (3% della capacità nucleare totale installata).



**Investimenti per 1 miliardo** di euro per la realizzazione dei “First of a Kind” messi sul mercato nel prossimo decennio.



Mancanza di economia di scala compensata dalla **produzione in serie standardizzata**. **Rischio finanziario ridotto** da investimenti di capitale minori e più diluiti.



**Sicurezza passiva favorita** da una potenza minore: riduzione delle zone interessate a una pianificazione delle emergenze.

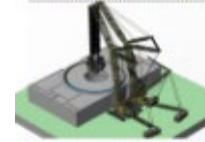


Gli SMR/AMR aprono **nuove opportunità** nei sistemi di **energia ibrida**: possibile integrazione con fonti di energia rinnovabile intermittenti e cogenerazione (compresa la produzione di idrogeno).



## Economic

- Lower Upfront capital cost
- Economy of serial production



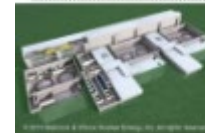
## Modularization

- Multi-module
- Modular Construction



## Flexible Application

- Remote regions
- Small grids



## Smaller footprint

- Reduced Emergency planning zone

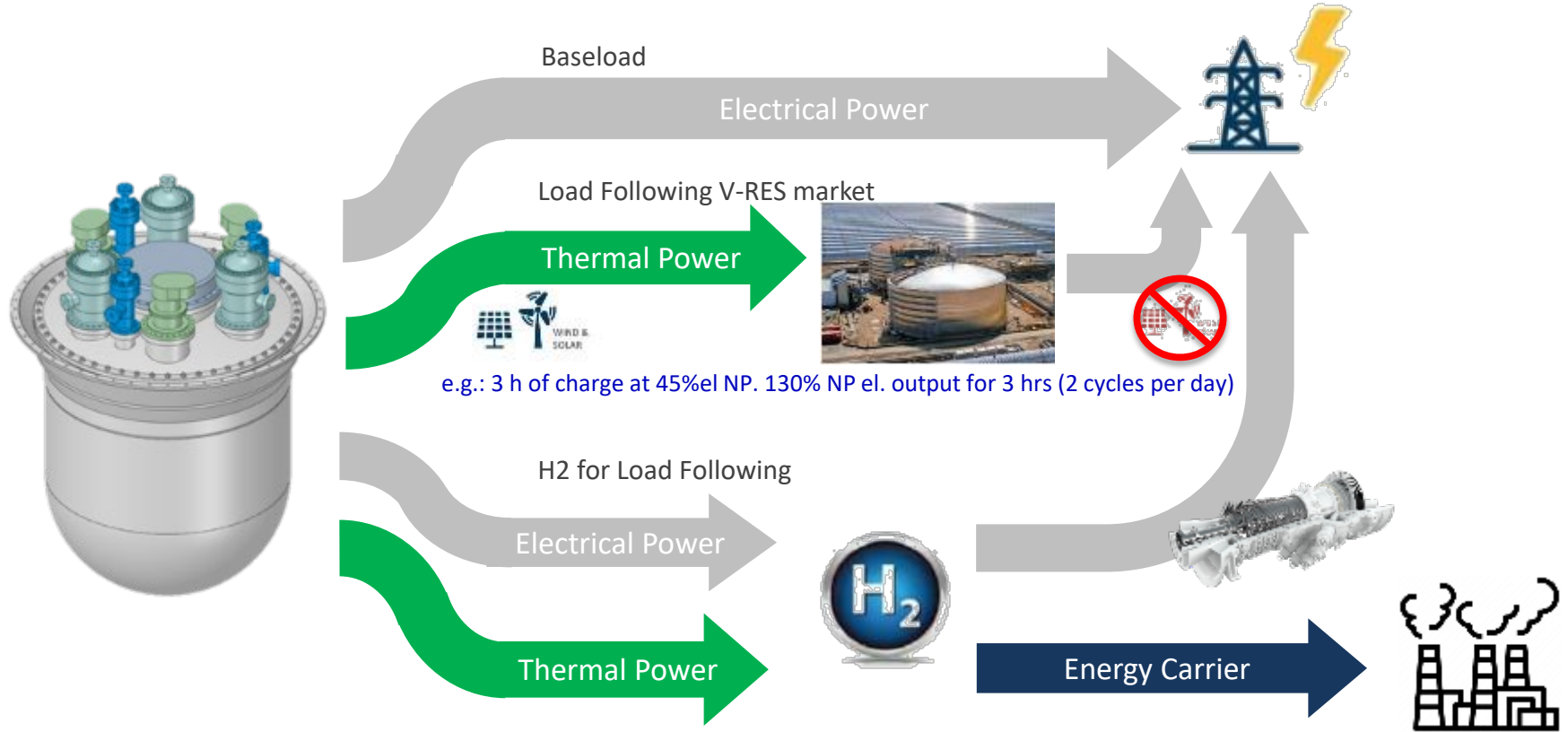


## Replacement for aging fossil-fired plants



## Potential Hybrid Energy System

# Vantaggi degli LFR: accumulo di energia termica e produzione di H2

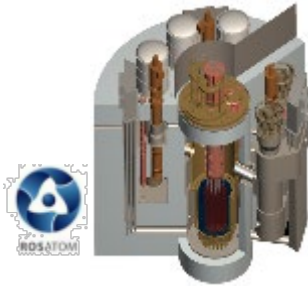


e.g. High Temperature Electrolysis (2 kWth/Nm<sup>3</sup>/h + 2.8 kWe/Nm<sup>3</sup>/h = 8.72 kWth/Nm<sup>3</sup>/h @ 42%)

**LFR Reattore veloce al piombo**



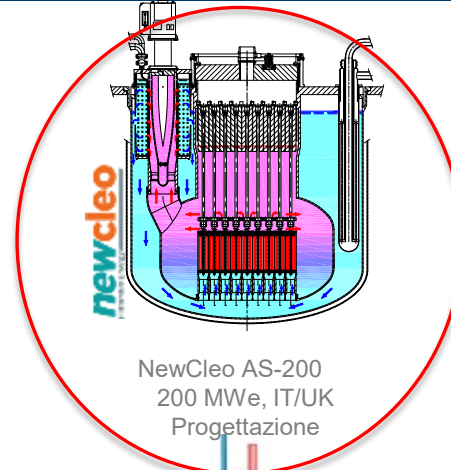
# Costruttori consolidati e new-comers nel panorama LFR



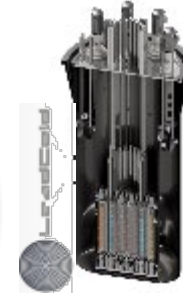
BREST-OD-300  
300 Mwe, Russia  
In costruzione



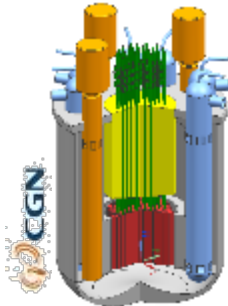
Westinghouse LFR  
450 MWe, USA  
Progettazione



NewCleo AS-200  
200 MWe, IT/UK  
Progettazione



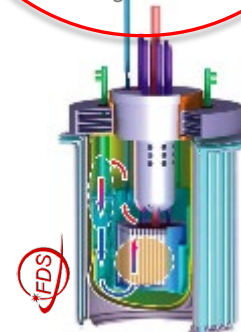
LeadCold SEALER  
1-10 MWe, Sweden  
Progettazione



CLFR-300 and CLFR-10  
300/10 Mwe, China  
Progettazione



BLESS  
100 Mwe, China  
Progettazione



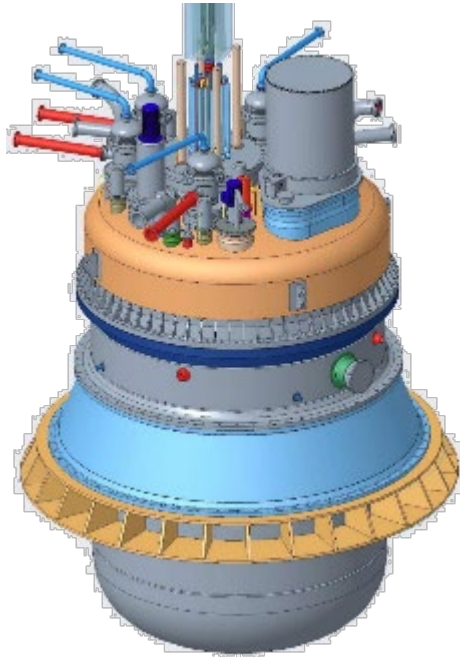
CLEAR-1  
10 MWth, China  
Progettazione



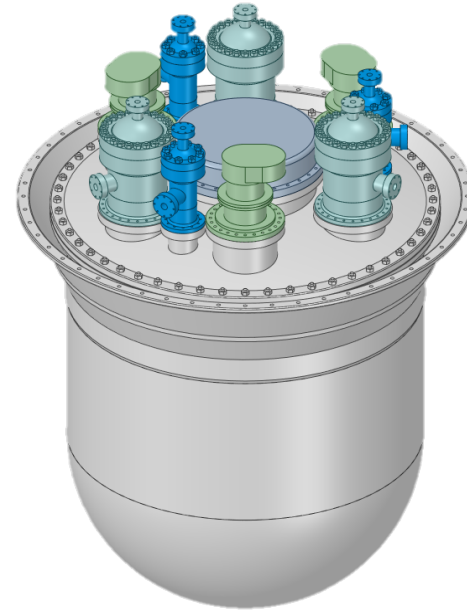
Micro-Uranus  
60 MWth, Korea  
Progettazione

# I due principali progetti Euratom

Sviluppo della tecnologia Lead & LBE in Europa



**MYRRHA**  
LBE-cooled ADS  
100 MWth



**ALFRED**  
Lead-cooled FR  
125 MWe



# Panoramica delle attività Euratom sugli HLM

(reattori a metalli liquidi pesanti)

- **MYRRHA: Belgian Federal Government** awarded **558 M€ for 2019-2038** (incl. construction of 100 MeV accelerator and proton target facility by 2026, continuation of R&D and licensing of 600 MeV accelerator and LBE-cooled sub-critical reactor)
- **ALFRED**: supported by the **FALCON** international consortium (Ansaldo Nucleare, ENEA, RATEN-ICN + supporting organizations: NRG, EA, WTB, CIRTEN, CRS4, SRS, SNN). Recent **20 M€ investment** for the construction of the **ATHENA** experimental facility.

**PATRICIA**

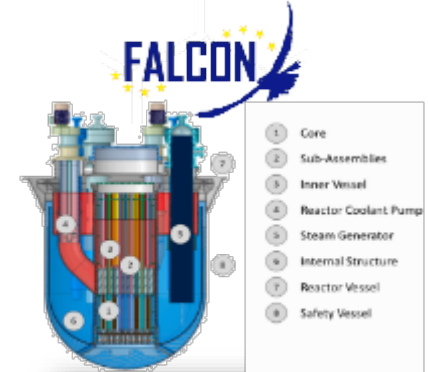
8.9 M€, 2020-2024 (G#945077)  
[patricia-h2020.eu/](http://patricia-h2020.eu/)

**GEMMA**

Generation IV Materials Maturity  
6.6 M€, 2017-2021 (G#755269)  
In synergy with **EERA JPNM**  
[eera-jpnm.eu/gemma/](http://eera-jpnm.eu/gemma/)

**PRO ALFRED**

2.5 M€, 2019-2020  
Funded by RO Gvt.  
[proalfred.nuclear.ro/](http://proalfred.nuclear.ro/)  
>20 del.s in 7 WPs  
Licensing Basis Document  
Workshop with CNCAN



**PIACE**

3.2 M€, 2019-2022 (G#847715)  
[piace.brasimone.enea.it/](http://piace.brasimone.enea.it/)  
In synergy with **SIRIO** facility at **SIET** funded by IT (1.4 M€)






**PASCAL**

4.7 M€, 2020-2024 (G#945341)  
Endorsed by **ESNII**, **EERA**  
**JPNM**, **FALCON**  
[pascalworkspace.eu](http://pascalworkspace.eu)



# Nucleare e altre tecnologie a confronto

## IMPATTO ECONOMICO, TECNICO ED AMBIENTALE VS ALTRE TECNOLOGIE

	 CCGT 800 MW	 CCGT+CCS 720 MW	 PV 50 MW	 Wind 50 MW	 SMR-AMR 100-450 MW
Fattore di capacità (%)	80	80	20	30	90
Vita utile (anni)	25+15	25+15	25	30	60+
LCA emissioni GHG <sup>1</sup> (gCO <sub>2</sub> /kWh)	390 (320 emissioni dirette, 70 altre emissioni)	140 (50 emissioni dirette, 90 altre emissioni)	37 + 50-100 con le batterie	12 (onshore-offshore) + 50-100 con le batterie	4-6
EROEI <sup>2</sup>	30	25	5	10	50
Occupazione suolo (ha/GW)	10	15	1000	10000	16

**L'energia nucleare è la soluzione più efficace per decarbonizzare il sistema energetico**

# Applicazioni termiche

## Calore per scopi industriali



Gli AMR possono dedicare parte del proprio calore ad applicazioni industriali che richiedono temperature medio-alte (es. **industria chimica e raffinazione**), rinunciando ad una quota di produzione elettrica

300-500°C → **AMR**

12%

12% di un AMR fornisce il consumo termico di un polo industriale di raffinazione (~500 GWh/a). L'utilizzo di H2 verde in alternativa richiede ~780MW di PV dedicato<sup>3</sup>

## Calore per teleriscaldamento



Le reti di teleriscaldamento richiedono calore a bassa temperatura, estraibile a valle della turbina a vapore degli SMR, riducendo in minima parte l'efficienza elettrica

90-110°C → **SMR**

3%

3% di un SMR fornisce il consumo termico aggregato delle 14 maggiori reti di teleriscaldamento in Italia (~500 GWh/a). L'utilizzo di H2 verde in alternativa richiede ~780MW di PV dedicato<sup>3</sup>

## Produzione di Idrogeno



I settori hard-to-abate (applicazioni ad alte temperature quali **ceramica, vetro, metalli e cemento**) possono essere decarbonizzati con H2. Gli SMR possono fornire calore a bassa temperatura per produrre H2 utilizzando elettrolizzatori SOE<sup>1</sup>

150-200°C → **SMR**

18%

18% di un SMR produce l'H2 per decarbonizzare un polo industriali ceramico (fino a ~700 GWh/a). L'utilizzo di H2 verde in alternativa richiede ~1100MW di PV dedicato<sup>3</sup>

## Dissalazione di acqua marina



La dissalazione termica di acqua di mare richiede calore a bassa temperatura, estraibile a valle della turbina a vapore degli SMR, riducendo in minima parte l'efficienza elettrica

90-110°C → **SMR**

10%

Il 10% di un impianto SMR/AMR garantirebbe il fabbisogno di acqua potabile di una città come Modena o una zona come l'Isola d'Elba