

L'ENERGIA

NUCLEARE

PARTECIPANTI: MATTIA BERTUZZI,, NICOLO' MANCINI,
LORENZO MOLINAROLI, MATTEO GARATTI



Nell'ambito del Progetto



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101094664.



Organizzato da



POLITECNICO
MILANO 1863



Con il patrocinio di



Comune
di Piacenza



TECNOPOLO
PIACENZA
EMILIA-ROMAGNA

IL NUCLEARE

1. CHE COS'È?

2. COME FUNZIONA?

3. I VANTAGGI

4. LE DIFFICOLTÀ

5. MIGLIORAMENTI AMBIENTALI

6. RISCHI

7. RIDUZIONE DI EMISSIONI

8. DIBATTITO

9. IL NUCLEARE DI NUOVA GENERAZIONE

10. LA TRANSIZIONE ENERGETICA

11. PROSPETTIVE FUTURE

Nell'ambito del Progetto



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101094664.



Organizzato da



POLITECNICO
MILANO 1863



Con il patrocinio di

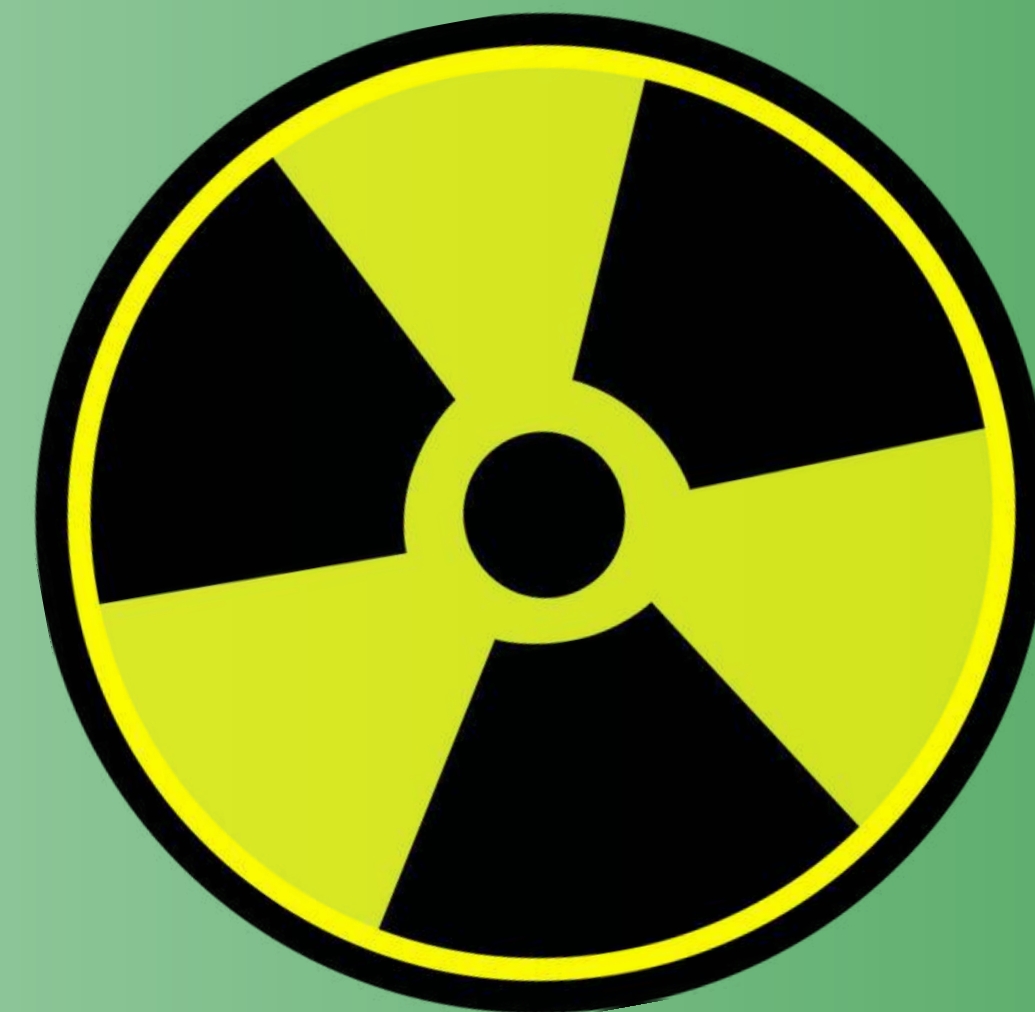


ENERGIA NUCLEARE

L'energia nucleare è una fonte primaria derivante dalle reazioni dell'atomo ed è utilizzata per produrre energia elettrica. Si basa su due tecnologie:

- **la fissione nucleare**, attualmente impiegata nelle centrali
- **la fusione nucleare**, ancora sperimentale.

Nella fissione, atomi di uranio o plutonio assorbono neutroni, si frammentano e rilasciano calore, che trasforma l'acqua in vapore per azionare turbine e generatori elettrici. Grazie all'altissima densità energetica dei combustibili nucleari, 1 kg di uranio-235 può generare un calore equivalente a circa 3000 tonnellate di carbone. Oggi il nucleare fornisce circa il 9% dell'elettricità mondiale.



Nell'ambito del Progetto



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101094664.



Organizzato da



LEAP
FOUNDED IN 2005 BY
POLITECNICO DI MILANO



POLITECNICO
MILANO 1863



Con il patrocinio di



Comune
di Piacenza



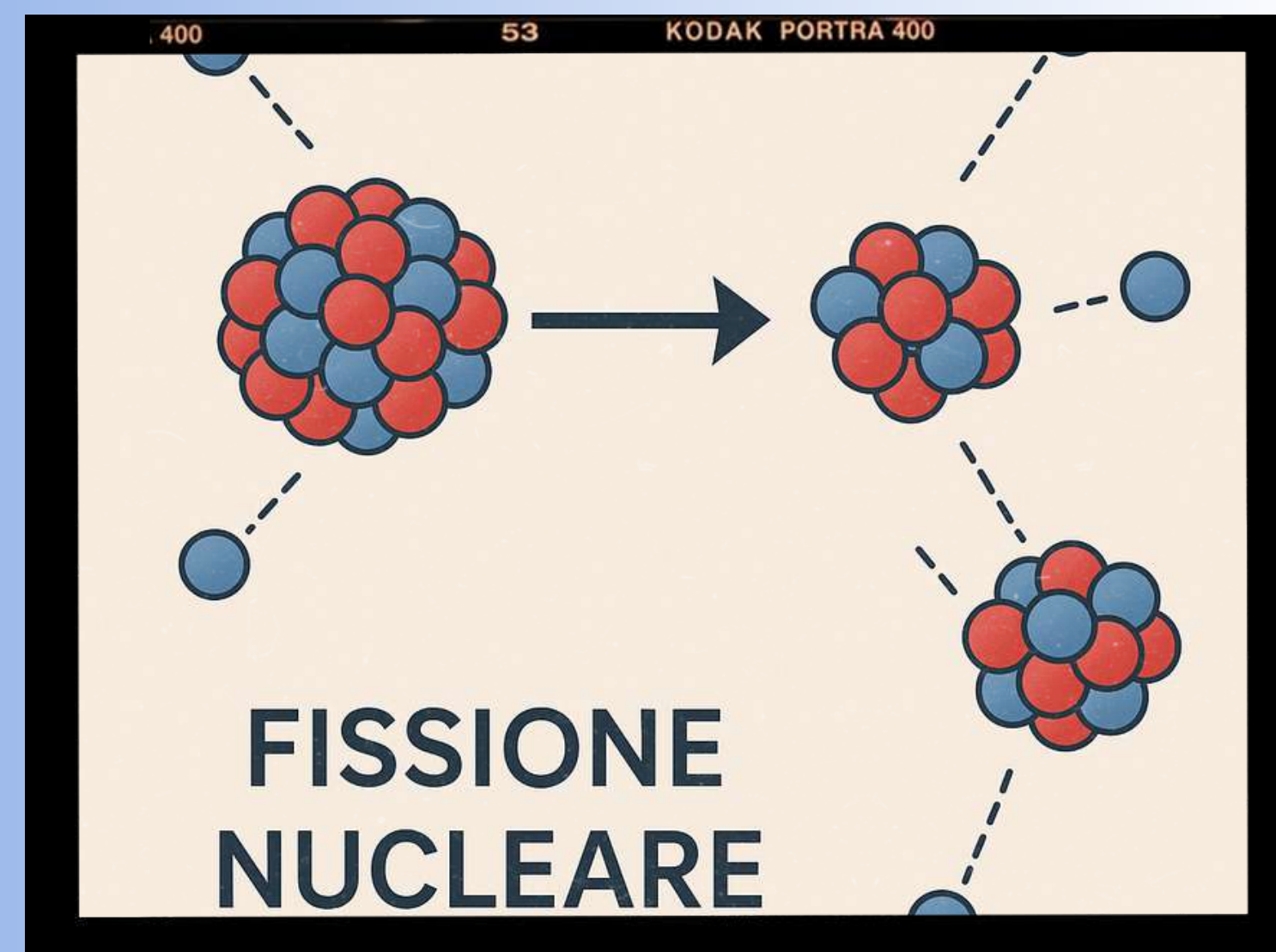
TECNOPOLLO
PIACENZA
EMILIA-ROMAGNA

Funzionamento della produzione di energia nucleare

- **La fissione nucleare**

La fissione nucleare consiste nella disintegrazione del nucleo di un atomo mediante il bombardamento di neutroni, che lo spezzano in due nuclei più leggeri. La somma delle masse dei prodotti è inferiore a quella del nucleo iniziale: la differenza si trasforma in energia, secondo l'equazione $E=mc^2$.

Se la quantità di materiale fissile è sufficiente, la fissione libera ulteriori neutroni che innescano una reazione a catena controllata. Nei reattori nucleari si utilizza l'uranio-235 come combustibile, che sviluppa grandi quantità di energia.



Nell'ambito del Progetto



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101094664.



Organizzato da



LEAP
FOUNDED IN 2005 BY
POLITECNICO DI MILANO



POLITECNICO
MILANO 1863



Con il patrocinio di



Comune
di Piacenza



TECNOPOLLO
PIACENZA
EMILIA-ROMAGNA

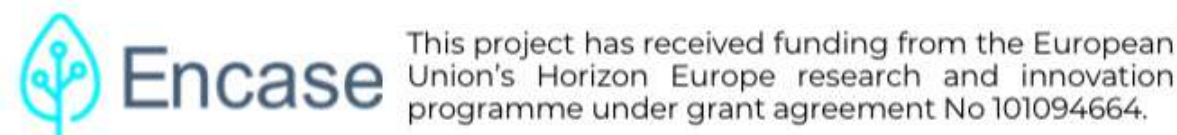
• Il funzionamento del reattore nucleare

All'interno di un reattore nucleare, la fissione controllata degli atomi di combustibile, come l'uranio-235, libera una grande quantità di energia termica. Questa energia viene trasferita a un circuito di raffreddamento, solitamente costituito da acqua, che circola attraverso il nocciolo del reattore.

Nei reattori ad acqua pressurizzata (PWR), l'acqua è mantenuta sotto alta pressione per impedirne l'ebollizione anche a temperature molto elevate; in questo modo, il calore viene trasportato in modo efficiente verso uno scambiatore di calore esterno. Nei reattori ad acqua bollente (BWR), invece, l'acqua si trasforma direttamente in vapore all'interno del nocciolo.

Il vapore generato, in entrambi i tipi di reattore, viene inviato a turbine che, azionate dal flusso di vapore, fanno girare dei generatori capaci di produrre energia elettrica. Per mantenere la reazione nucleare sotto controllo e alla potenza desiderata, si utilizzano delle barre di controllo, costituite da materiali in grado di assorbire neutroni in eccesso. Inserendo o estraendo queste barre dal nocciolo, si può modulare l'intensità della reazione e garantire la sicurezza e la stabilità dell'intero impianto.

Nell'ambito del Progetto



Organizzato da



Con il patrocinio di



Vantaggi

- **Affidabilità e alta capacità:**

Le centrali nucleari operano in modo continuo e affidabile, con un capacity factor superiore al 90%, garantendo una fornitura stabile di elettricità alla rete quasi tutto l'anno.

- **Elevata densità energetica:**

Grazie alla compattezza del combustibile nucleare, le centrali possono produrre enormi quantità di energia con piccole quantità di combustibile. Ad esempio, 1 g di combustibile nucleare equivale a migliaia di litri di olio combustibile.

- **Costi operativi bassi:**

Il reattore richiede rifornimenti di combustibile meno frequenti rispetto alle centrali a gas o carbone, riducendo così i costi operativi e migliorando l'efficienza complessiva.

Nell'ambito del Progetto



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101094664.



Organizzato da



FOUNDED IN 2005 BY
POLITECNICO DI MILANO



POLITECNICO
MILANO 1863



Con il patrocinio di



Comune
di Piacenza



TECNOPOLO
PIACENZA
EMILIA-ROMAGNA

Svantaggi

- **Gestione dei rifiuti radioattivi:**

Il combustibile esaurito contiene isotopi ad altissima radioattività che devono essere isolati per decine di migliaia di anni in depositi geologici sicuri.

- **Complessità nella costruzione e manutenzione:**

I reattori nucleari richiedono materiali speciali resistenti alle radiazioni e costosi sistemi di sicurezza. Ogni centrale è dotata di più barriere protettive, come vasche di contenimento in cemento armato e sistemi automatici di spegnimento, per prevenire incidenti catastrofici.

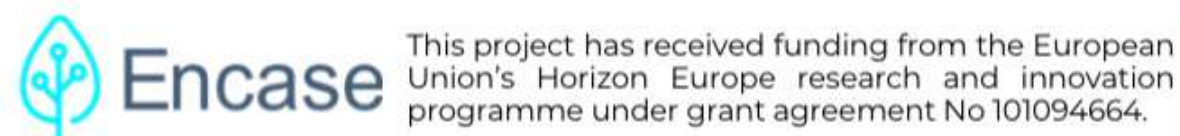
- **Invecchiamento e usura degli impianti:**

L'invecchiamento delle centrali causa fenomeni di corrosione e fatica dei materiali, che richiedono continui controlli. Alla fine della vita utile, sono necessarie costose operazioni di decommissioning.

- **Elevati standard di sicurezza e affidabilità:**

Mantenere la sicurezza e l'affidabilità di un impianto nucleare richiede elevati standard ingegneristici e procedurali.

Nell'ambito del Progetto



Organizzato da



Con il patrocinio di

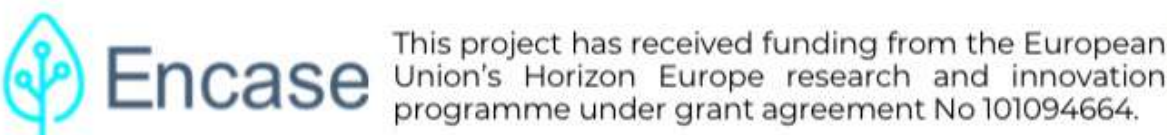


Impatti ambientali positivi

Sul fronte ambientale, il nucleare presenta impatti positivi rispetto ai combustibili fossili. Durante il funzionamento una centrale nucleare non emette gas serra o inquinanti atmosferici (anidride carbonica, ossidi di azoto, zolfo, particolato) . Pertanto, a parità di elettricità prodotta, il nucleare evita le emissioni di decine di milioni di tonnellate di CO₂ che comporterebbe l'uso di carbone o gas. In effetti, su base di intero ciclo di vita le emissioni medie di CO₂ per kWh di elettricità da nucleare sono comparabili a quelle dell'eolico e molto inferiori rispetto a carbone o gas . Questo basso impatto climatico ha già dato frutti: secondo l'AIEA l'uso del nucleare ha evitato oltre 60 gigatonnellate di CO₂ negli ultimi 50 anni . In sostanza, ogni reattore nucleare in funzione riduce significativamente l'impronta di carbonio del settore energetico, contribuendo alla qualità dell'aria e agli obiettivi di mitigazione del cambiamento climatico.



Nell'ambito del Progetto



Organizzato da



POLITECNICO
MILANO 1863



Con il patrocinio di



Problemi ambientali (scorie, rischi di incidenti)

D'altro canto il nucleare genera problematiche ambientali specifiche. Il combustibile esaurito e altri rifiuti radioattivi devono essere trattati con estrema cura: la loro radioattività diminuisce molto lentamente nel tempo, obbligando a soluzioni di stoccaggio a lungo termine . Anche i processi estrattivi (miniere di uranio) lasciano residui radioattivi.

Un altro aspetto critico è il rischio, per quanto remoto, di incidenti gravi. Eventi catastrofici come il disastro di Chernobyl (1986) hanno provocato contaminazione diffusa di territorio e sostanze radioattive con effetti sanitari (per es. centinaia di casi di tumore alla tiroide tra i giovani esposti) . L'incidente di Fukushima (2011), pur avendo causato nessuna vittima direttamente per la radiazione, ha generato crisi di fiducia nei confronti della sicurezza nucleare.

Questi episodi hanno evidenziato come, in caso di cedimento dei sistemi di sicurezza, sia possibile dispersione radioattiva ambientale con conseguenze sanitarie e sociali rilevanti. A causa di ciò il nucleare richiede norme di sicurezza estremamente rigorose, ma la memoria storica di tali incidenti alimenta ancora oggi dubbi e preoccupazioni pubbliche.

Nell'ambito del Progetto



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101094664.



Organizzato da



FOUNDED IN 2005 BY
POLITECNICO DI MILANO



POLITECNICO
MILANO 1863



Con il patrocinio di



Comune
di Piacenza



EMILIA-ROMAGNA

Ruolo nella riduzione delle emissioni di CO₂

L'energia nucleare è una delle risorse più importanti per la riduzione delle emissioni di CO₂ a scala globale. Ogni centrale in funzione sostituisce impianti a combustibili fossili e quindi evita milioni di tonnellate di CO₂ ogni anno. In termini intuitivi, il nucleare evita quantità di anidride carbonica pari a mettere «fuori uso» un terzo di tutte le automobili in circolazione. Solo negli Stati Uniti, il nucleare impedisce l'emissione di circa 471 milioni di tonnellate di CO₂ ogni anno (equivalenti alle emissioni di 100 milioni di automobili). Complessivamente, come evidenzia l'AIEA, nel corso degli ultimi cinquant'anni l'uso del nucleare ha permesso di evitare oltre 60 gigatonnellate di CO₂. Tale contributo è fondamentale: mantenere o incrementare il peso del nucleare nel mix energetico globale riduce drasticamente le emissioni complessive del settore elettrico, accelerando il raggiungimento degli obiettivi climatici internazionali.

Nell'ambito del Progetto



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101094664.



Organizzato da



LEAP
FOUNDED IN 2005 BY
POLITECNICO DI MILANO



POLITECNICO
MILANO 1863



Con il patrocinio di



Comune
di Piacenza



TECNOPOLO
PIACENZA
EMILIA-ROMAGNA

Dibattito sociale ed etico sull'uso dell'energia nucleare

Il nucleare è al centro di un acceso dibattito sociale ed etico. Da un lato molti esperti e cittadini riconoscono la sua importanza nella lotta ai cambiamenti climatici; dall'altro le preoccupazioni sui rischi e sulla gestione dei rifiuti sollevano questioni di responsabilità morale. In Italia, per esempio, sondaggi recenti mostrano un consenso in crescita verso il nucleare: oltre il 50% degli intervistati si dichiara disposto a votare a favore di nuove centrali nucleari di ultima generazione .

Ciò si spiega con la percezione del nucleare come strumento di indipendenza energetica e di decarbonizzazione. Tuttavia l'opinione pubblica è anche influenzata dagli incidenti storici. È interessante notare che studi internazionali rilevano come il nucleare abbia statisticamente il numero più basso di vittime per unità di energia prodotta rispetto a qualsiasi altra fonte energetica .

Nonostante questo, i catastrofici casi di Chernobyl e Fukushima mantengono vivo il timore di possibili conseguenze catastrofiche. Il dibattito etico verte quindi sul bilanciamento tra i benefici collettivi (minori emissioni e sicurezza dell'approvvigionamento) e i potenziali danni alla salute e all'ambiente, soprattutto per le generazioni future.

Nell'ambito del Progetto



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101094664.



Organizzato da



LEAP
FOUNDED IN 2005 BY
POLITECNICO DI MILANO



POLITECNICO
MILANO 1863



Con il patrocinio di



Comune
di Piacenza



TECNOPOLO
PIACENZA
EMILIA-ROMAGNA

Il nucleare di nuova generazione e le innovazioni tecnologiche

Negli ultimi anni si è parlato molto di SMR (Small Modular Reactors) e di reattori di quarta generazione come possibili carte vincenti del nucleare futuro. Gli SMR sono reattori più piccoli (dai pochi alle centinaia di MW) progettati per essere prodotti in serie in fabbrica e facilmente installabili in loco . La modularità riduce i tempi e i costi di costruzione e li rende adatti anche per reti elettriche più piccole o remote.

I reattori Gen-IV (Advanced Modular Reactors) utilizzano invece raffreddatori innovativi (ad esempio piombo liquido, gas o sali fusi ad altissime temperature) e combustibili avanzati, per raggiungere efficienze termiche molto elevate (fino al 40-42% rispetto al ~30% degli attuali LWR) . Inoltre, molti progetti Gen-IV prevedono l'uso di neutroni veloci, che bruciano i materiali fissili in modo più completo e generano scorie a vita molto più breve .

In generale, queste nuove tecnologie mirano a offrire maggiore sicurezza intrinseca (sistemi passivi), minori rifiuti a lunga vita, produzione di idrogeno e cogenerazione di calore industriale, migliorando al contempo la competitività economica rispetto alle centrali tradizionali .

Nell'ambito del Progetto



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101094664.



Organizzato da



POLITECNICO
MILANO 1863



Con il patrocinio di



Comune
di Piacenza



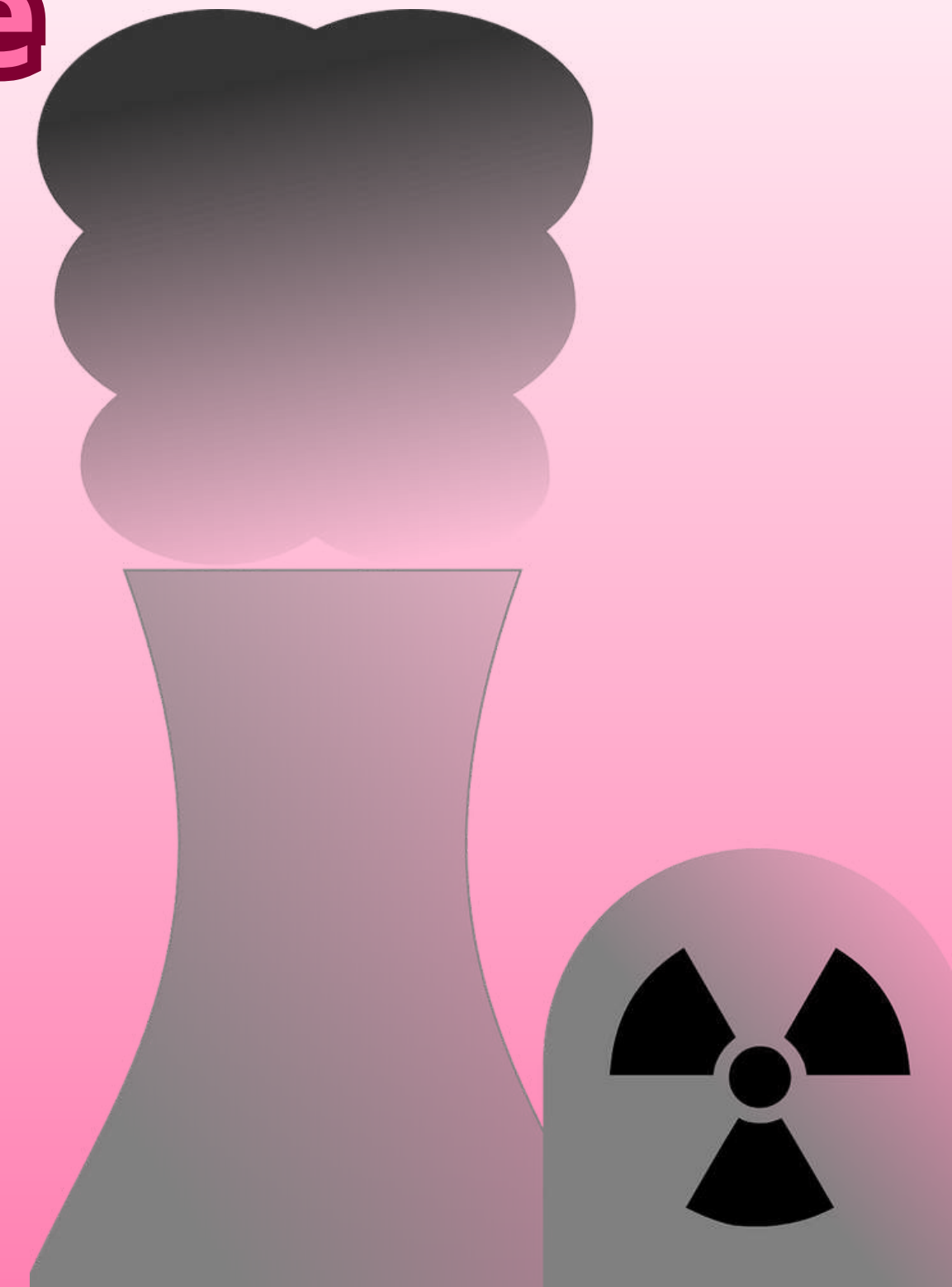
TECNOPOLO
PIACENZA
EMILIA-ROMAGNA

L'energia nucleare nella transizione energetica globale

Nel contesto della transizione energetica, il nucleare rimane una fonte di primissimo piano. Oggi circa il 10% dell'elettricità mondiale proviene dal nucleare, che rappresenta oltre un terzo della generazione elettrica a basse emissioni.

Organizzazioni internazionali come il IPCC e l'AIE sottolineano che non è realistico raggiungere gli obiettivi climatici (per esempio il contenimento del riscaldamento globale a +1,5°C) senza un consistente apporto nucleare. Secondo il WNA, la quota del nucleare dovrà aumentare sensibilmente per decarbonizzare il settore elettrico entro il 2050.

Il nucleare infatti è una fonte già disponibile su larga scala e in grado di produrre energia continua, fungendo da complemento stabile alle rinnovabili intermittenti. In pratica, accanto a solare ed eolico il nucleare garantisce continuità di fornitura e stabilità delle reti, favorendo la sostituzione dei fossili con energie pulite.



Nell'ambito del Progetto



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101094664.



Organizzato da



LEAP
FOUNDED IN 2005 BY
POLITECNICO DI MILANO



POLITECNICO
MILANO 1863



Con il patrocinio di



Comune
di Piacenza



TECNOPOLO
PIACENZA
EMILIA-ROMAGNA

Conclusione: prospettive future dell'energia nucleare

Le prospettive future del nucleare sono legate all'equilibrio tra necessità energetiche e problematiche aperte. Secondo l'ultimo World Energy Outlook dell'AIE, la capacità nucleare mondiale, oggi intorno a 416 GW, potrebbe salire a circa 647 GW entro il 2050 seguendo le politiche correnti .

Ciò implica un raddoppio di massima grandezza, dovuto sia all'entrata in servizio di nuovi reattori III/III+ sia alla possibile diffusione degli SMR e delle tecnologie Gen-IV. Se i governi e le industrie investiranno in ricerca, sicurezza e accettazione pubblica, il nucleare potrà giocare un ruolo chiave nella transizione verso una produzione energetica sostenibile.

Rimangono tuttavia sfide non banali: gestire in sicurezza le scorie, contenere i costi di investimento e rispondere alle preoccupazioni sociali. In definitiva, il nucleare di nuova generazione, combinato a un mix di rinnovabili e sistemi di stoccaggio, potrebbe contribuire in modo determinante al raggiungimento degli obiettivi climatici internazionali

Nell'ambito del Progetto



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101094664.



Organizzato da



LEAP
FOUNDED IN 2005 BY
POLITECNICO DI MILANO



POLITECNICO
MILANO 1863



Con il patrocinio di



Comune
di Piacenza



TECNOPOLO
PIACENZA
EMILIA-ROMAGNA

FONTI:

- International Atomic Energy Agency. 2023. Nuclear Power and the Clean Energy Transition. <https://www.iaea.org>.
- International Energy Agency. 2023. World Energy Outlook 2023. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022. AR6 Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. <https://www.ipcc.ch>.
- U.S. Department of Energy. 2023. Advanced Small Modular Reactors (SMRs). <https://www.energy.gov>.
- World Nuclear Association. 2023. Nuclear Power Today. <https://www.world-nuclear.org>.
- European Nuclear Society. 2023. Types of Nuclear Reactors. <https://www.euronuclear.org>.
- Agenzia Internazionale per l'Energia. 2022. Statistics and Emissions Factors. <https://www.iea.org>.
- Treccani. n.d. Energia nucleare. Enciclopedia della Scienza e della Tecnica. <https://www.treccani.it>.
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica. 2023. Transizione Energetica e Opinione Pubblica. <https://www.mase.gov.it>.
- World Energy Council. 2022. World Energy Trilemma Index. <https://www.worldenergy.org>.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2021. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. <https://www.unscear.org>.
- ScienceDirect. 2023. Latest Research on Generation IV Reactors. <https://www.sciencedirect.com>.

Nell'ambito del Progetto



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101094664.



Organizzato da



POLITECNICO
MILANO 1863



Con il patrocinio di



Comune
di Piacenza



TECNOPOLO
PIACENZA
EMILIA-ROMAGNA