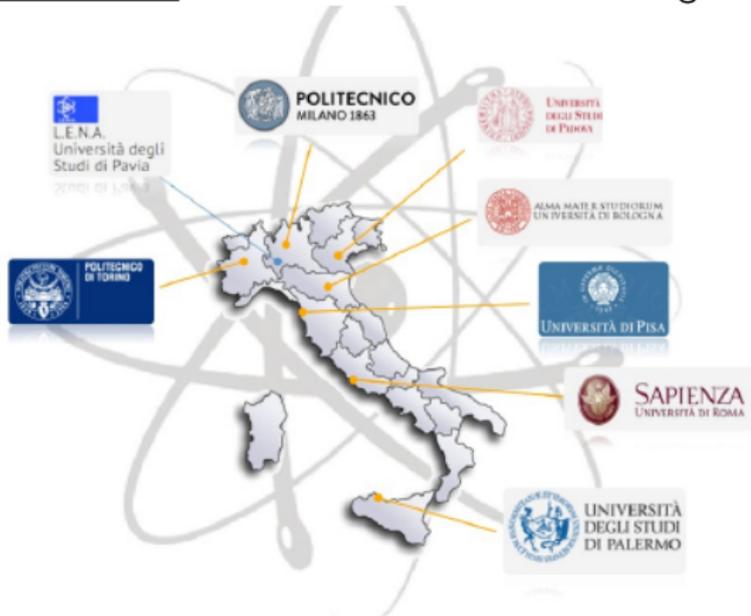


Il ruolo delle Università italiane sulle nuove tecnologie nucleari

S. Manservigi Alma Mater Studiorum - Bologna



Ruolo Università in Energia Nucleare e Neutralità Climatica

Obiettivo: Costo economico energia nucleare

Obiettivo: Contributo dell'energia nucleare alla Neutralità Climatica

Associazione delle Università nel CIRTEN

Prospettive per un'energia nucleare sostenibile (CIRTEN)

Conclusioni



Ruolo Università in Energia Nucleare e Neutralità Climatica

Obiettivo: Costo economico energia nucleare

Obiettivo: Contributo dell'energia nucleare alla Neutralità Climatica

Associazione delle Università nel CIRTEN

Prospettive per un'energia nucleare sostenibile (CIRTEN)

Conclusioni



Ruolo Università-Ingegneria Nucleare

L'Energia Nucleare nasce nelle Università.

Rapporto Università-Energia nucleare è un rapporto di sinergia: la scoperta della energia da fissione nucleare ha spinto alla creazione dell'ingegneria nucleare, l'ingegneria nucleare necessita continuamente di una maggiore conoscenza nelle scienze di base come la fisica, la matematica, la scienza dei materiali e l'informatica (**simulare e poi costruire**) che si amplifica all'interno delle Università stesse.

Ruolo Ingegneria Nucleare-Neutralità climatica

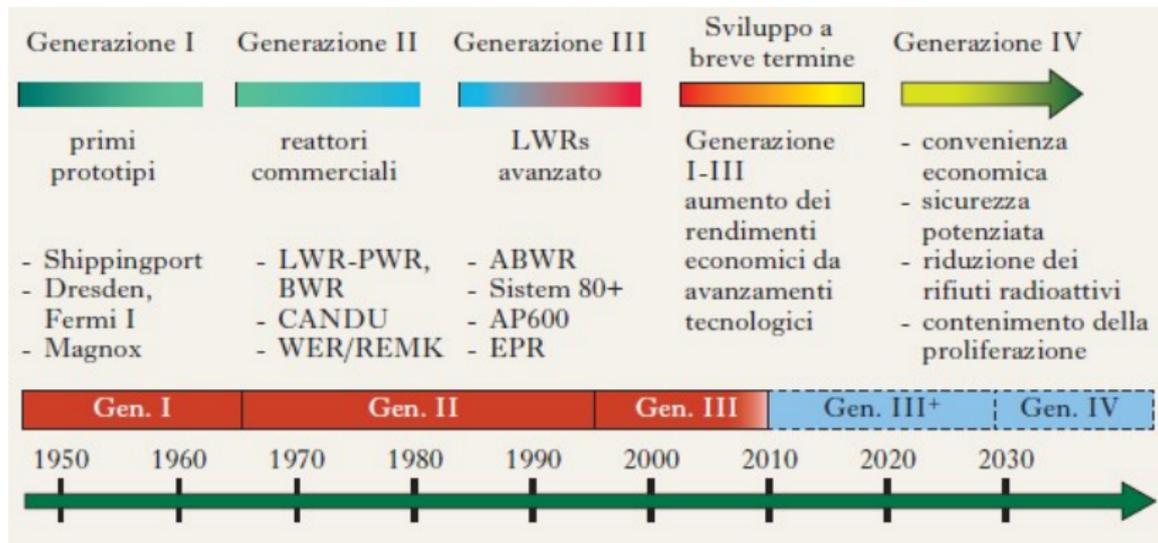
L'Energia Nucleare tiene conto dell'ambiente fin dalla sua nascita con una progettazione globale uomo-impianto-ambiente (la progettazione deve tenere conto di incidenti, radioattività, presenza di acqua, laghi, etc.). È l'energia che meglio si presta ad un controllo sistematico e totale (**anche danni infinitesimi possono essere rilevati**).

Per tenere conto dell'ambiente l'ingegneria nucleare esce dal meccanicismo puro (entrano i concetti di probabilità, progettazione a scenari etc..)



Evoluzione impianto nucleare

Quale impianto nucleare ? Evoluzione



Università/Centri -> Nazionale —> Internaz —> futuro (b-l)
step 1 —> step2 —> step3 —> step4



Obiettivo primario: energia ora (comprare) ?

Ci sono i reattori GEN-III e GEN-III+. Veloci ? Termici ?

Obiettivo primario: lo sviluppo a breve (LWR-SMR) ?

Tecnologia nota ma non ancora costruiti. Concetti evolutivi

Obiettivo primario: promuovere a lungo termine (GEN-IV) ?

Nuovi reattori con concetti GEN-IV (non proliferazione, ciclo combustibile, nucleare sostenibile, sicurezza)



Ruolo Università in Energia Nucleare e Neutralità Climatica

Obiettivo: Costo economico energia nucleare

Obiettivo: Contributo dell'energia nucleare alla Neutralità Climatica

Associazione delle Università nel CIRTEN

Prospettive per un'energia nucleare sostenibile (CIRTEN)

Conclusioni



Promuovere l'uso d'energia elettro-nucleare

Il settore ingegneristico ha il compito di chiarire il costo dell'energia elettrica nucleare per far decidere alla popolazione e al mondo politico i vantaggi e svantaggi delle proprie scelte di impianto.

Costo Impianto Nucleare per produzione elettrica

Difficilissimo il calcolo poiché dipende dal sistema finanziario (discount rate) → (paese, intervento pubblico)

Overnight cost = costruzione senza interessi

Costo nel tempo: *Overnight cost* di un impianto nucleare (OECD Nuclear Energy Agency) 1900/*kWe* (1990) → 3850/*kWe* (2009) → 4000 – 5000/*kWe* (2020)

Costo nei vari paesi 2020 (International Energy Agency (IEA) and the NEA)

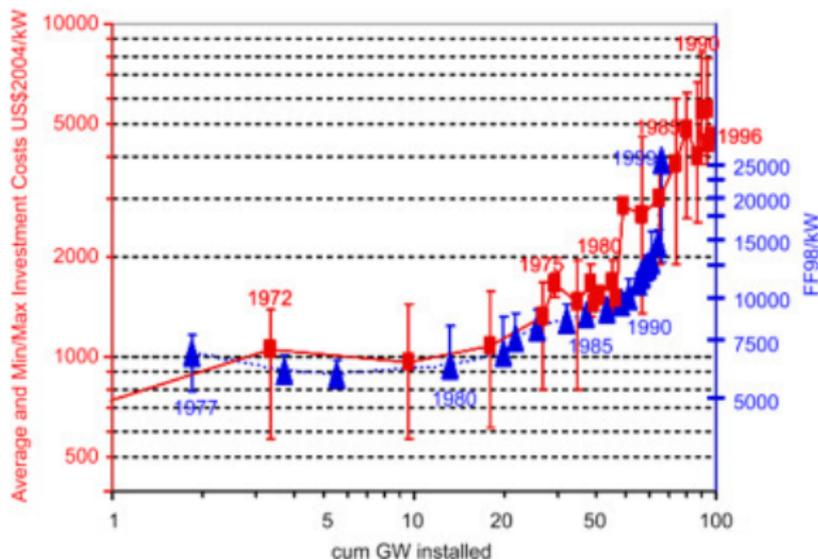
2157/*kWe* in South Korea → 6920/*kWe* in Slovakia

In China 2500/*kWe*. Russia il più basso < 2000/*kWe*



Costo Impianto nucleare (USA)

USA (EIA) Costo Impianto nucleare



Dai 1500/ kWe nei primi anni 60 ai 4000/ kWe nel mid-1970 (design changes, licensing problems, project management problems and overestimation of costs and safety demands).

2020 EPGT rapporto sugli impianti nucleari USA: 6041/ kWe (overnight cost)



Costo al kWh dell'energia nucleare elettrica

Projected nuclear LCOE costs for nth-of-a-kind plants completed from 2025 \$/MWh (source AIEA)

Country	3% rate	7% rate	10%
France	45.3	71.1	96.9
Japan	61.2	86.7	112.1
South Korea	39.4	53.3	67.2
Slovakia	57.6	101.8	146.1
USA	43.9	71.3	98.6
China	49.9	66.0	82.1
Russia	27.4	42.0	56.6
India	48.2	66.0	83.9

Forte dipendenza dal tasso di sconto (concessa dalla banca centrale alle istituzioni finanziarie). Casi per 3%, 7% e 10% discount rate



Costo al kWh dell'energia nucleare elettrica

OECD electricity generating costs $\$/MWh$ (costruzione dal 2025) fonte IAEA

3% discount rate

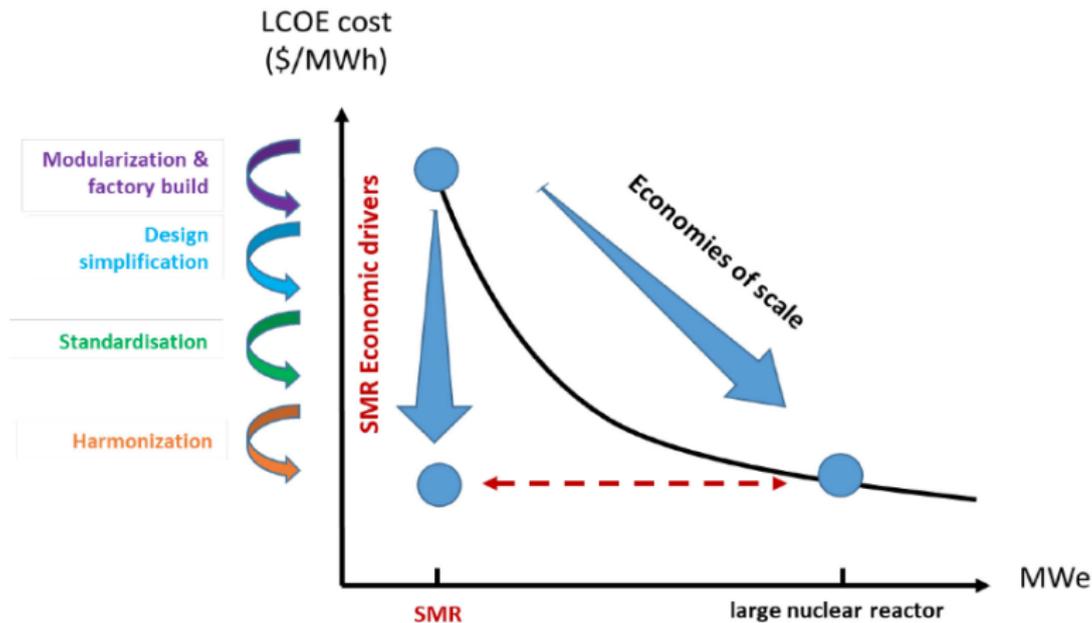
Country	Nuclear	Coal	Gas
France	45.3	-	-
Japan	61.2	87.6	87.6
Korea	39.4	69.8	83.0 - 91.0
Slovakia	57.6	-	-
USA	43.9	75.1 - 96.3	40.7
China	49.9	70.6	81.5
Russia	27.4	-	-
India	48.2	64.7 - 94.6	-

10% discount rate

Country	Nuclear	Coal	Gas
France	96.9	-	-
Japan	112.1	111.3	97.1
Korea	67.2	81.0	90.2 - 100.4
Slovakia	146.1	-	-
USA	98.6	100.2 - 148.8	48.9
China	82.1	78.5	86.3
Russia	56.6	-	-
India	83.9	76.0 - 105.5	-



Nuclear reactor cost (SMR < 300-400 MWe downscale LWR)



Source: NEA (2020).

Note: KW_e = kilowatt electric.



Ruolo Università in Energia Nucleare e Neutralità Climatica

Obiettivo: Costo economico energia nucleare

Obiettivo: Contributo dell'energia nucleare alla Neutralità Climatica

Associazione delle Università nel CIRTEN

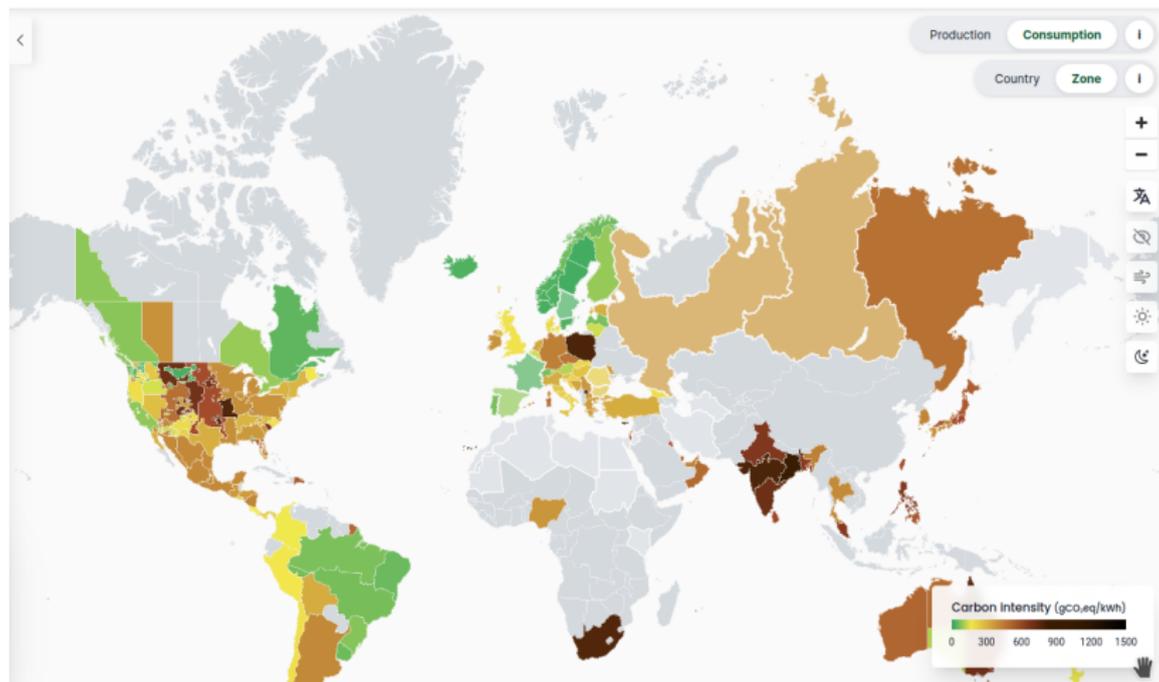
Prospettive per un'energia nucleare sostenibile (CIRTEN)

Conclusioni



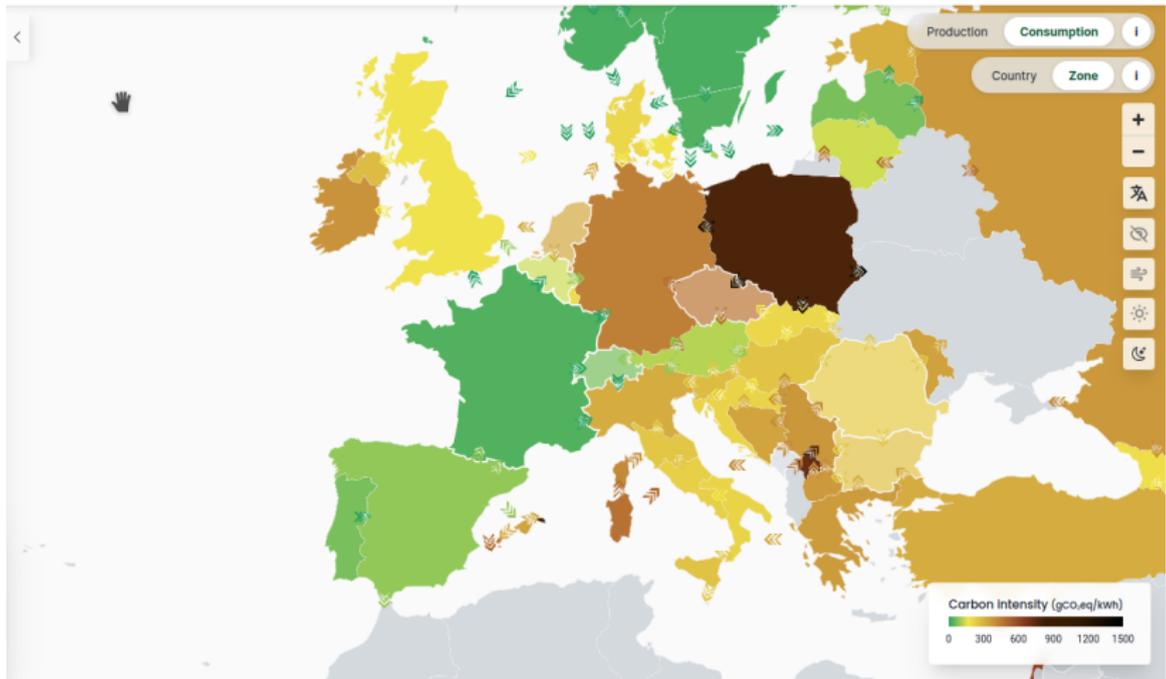
Neutralità climatica

<https://app.electricitymaps.com/map> (Emissioni CO_2)



Emissioni CO_2 Europa

<https://app.electricitymaps.com/map> (Emissioni CO_2)



Prospettive per l'Energia Nucleare in Italia (2023)



2023 May 9

Two motions (government + part of the opposition) in favour of nuclear, approved by the Italian Parliament (only 16% of voters against)



2023 July 20

"Nuclear in Italy: Scenarios and Perspectives" event hosted in the Parliament, all major Italian stakeholders (utilities, industries, institutions)



2023 Sept. 12

Minister of Env. and Energy Security, Sen. Pichetto Fratin, launched the «National Platform on Sustainable Nuclear», 7 WGs

Maggio 2023: Mozione pro-nucleare

Luglio 2023: Parlamento si aggiorna situazione nucleare (PNIEC)

Settembre 2023: Formazione piattaforma sul Nucleare sostenibile (Università, Enti Ricerca, Industrie, Mondo politico)



Aggiornamento PNIEC

Aggiornamento PNIEC (19.07.2023), Piano Nazionale per la *ricerca, innovazione, competitività*: incluso il nucleare negli 8 ambiti tecnologici e linee di azione prioritari e da sviluppare entro il 2030

Dettagli:

Nel PNIEC *alle tecnologie nucleari di nuova generazione è attribuito un ruolo importante per la transizione energetica verso la neutralità climatica, in particolare grazie alla ricerca e dello sviluppo di nuove tecnologie, come ad esempio*

**gli Small Modular Reactor (SMR),
i reattori di quarta generazione e
la fusione nucleare**

e che le tecnologie nucleari possono contribuire anche alla cogenerazione industriale, al teleriscaldamento e alla produzione di idrogeno, favorendo quindi lo sviluppo di sistemi energetici ibridi



Accordo di programma

Limitatamente alle tecnologie nucleari, il governo si impegna a sottoscrivere con ENEA un apposito Accordo di programma, che definisca le attività di ricerca fondamentale con il supporto di ulteriori partner pubblici e privati.

Il programma di spesa vale per il periodo 2023-2026.

La quota destinata al nucleare è pari a 135M di euro, di cui una quota dedicata **alla formazione universitaria**, all'educazione e alla diffusione delle conoscenze.

Obiettivi:

sviluppo dell'energia nucleare da fissione per il breve-medio periodo;

sviluppo dell'energia nucleare da fusione per il lungo periodo;

organizzazione di una campagna di formazione e informazione tecnica, su vasta scala, relativa alle tecnologie nucleari;

tecnologie nucleari per usi civili per attività non energetiche.



Università italiane con corsi nucleari:

Come contribuire al nuovo programma nazionale ?

... continuando la missione originale delle singole università: attrarre, educare e addestrare giovani talenti in tecnologie nucleari.

Come? Migliorare gli strumenti esistenti

- ▶ Network Europeo e Internazionale per la formazione
- ▶ Network Europeo e Internazionale di ricerca e sviluppo
- ▶ Partnership con industrie, istituzioni, centri di ricerca, scuole di specializzazione, introduzione del nucleare alle nuove generazioni e ai cittadini, ...
- ▶ Tentativo di usare e sviluppare software open source (non facile con partner privati)



Ruolo Università in Energia Nucleare e Neutralità Climatica

Obiettivo: Costo economico energia nucleare

Obiettivo: Contributo dell'energia nucleare alla Neutralità Climatica

Associazione delle Università nel CIRTEN

Prospettive per un'energia nucleare sostenibile (CIRTEN)

Conclusioni



CIRTEN= Consorzio Intra-universitario per la Ricerca TEcnologica nucleare (formato 1994)

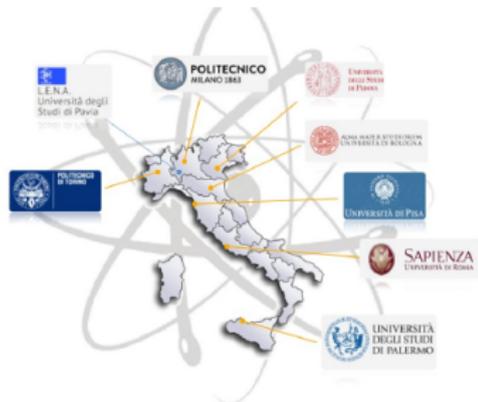


si autodefinisce

il Consorzio delle Università italiane impegnate in attività di ricerca in scienze e tecnologie nucleari e dove vengono offerti alle giovani generazioni programmi didattici (Laurea Magistrale, Dottorato di Ricerca) sull'ingegneria nucleare.



CIRTEN= Consorzio Intra-Universitario per la Ricerca TEcnologica Nucleare (formato 1994)



Higher Education offer:

- MSc in Nuclear Engineering
or
- MSc in Energy Eng. (with Nuclear Eng. courses)
- PhD in Nuclear Science & Technology
or
- PhD in Energy (with Nuclear Eng. R&D)

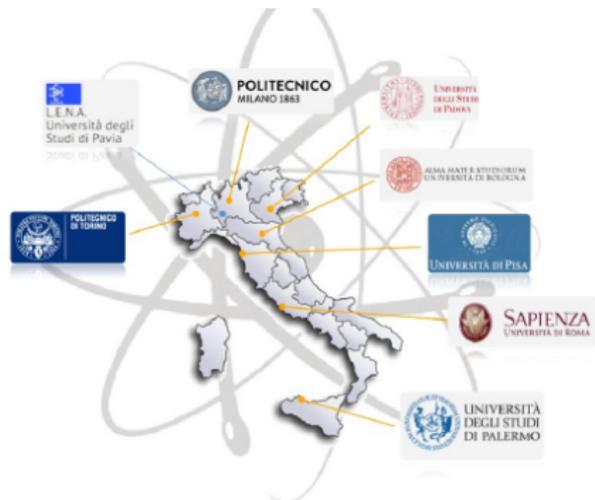
Università di Bologna
Università di Pisa
Università di Palermo
Università di Roma - la Sapienza

Politecnico di Milano
Università di Padova
Università di Pavia
Politecnico di Torino

Obiettivi: **Ricerca, Formazione, Promozione energia elettro-nucleare**



Università Italiane: consorzio CIRTEN



Higher Education offer:

- MSc in Nuclear Engineering
or
- MSc in Energy Eng. (with Nuclear Eng. courses)
- PhD in Nuclear Science & Technology
or
- PhD in Energy (with Nuclear Eng. R&D)

Educazione fin dagli anni 50:

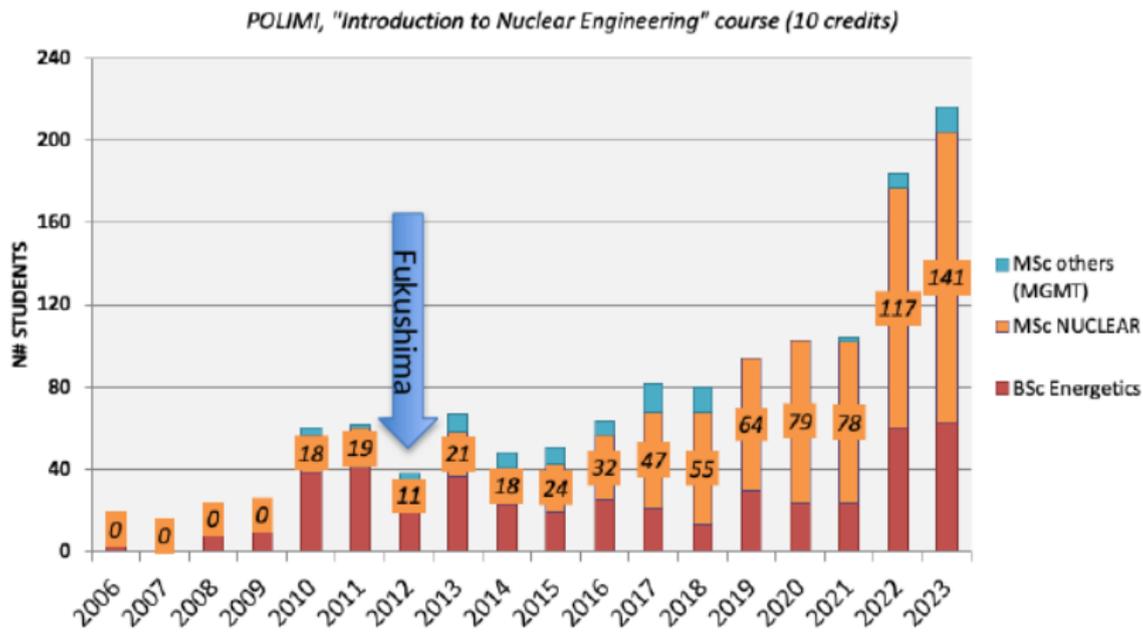
3 livelli universitari: Laurea Triennale, Magistrale, Dottorato di ricerca
BS BE in energy Engineering

MSc in Nuclear Engineering, MSc in Energy/Nuclear Engineering

PhD in Nuclear sciences and Technology, PhD in Energy with Nuclear Engineering R&D

CIRTEN: Educazione in ambito nazionale (2023)

Polimi



Cosa fa UNIBO ? Corso in Ingegneria Energetica (Nucleare)



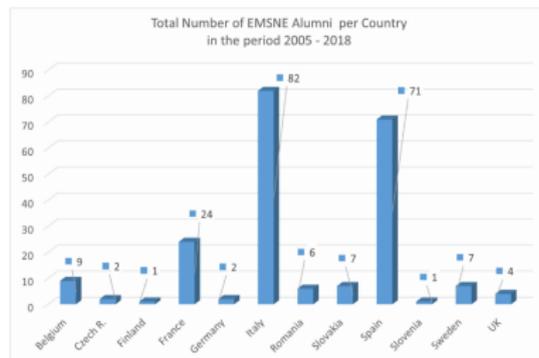
CIRTEN: Educazione in ambito internazionale (2023)

ENEN Association

CIRTEN è un membro fondatore di ENEN Association (the European Nuclear Education Network)

Internships, Summer/Winter Schools, Visits, MOOCs,...

EMSNE = European Master of Science in Nuclear Engineering



World Nuclear University

CIRTEN è un membro della World Nuclear University



Ruolo Università in Energia Nucleare e Neutralità Climatica

Obiettivo: Costo economico energia nucleare

Obiettivo: Contributo dell'energia nucleare alla Neutralità Climatica

Associazione delle Università nel CIRTEEN

Prospettive per un'energia nucleare sostenibile (CIRTEEN)

Conclusioni



Ricerca e collaborazioni



Ricerca e progetti europei



SAM SAFER
"Severe Accident Modeling and Safety Assessment for Fluid-fuel Energy Reactors"

ANSELMUS
"Advanced Nuclear Safety Evaluation of Liquid Metal Using Systems"

ECOSENS
"Economic and Social Considerations for the Future of Nuclear Energy in Society"

ESFR-Simple
"European Sodium Fast Reactor – Safety by Innovative Monitoring, Power Level flexibility and Experimental research"

PATRICIA
"Partitioning And Transmuter Research Initiative in a Collaborative Innovation Action"

PASCAL
"Proof of Augmented Safety Conditions in Advanced Liquid-metal-cooled systems"

PuMMA
"Plutonium Management for More Agility"

TANDEM
"Small Modular Reactor for a European safe and Decarbonized Energy Mix"

R2CA
"Reduction of Radiological Consequences of Design Basis and Design Extension Accidents"

ELSMOR
"Towards European Licencing of Small Modular Reactors"

SASPAM-SA
"Safety Analysis of SMR with Passive Mitigation strategies – Severe Accident"

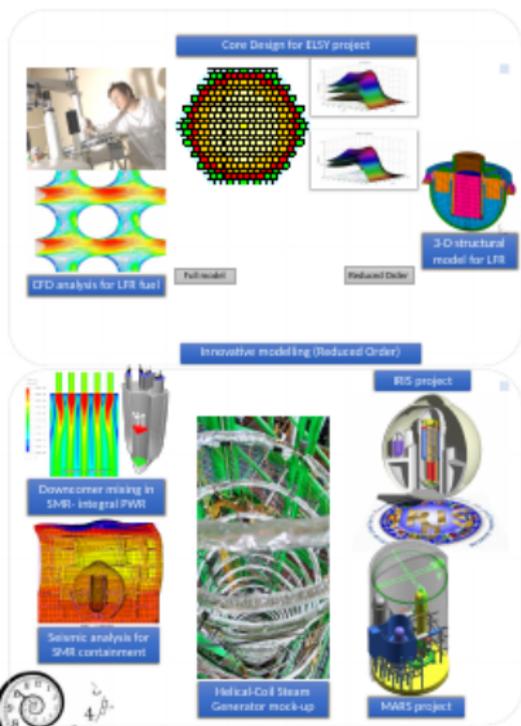
ENEN2plus
"Building European Nuclear Competence through continuous Advanced and Structured Education and Training Actions"

PERA HPC
"Investigations Supporting MOX Fuel Licensing in ESNII Prototype Reactors"

INSPIRE

Ricerca LWR-SMR (GEN-III) e LF-SMR (GEN-IV)

Ricerca Reattori di GEN-III/GEN-IV e SMR)



R&D activities for **Lead-cooled Fast Reactors**

- Partner of **FALCON** consortium for the development of **ALFRED** reactor
- Participation to Euratom projects and **GIF-GenIV** activities, experience on Accelerator Driven Systems

R&D activities for **Small Modular Reactors**

- Key partner of the **IRIS** project
- Developer of SMR (integral PWR) concepts
- Research activities performed for **EU SMR concepts** (FlexBlue, F-SMR, ELSMOR project)
- Collaborating with **IAEA** in SMR initiatives

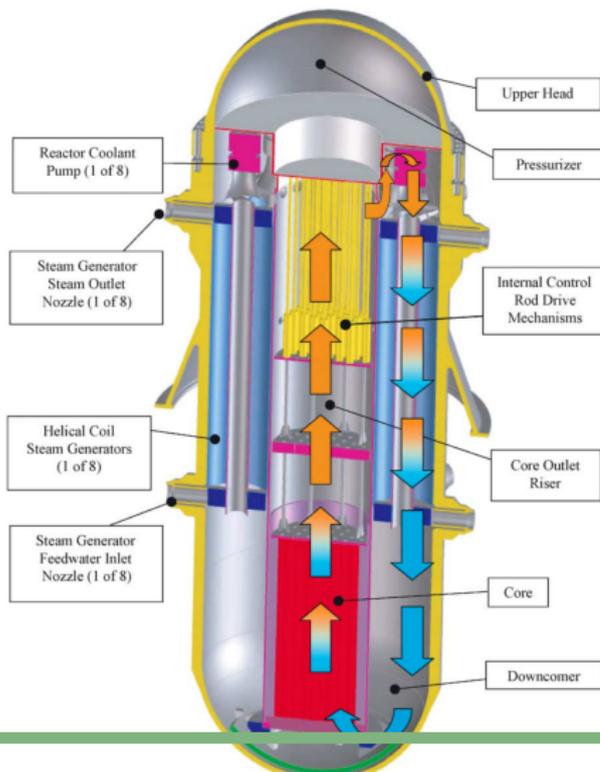


Ricerca LWR-SMR (GEN III+)

SMR LWR= Small Modular Reactor LWR= Reattore innovativo con potenza nominale di 300MWe che si fonda sulla ben consolidata tecnologia di reattori ad acqua di grandi dimensioni (LWR) IRIS.

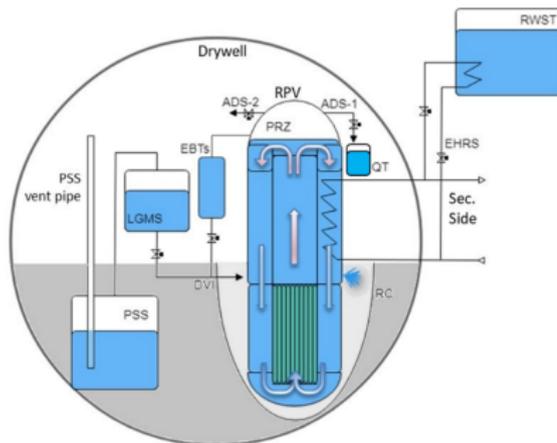
Sistemi di sicurezza passiva in un reattore di tipo IRIS

- ▶ Impiego di sistemi di sicurezza passiva
- ▶ Architettura basata sulla filosofia Safety-by-design



Ricerca LWR-SMR (GEN III+)

La strategia incidentale si basa sull'utilizzo di sistemi passivi GEN III:
EHRS - Emergency Heat Removal System (x4)
ADS - Automatic Depressurization System



DVI - Direct Vessel Injection lines (x2)
EBT - Emergency Boration Tank (x2)
LGMS - Long term Gravity Makeup System (x2)
PSS - Pressure Suppression System (x2)

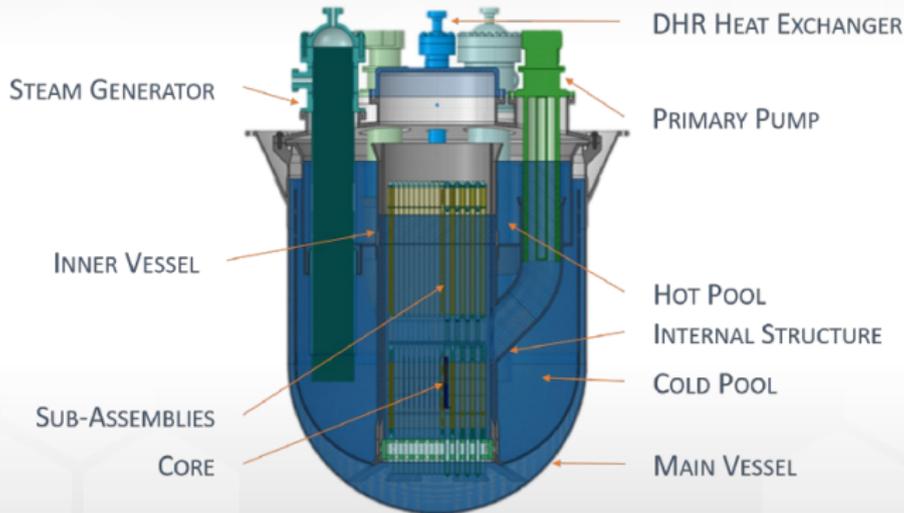


LF-SMR (Lead-Fast reactor) GEN-IV

LF=Lead Fast Small Modular Reactor (Nuovo design)

Piombo=refrigerante Reattore Veloce=Breeding (costo da determinare)

LF-SMR concept layout



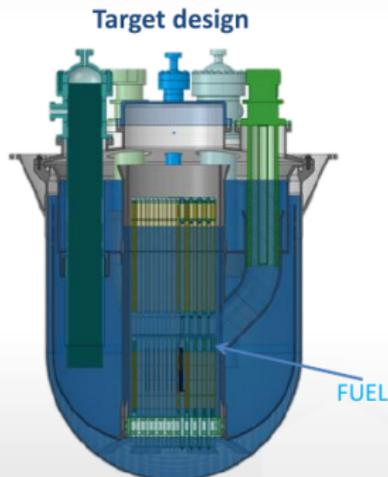
LF-SMR (Lead-Fast reactor) GEN-IV

Key challenges



Topics to be addressed

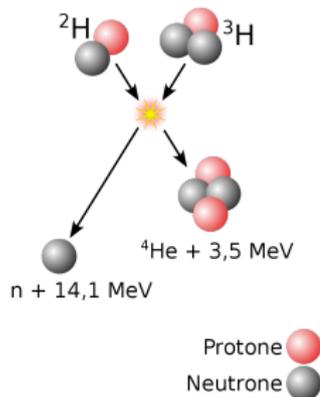
- Lead-fuel interaction:
 - assessment of chemical interaction between coolant and fuel elements
 - assessment of fuel propagation in the coolant (buoyancy/sinking, drag)
 - validation of system thermal-hydraulic codes for severe accidents analysis



Temperature limitata 550° per interazione guaina piombo (no idrogeno)



Reattori a Fusione



Dal punto ingegneristico da determinare. Progetto a lungo termine.



Ruolo Università in Energia Nucleare e Neutralità Climatica

Obiettivo: Costo economico energia nucleare

Obiettivo: Contributo dell'energia nucleare alla Neutralità Climatica

Associazione delle Università nel CIRTEN

Prospettive per un'energia nucleare sostenibile (CIRTEN)

Conclusioni





Grazie dell'attenzione !

