



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 CO₂ 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. H₂, 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:

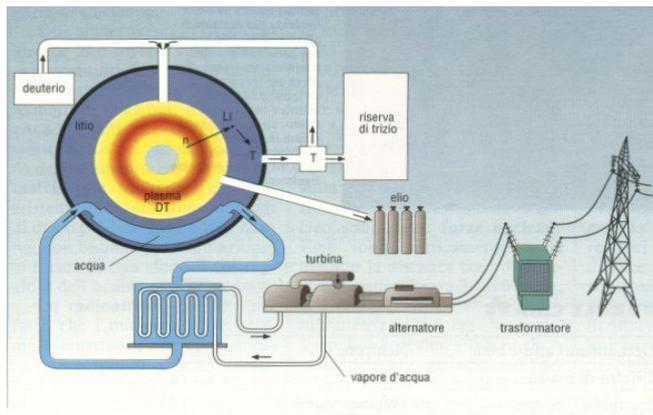
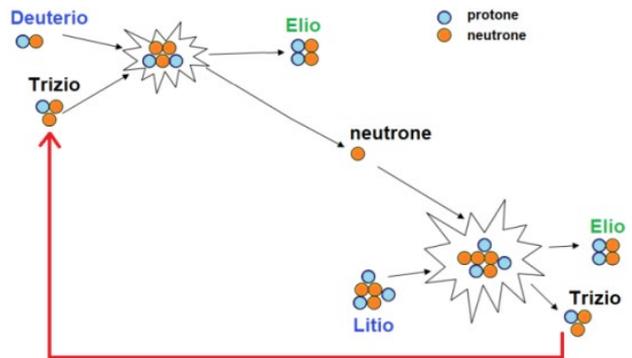
- nel 2021 abbiamo **importato** circa il **16%** del fabbisogno nazionale di energia elettrica netta dall'estero e abbiamo **prodotto** il **56%** con materie prime **fossili** (gas e carbone in primis) **importate dall'estero**.
- nel 2022 la situazione è peggiorata: il **crollo dell'idroelettrico** 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.

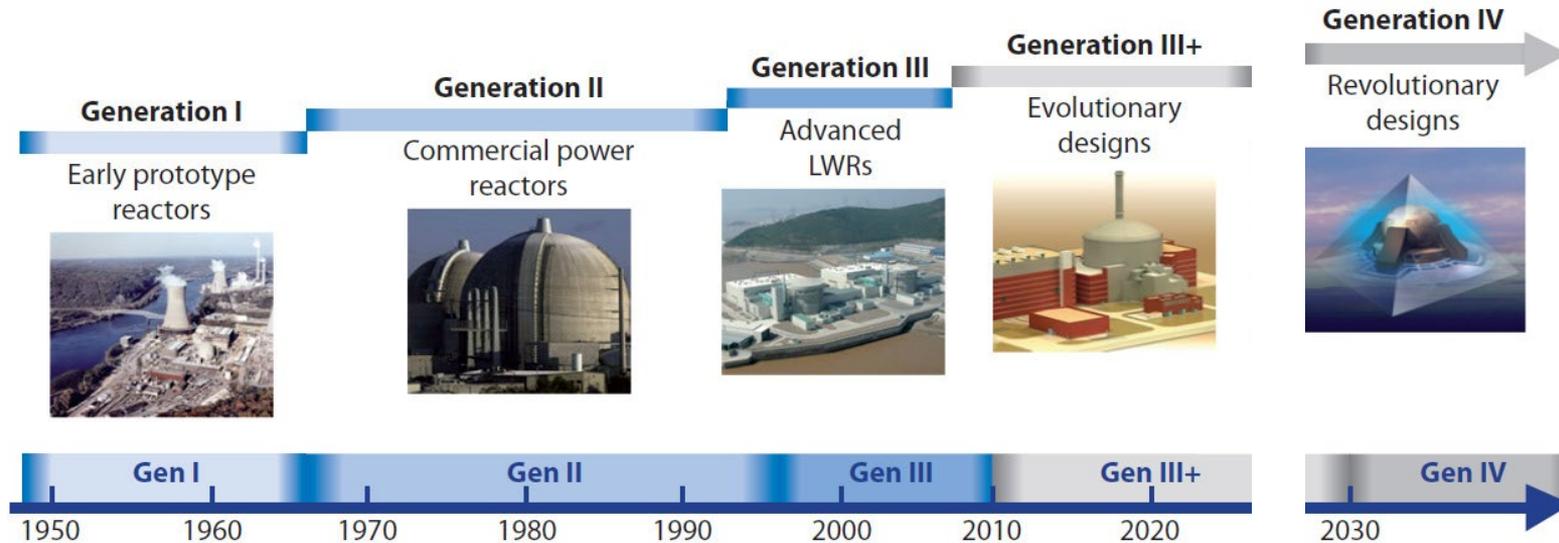
Ref.: World Nuclear News

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

Il progredire delle tecnologie

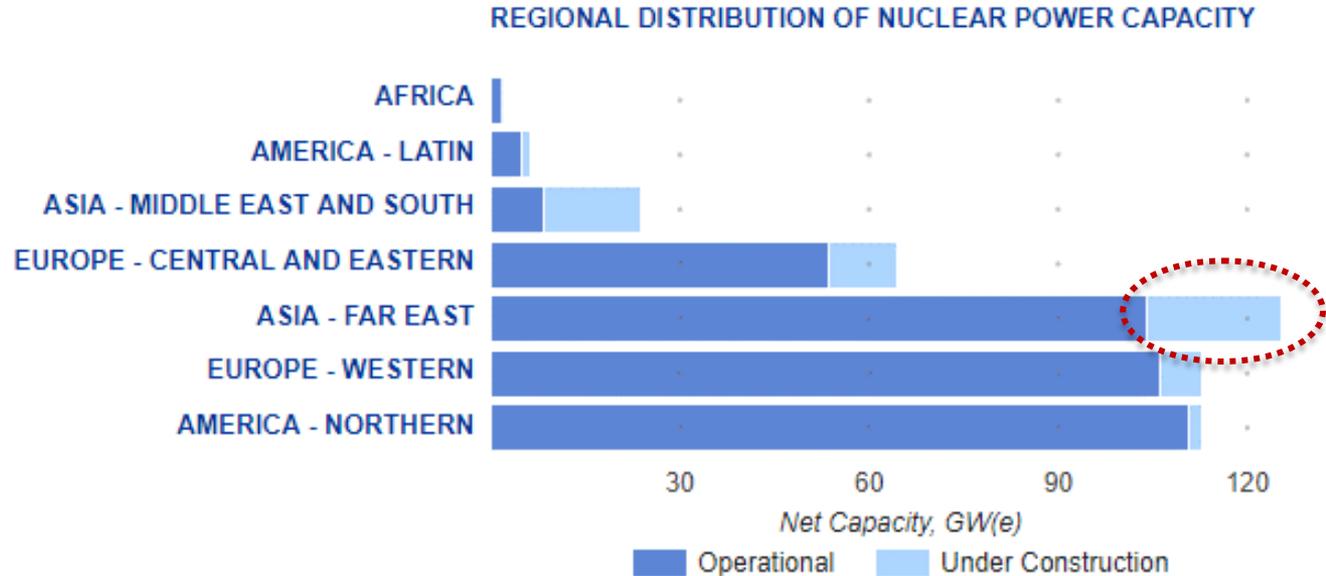
Nuovi concetti evolutivi...

...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€

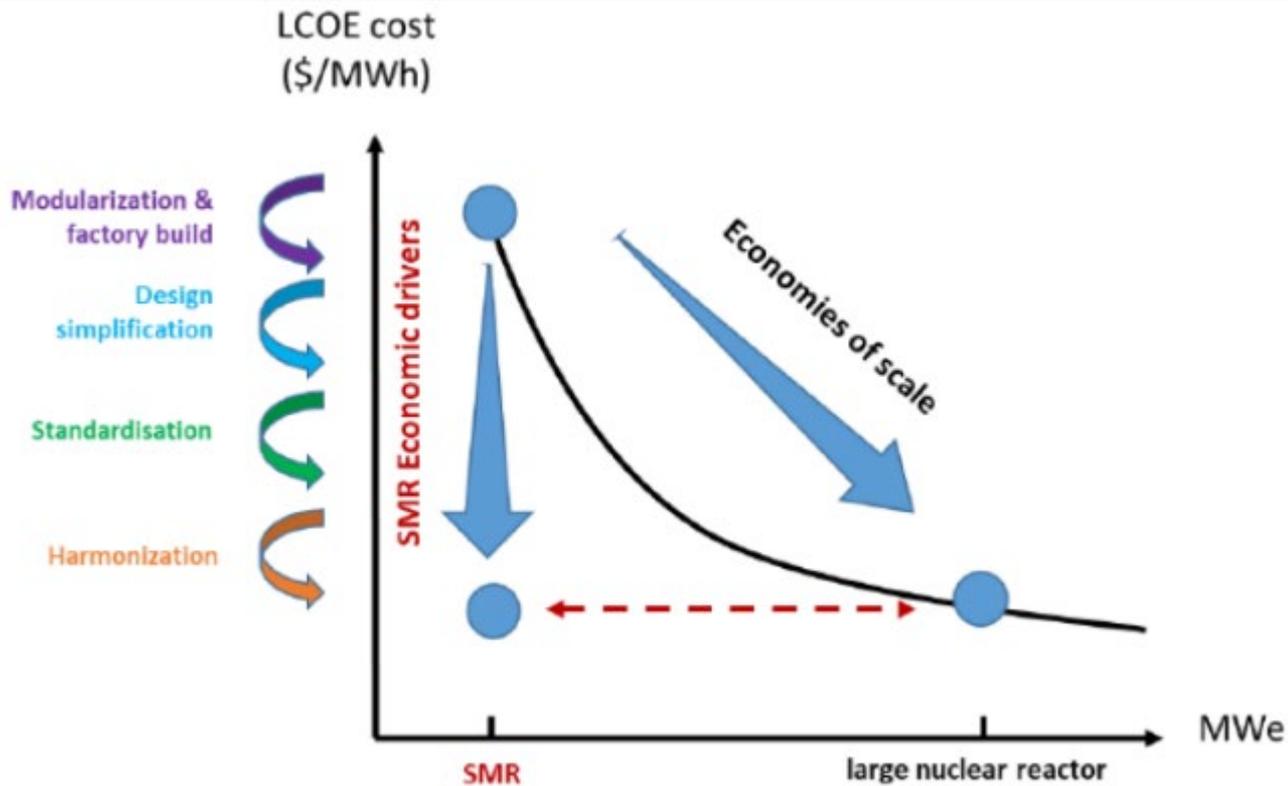
As of today: operation at the end of 2023, 19.1 b€

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.

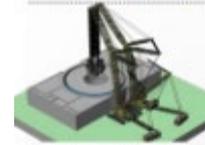


Gli SMR/AMR aprono **nuove opportunità** nei sistemi di **energia ibrida**: possibile integrazione con fonti di energia rinnovabile intermittenti e cogenerazione (compresa la produzione di idrogeno).



Economic

- Lower Upfront capital cost
- Economy of serial production



Modularization

- Multi-module
- Modular Construction



Flexible Application

- Remote regions
- Small grids

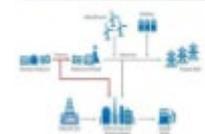


Smaller footprint

- Reduced Emergency planning zone

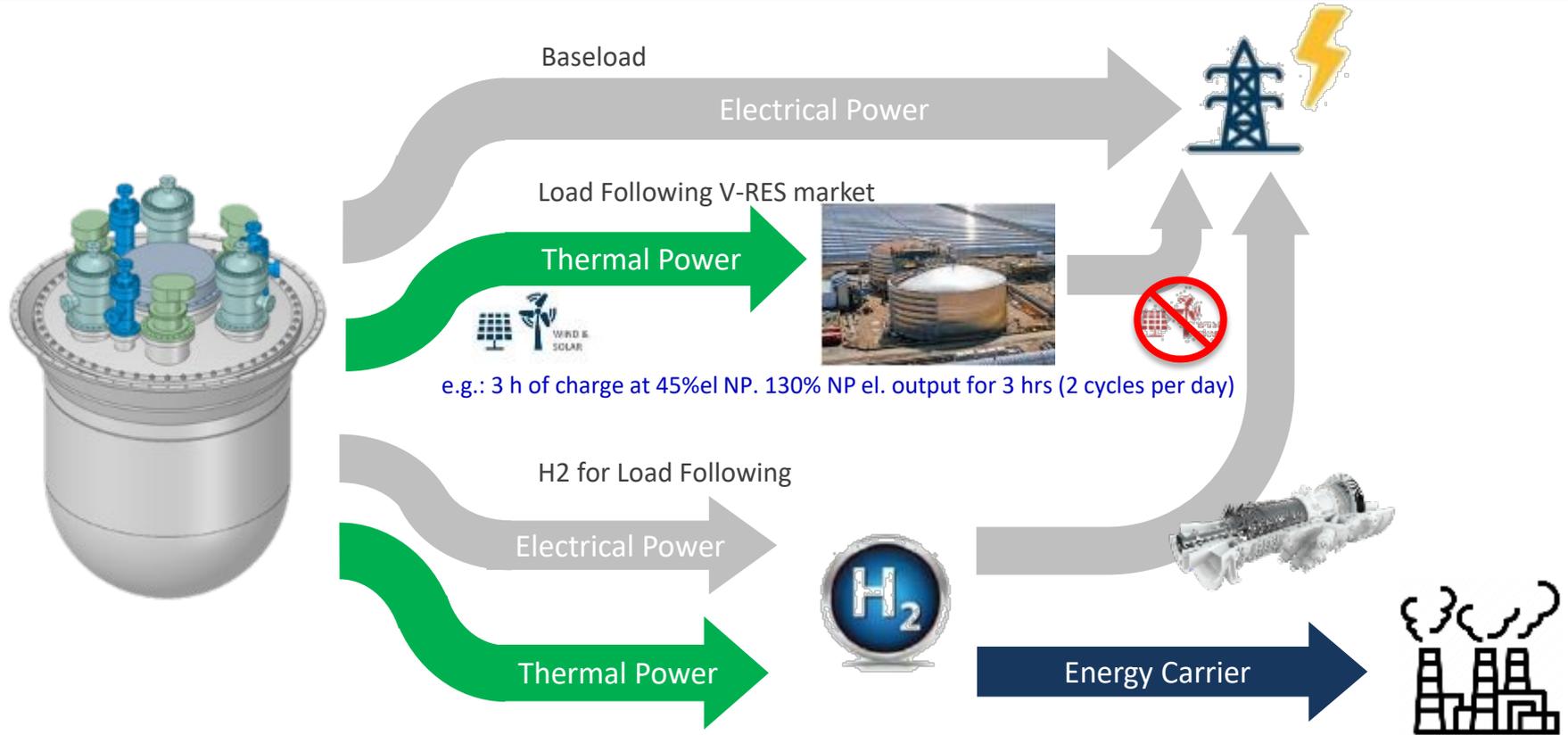


Replacement for aging fossil-fired plants



Potential Hybrid Energy System

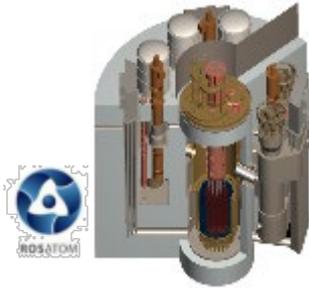
Vantaggi degli LFR: accumulo di energia termica e produzione di H2



e.g. High Temperature Electrolysis (2 kWth/Nm³/h + 2.8 kWe/Nm³/h = 8.72 kWth/Nm³/h @ 42%)

LFR Reattore veloce al piombo

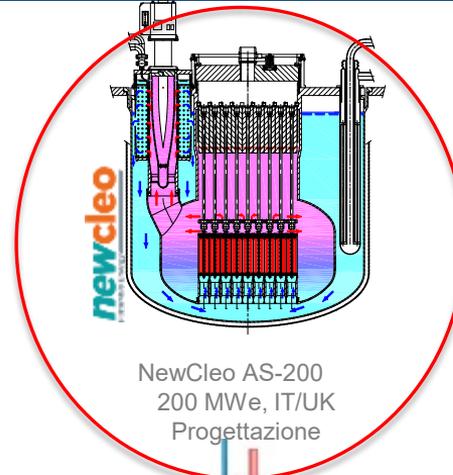
Costruttori consolidati e new-comers nel panorama LFR



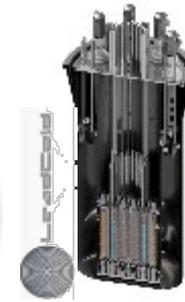
BREST-OD-300
300 Mwe, Russia
In costruzione



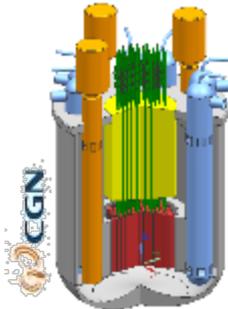
Westinghouse LFR
450 MWe, USA
Progettazione



NewCleo AS-200
200 MWe, IT/UK
Progettazione



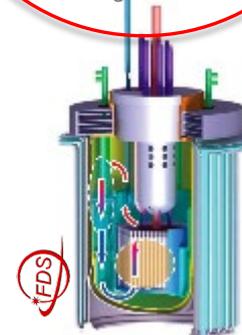
LeadCold SEALER
1-10 MWe, Sweden
Progettazione



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



BLESS
100 Mwe, China
Progettazione



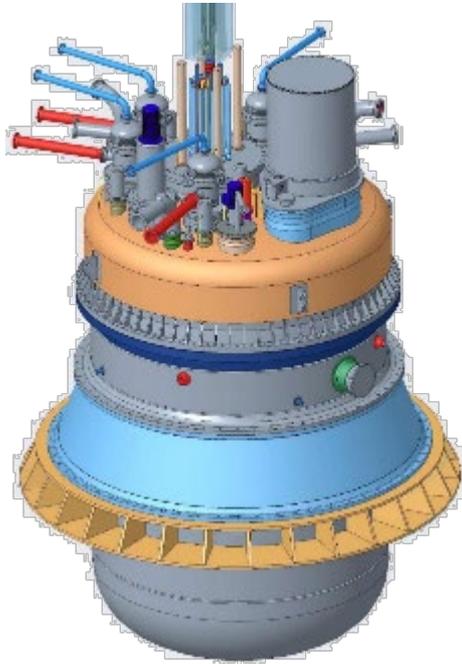
CLEAR-1
10 MWth, China
Progettazione



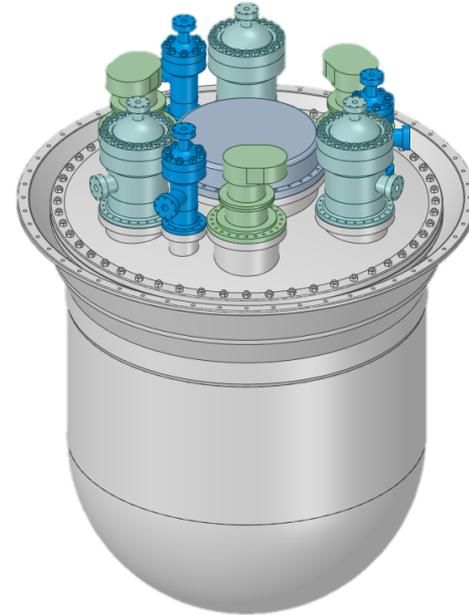
Micro-Uranus
60 MWth, Korea
Progettazione

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

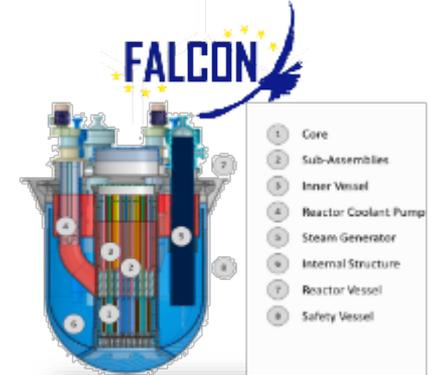
8.9 M€, 2020-2024 (G#945077)
patricia-h2020.eu/

GEMMA

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

PRO ALFRED

2.5 M€, 2019-2020
Funded by RO Gvt.
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/
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



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 ¹ (gCO ₂ /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 ²	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 dedicato³

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 dedicato³

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 SOE¹

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 dedicato³

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