



UNIVERSITÀ DI PISA



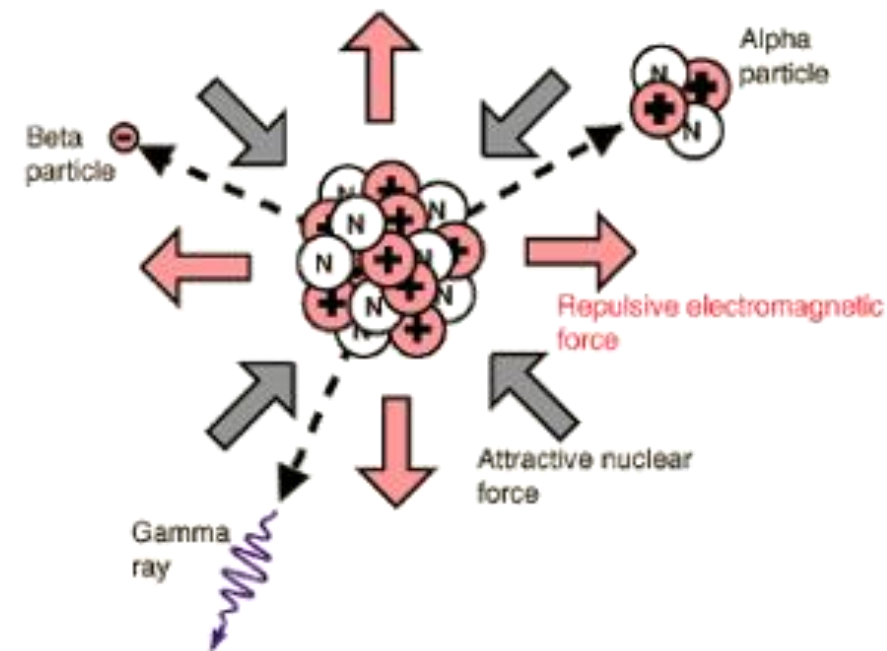
Transizione Energetica Produzione di energia nucleare Concetti base

Prof. Francesco d'Errico

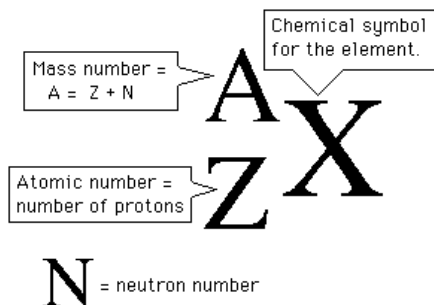
Università di Pisa e Associazione Italiana di
Radioprotezione

6 Marzo | Palazzo San Giorgio - Sala del Capitano - Via della Mercanzia, 2 - Genova

- La radiazione è l'emissione di energia (onde o particelle).
 - Questo comprende l'intero spettro elettromagnetico, dalle onde radio ai raggi gamma ad alta energia.
 - Quando ci riferiamo alla radiazione nel contesto dell'energia nucleare, intendiamo particelle alfa, beta, raggi gamma e, soprattutto, neutroni.
- La radioattività è l'emissione di radiazioni da parte di atomi il cui nucleo è instabile

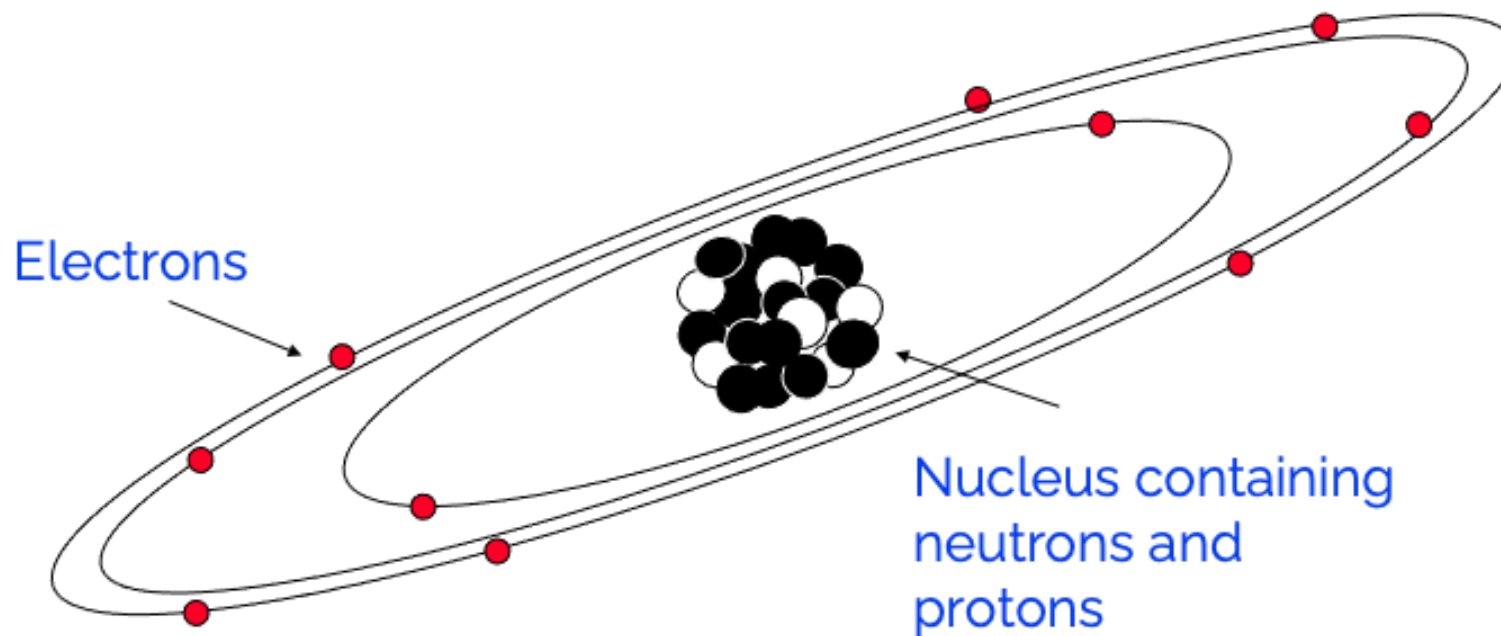


Gli isotopi radioattivi sono nuclei instabili e rilasciano radiazioni (onde e particelle) durante il loro decadimento.

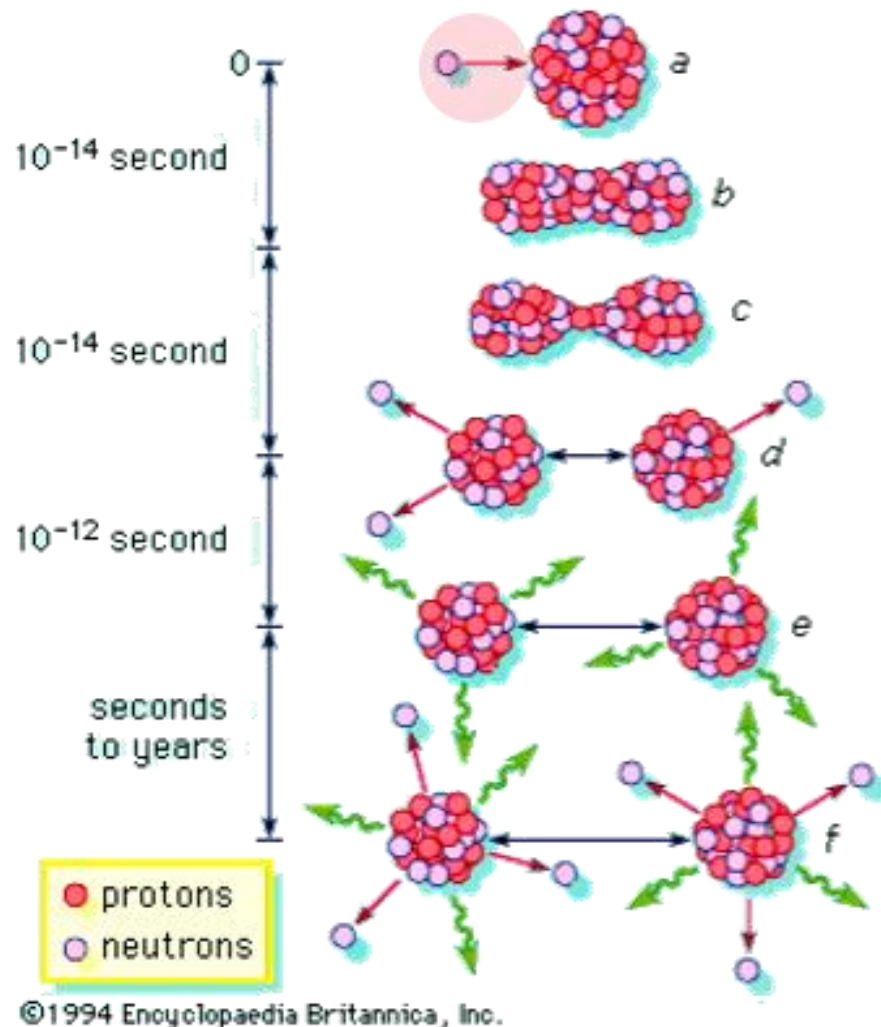


Nuclide	Protons	Neutrons	Ratio
He-4	2	2	1
P-31	15	16	1.067
Zn-65	30	35	1.167
I-127	53	74	1.396
U-238	92	146	1.587

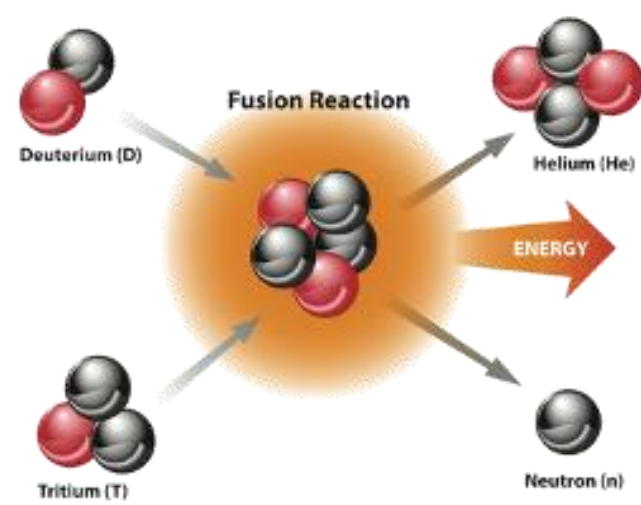
Example - Neon-20



- Un elemento è la più piccola quantità di una sostanza che conserva ancora le proprietà chimiche di quella sostanza.
- Gli elementi sono classificati in base al numero Z di protoni nei loro atomi ed in base a questo sono disposti in ordine nella Tavola Periodica.

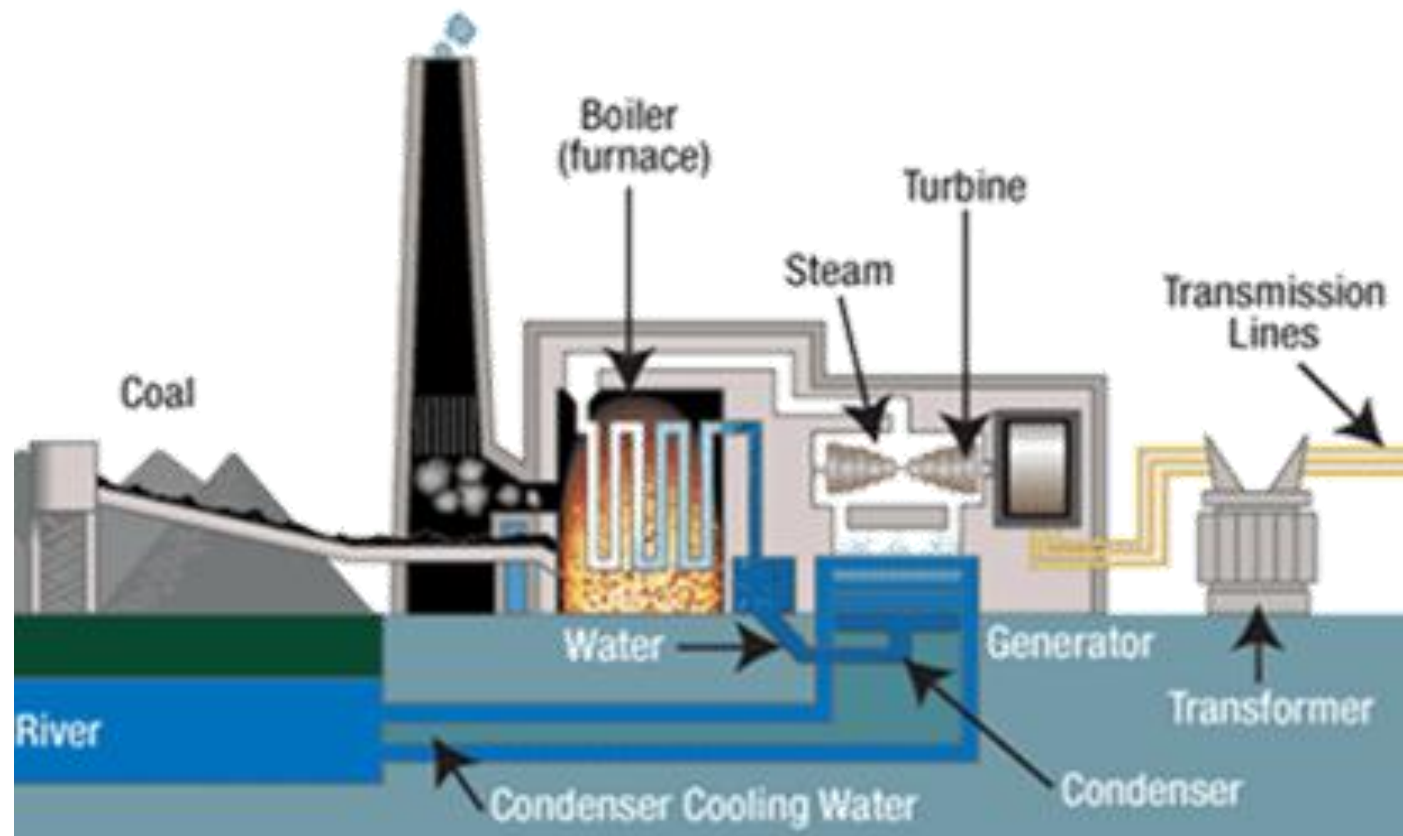
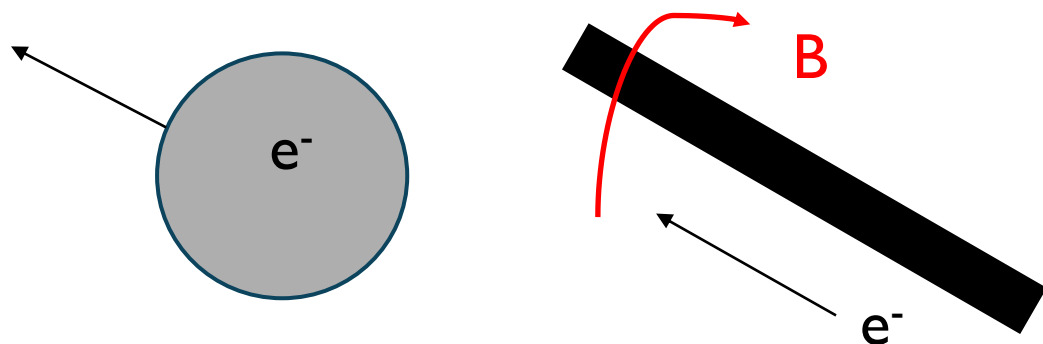


- Fissione – “scissione”, ad es. dell’uranio, attuale fonte di energia
- Fusione – “unione”, ad es. di deuterio e trizio nel sole e nelle stelle, futura fonte di energia



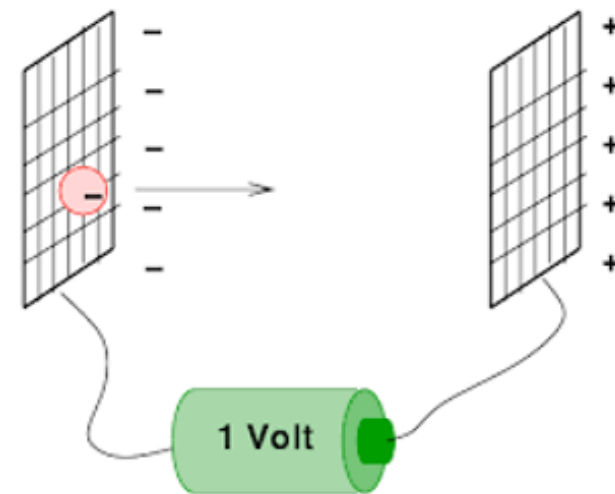
Produrre elettricità significa far muovere elettroni.

Il modo più semplice per farlo è far ruotare un magnete.



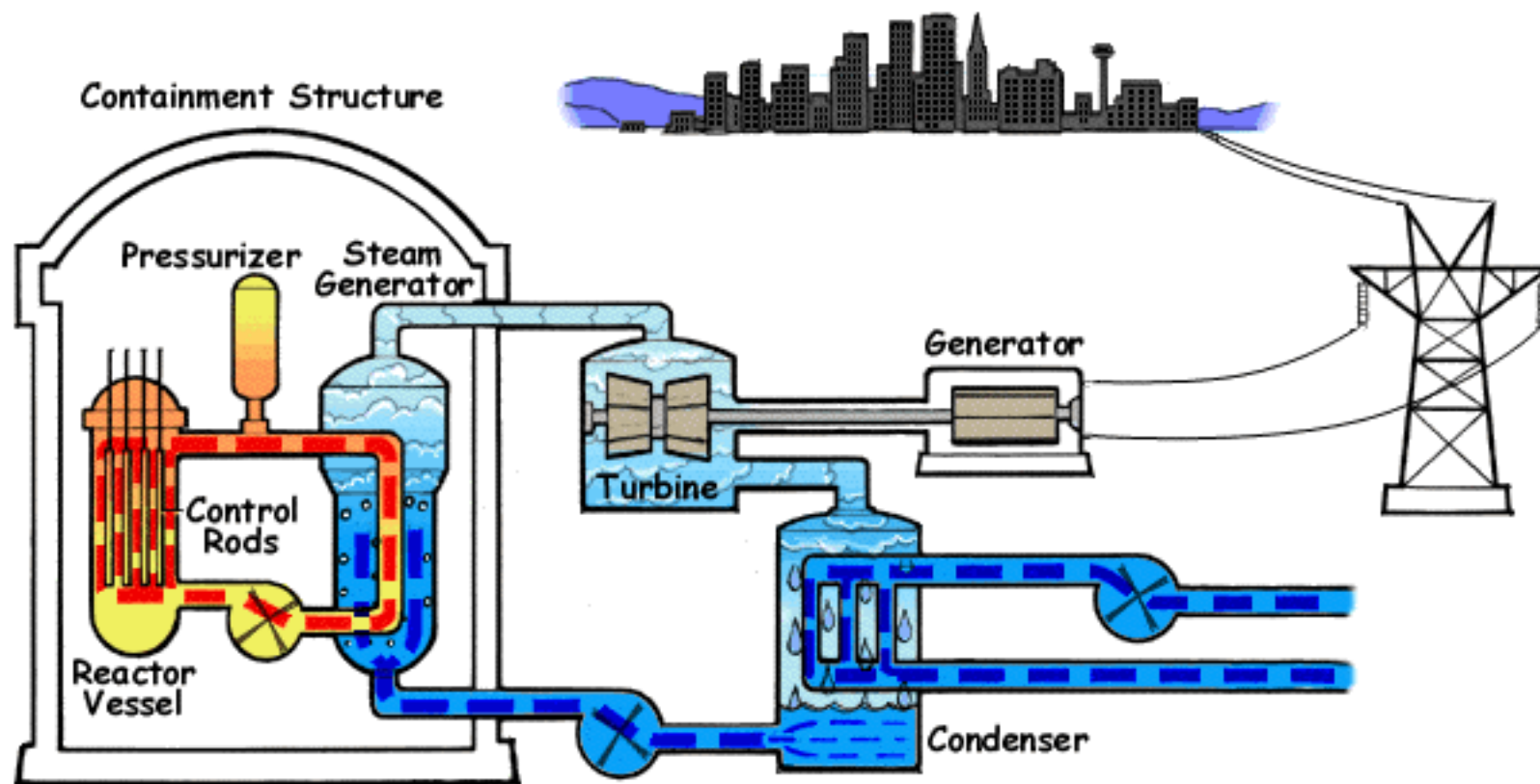
Energia per reazione molecolare o nucleare

- Combustione ($C + O_2 \rightarrow CO_2$) 2 - 3 eV
- Fissione 200.000.000 eV (200 MeV)

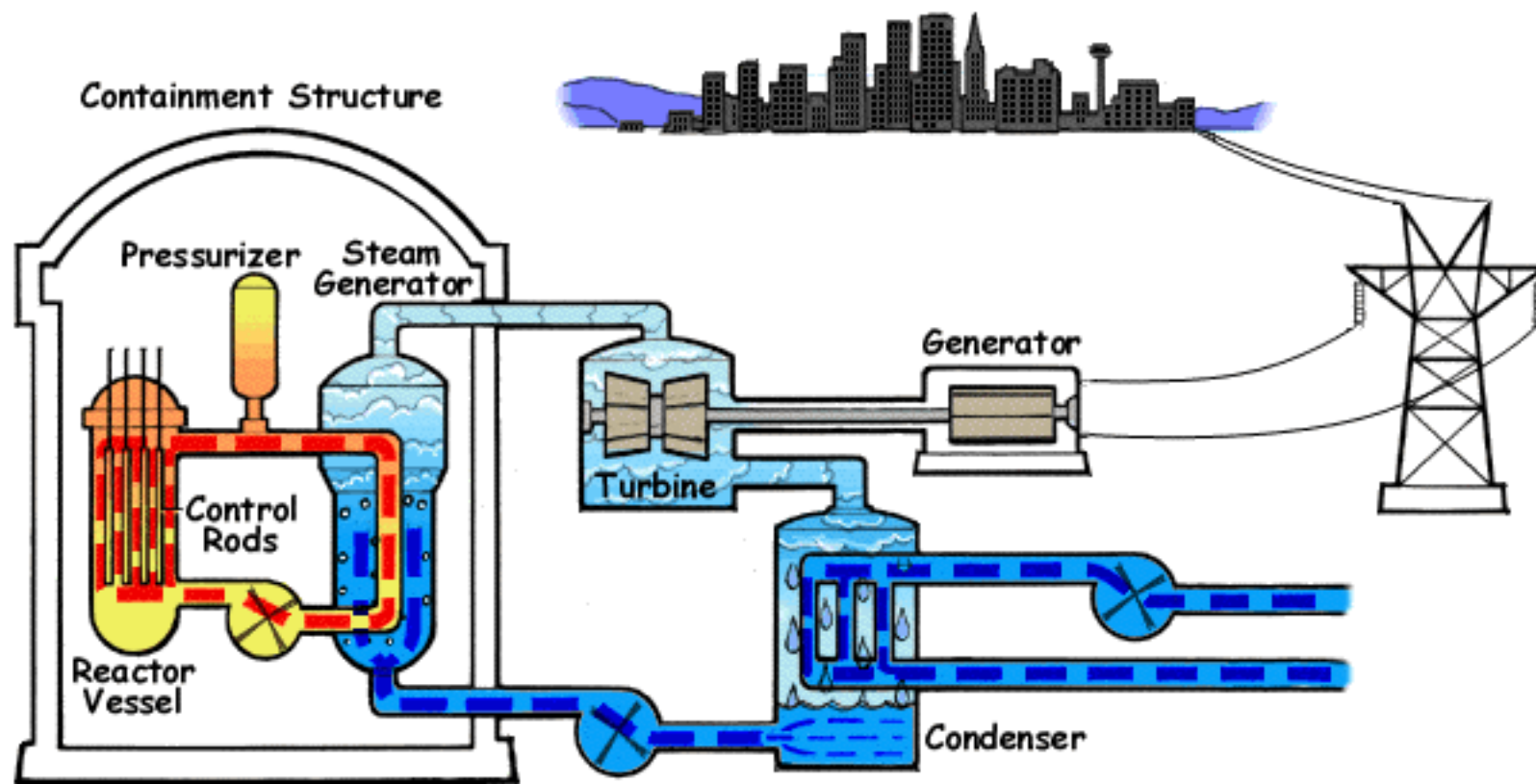


L'elettron-volt è l'energia acquisita da elettrone accelerato attraverso differenza di potenziale di un volt.

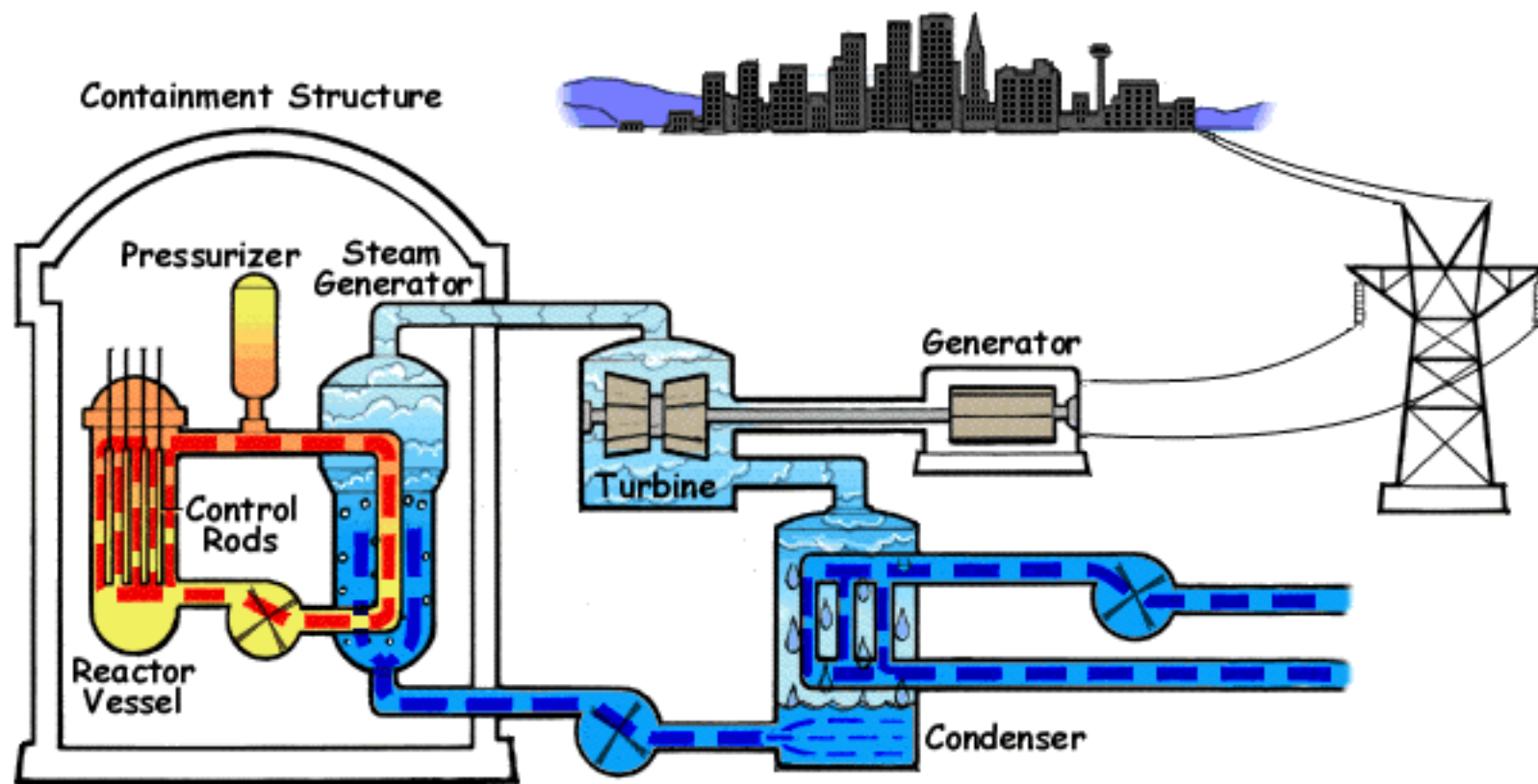
- Pastiglie di UO_2 con circa 5% di U-235 impilate in barre di combustibile.
- Barre rivestite con lega zirconio-alluminio resistente, disposte in griglia 17×17 .
- Gran parte dell'U-235 e piccola frazione U-238 trasmutano in prodotti di fissione e attinidi pesanti.



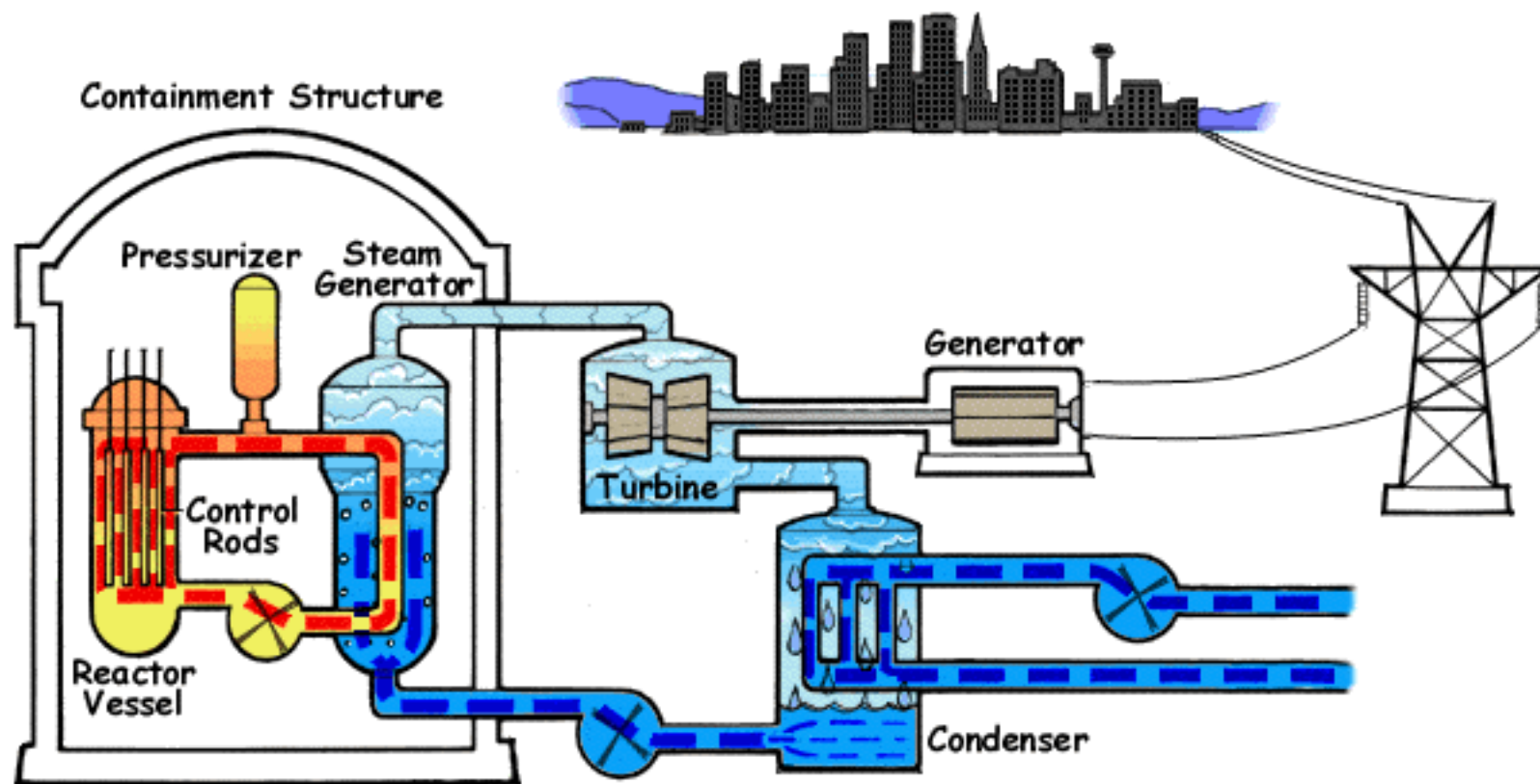
- I neutroni nascono a velocità elevata, quindi il reattore deve rallentarli fino a “velocità termiche”.
- Questo avviene tramite numerose collisioni elastiche tra i neutroni e il moderatore.
- Nei reattori ad acqua leggera standard (LWR) il moderatore è l’acqua, ma in altri progetti si utilizzano acqua pesante (D_2O) o grafite.



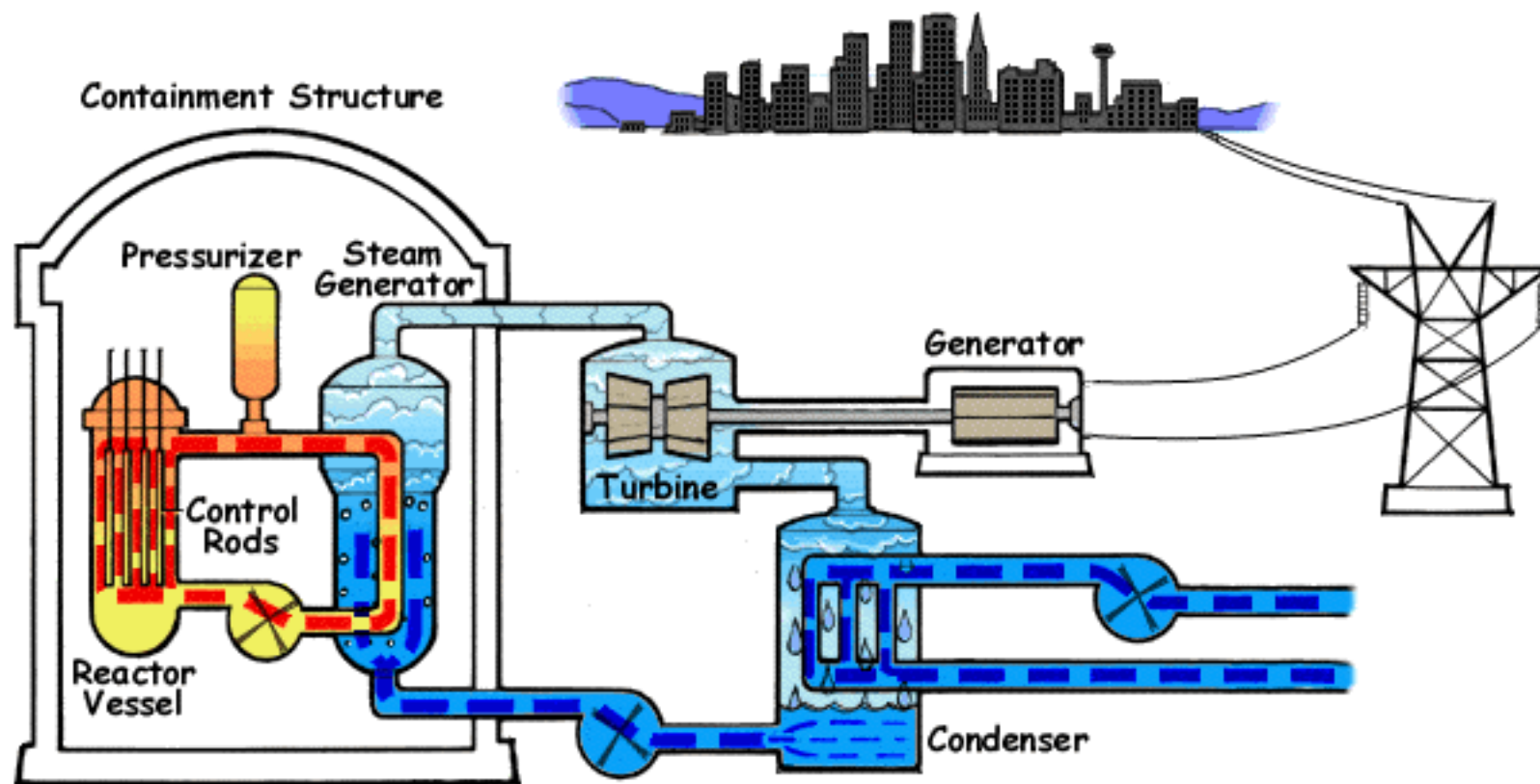
- Il refrigerante svolge una duplice funzione: trasportare il calore per generare elettricità e mantenere freddi gli elementi del reattore.
- L'acqua è refrigerante e moderatore negli LWR standard, ma altri progetti possono richiedere refrigeranti che non moderano, come gas (He , CO_2) o metalli liquidi (Na , Pb).



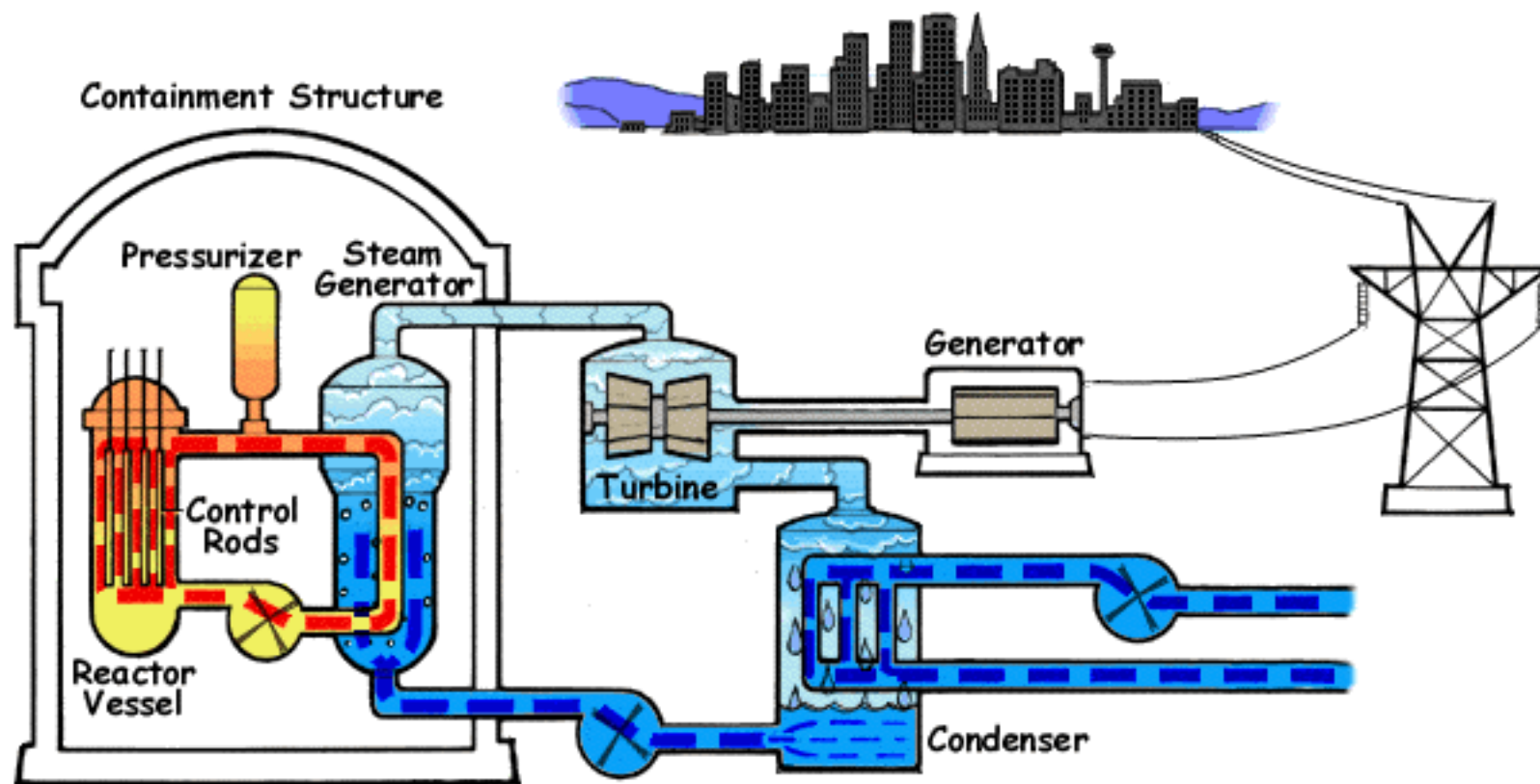
- L'acqua svolge sia la funzione di moderatore sia di refrigerante nei LWR.
- Senza acqua non c'è moderazione né reazione nucleare a catena.
- L'acqua è meno efficace come moderatore a temperature più elevate.
- Acqua più calda significa minore densità, quindi meno atomi per interagire con i neutroni.



- Le barre di controllo sono barre assorbenti di neutroni che possono essere inserite o rimosse individualmente dal nocciolo.
- Queste barre possono accelerare, rallentare o arrestare completamente la reazione nucleare a catena.

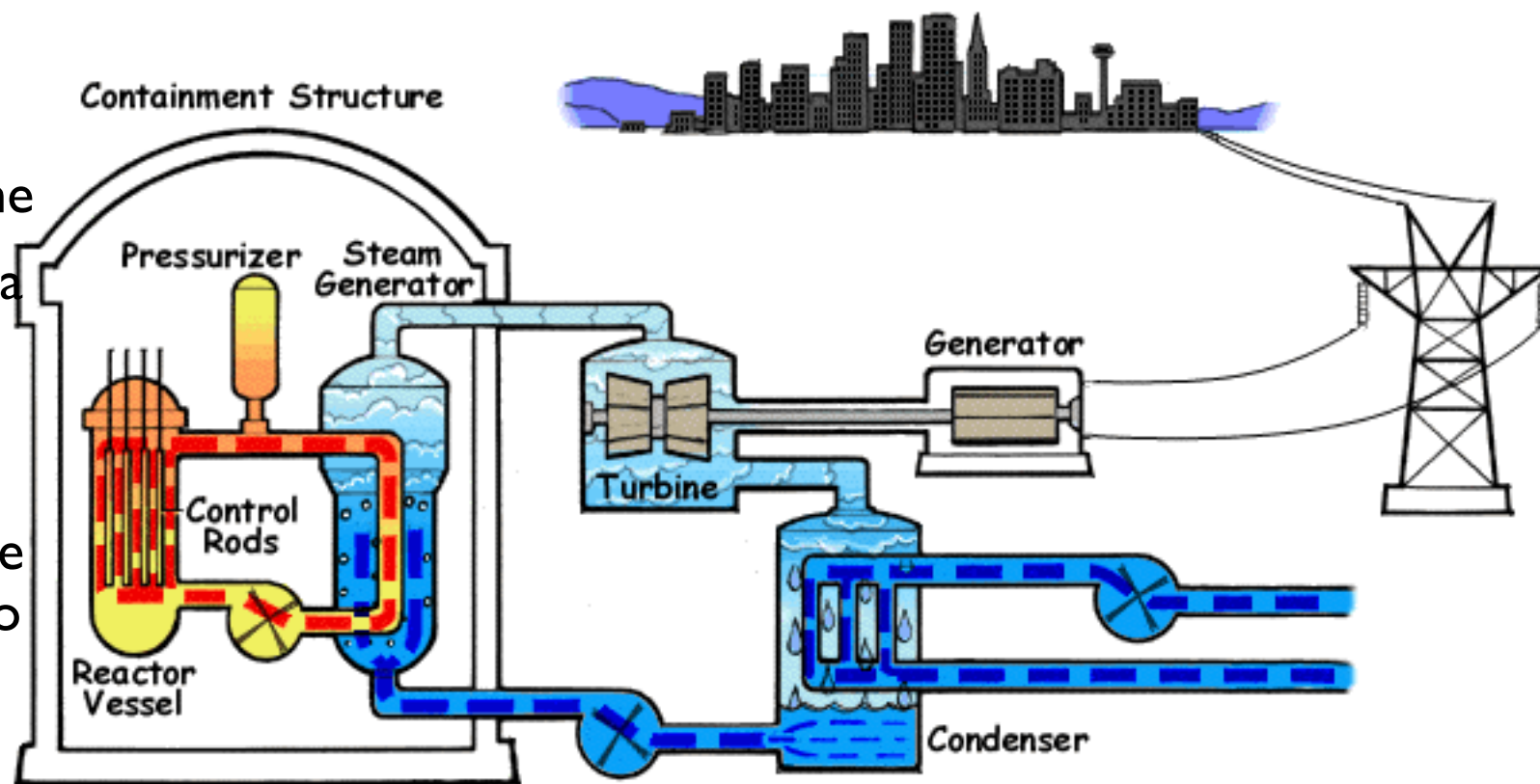


- Il refrigerante rimuove il calore e trasforma l'acqua in vapore.
 - Un reattore ad acqua bollente (BWR) fa bollire l'acqua nel nocciolo e aziona direttamente la turbina.
 - Un reattore ad acqua pressurizzata (PWR) utilizza un secondo circuito per trasferire il calore e produrre vapore.
- I refrigeranti non acquosi richiedono un passaggio aggiuntivo per trasferire il calore e generare elettricità.
- La turbina aziona il generatore.



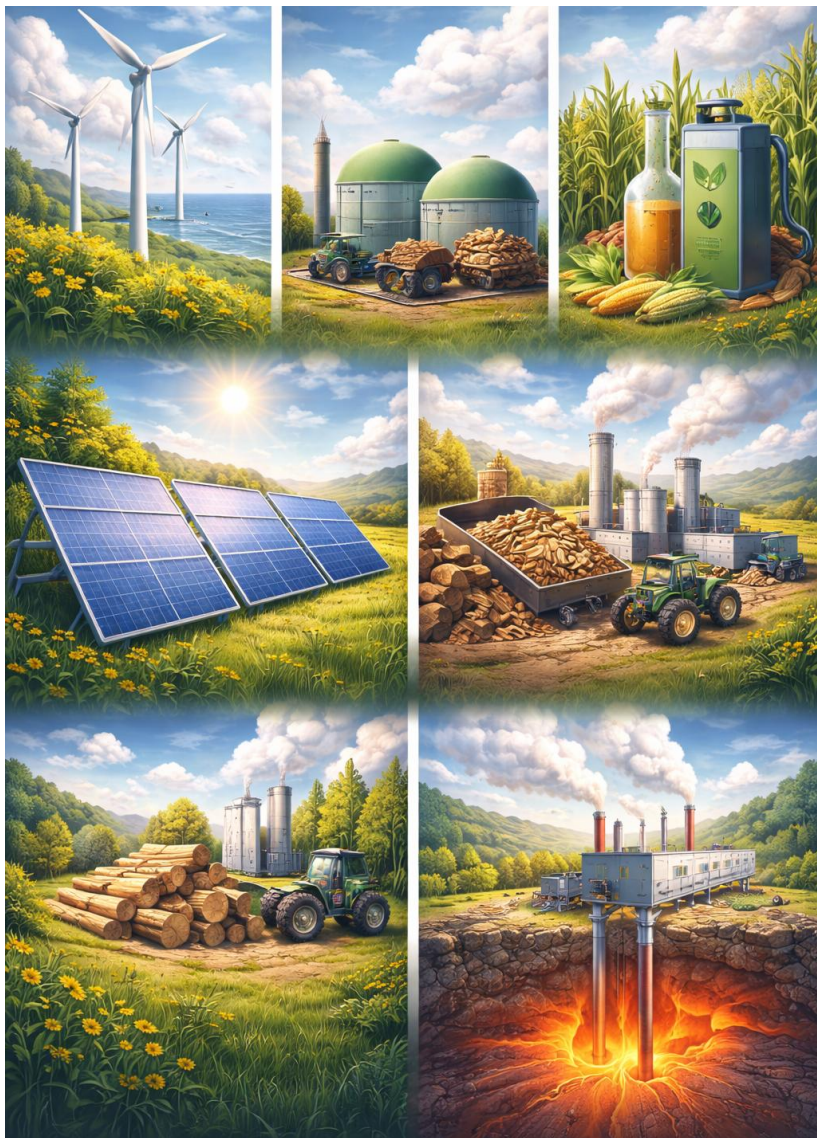
Le barriere seguono il principio della difesa in profondità.

1. Matrice del combustibile - Il materiale ceramico (UO_2) trattiene molti prodotti di fissione
2. Rivestimento delle barre - Guaina che sigilla il combustibile e impedisce la fuoriuscita dei prodotti radioattivi.
3. Circuito primario del refrigerante - Tubazioni e vessel che confinano il refrigerante radioattivo.
4. Edificio di contenimento - Struttura in cemento armato e acciaio che isola il reattore dall'ambiente esterno.





- L'energia nucleare è una delle varie strategie energetiche per ridurre le emissioni di carbonio.
- Le centrali nucleari operano a circa il 90% della loro capacità, di solito si tratta di un periodo continuo di mesi interrotto dal rifornimento di combustibile.
- I reattori producono piccole quantità di residui altamente tossici, che vanno gestiti e potenzialmente utilizzati.

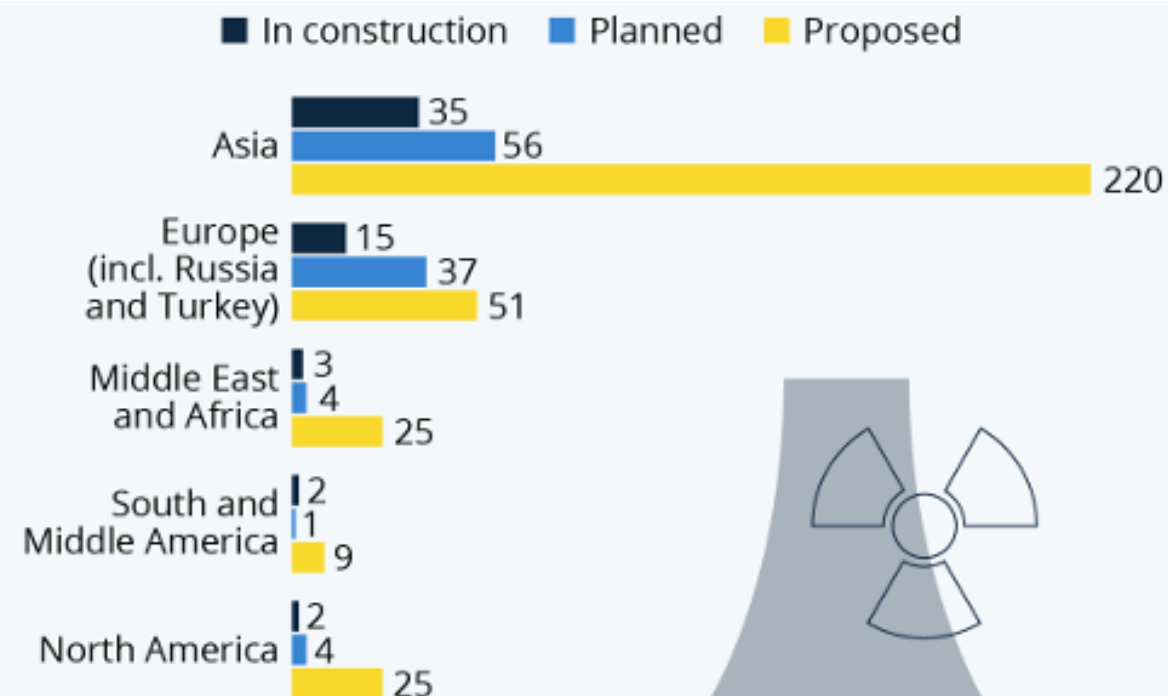


Source	Needed for 1000 MWe Capacity	Land Area (sq. miles)
Wind	3000 Wind Turbines	40-70
Biogas	60 million pigs, or 800 million chickens, or 6,200 Km ²	2,400
Bioalcohol	7,400 Km ² potatoes 16,000 Km ² corn 272,000 Km ² wheat	2,800 6,200 104,000
Solar	100 Km ² @ 10% efficiency	40
Biomass	30,000 Km ² wood (one-quarter of Ohio)	12,000
Nuclear	< 1 Km ²	1/3

Paesi con impianti nucleari (in esercizio o costruzione)



Source: World Nuclear Industry Status Report 2021

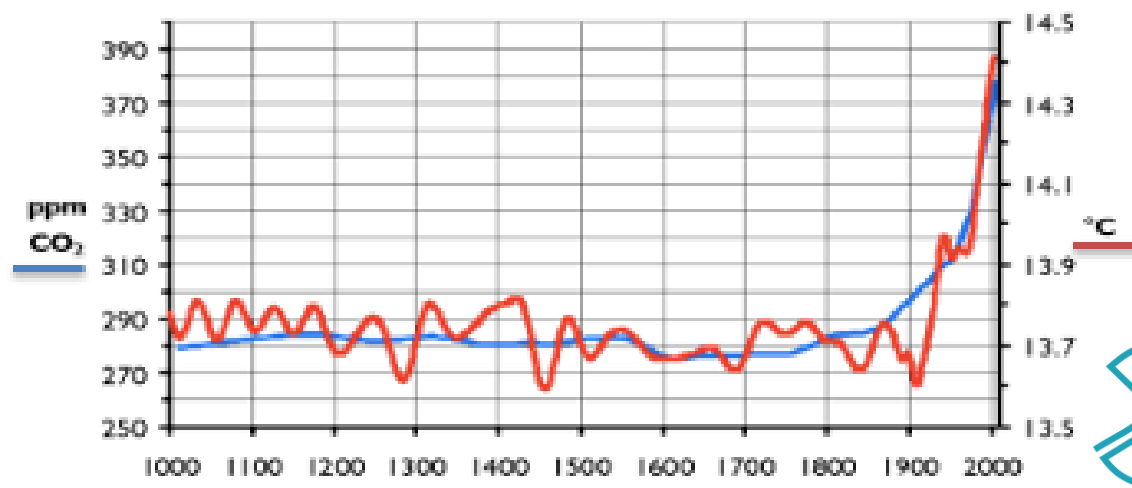


As of Dec 2021.

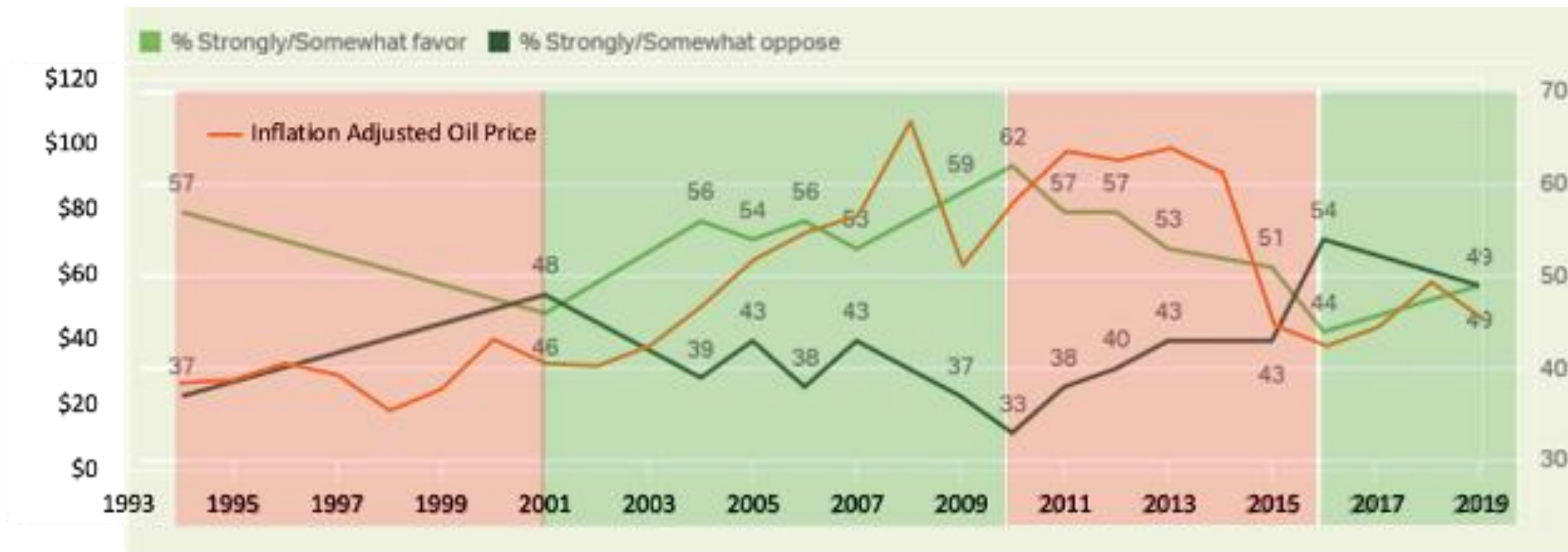
Source: World Nuclear Association

- I tre maggiori Paesi UE hanno scelto diverse fonti energetiche principali per elettricità.
- Germania carbone, Regno Unito gas, Francia forte investimento nel nucleare.
- 1991–2014: Francia –52%, Regno Unito –45%, Germania –24% emissioni complessive.
- La Germania valuta di mantenere operativi gli ultimi 3 reattori nucleari.

- Aumenti di efficienza e nuove costruzioni compensano diverse chiusure recenti.
- Cina e Corea stanno costruendo numerosi nuovi reattori nucleari.
- La capacità nucleare indiana raddoppierà presto.



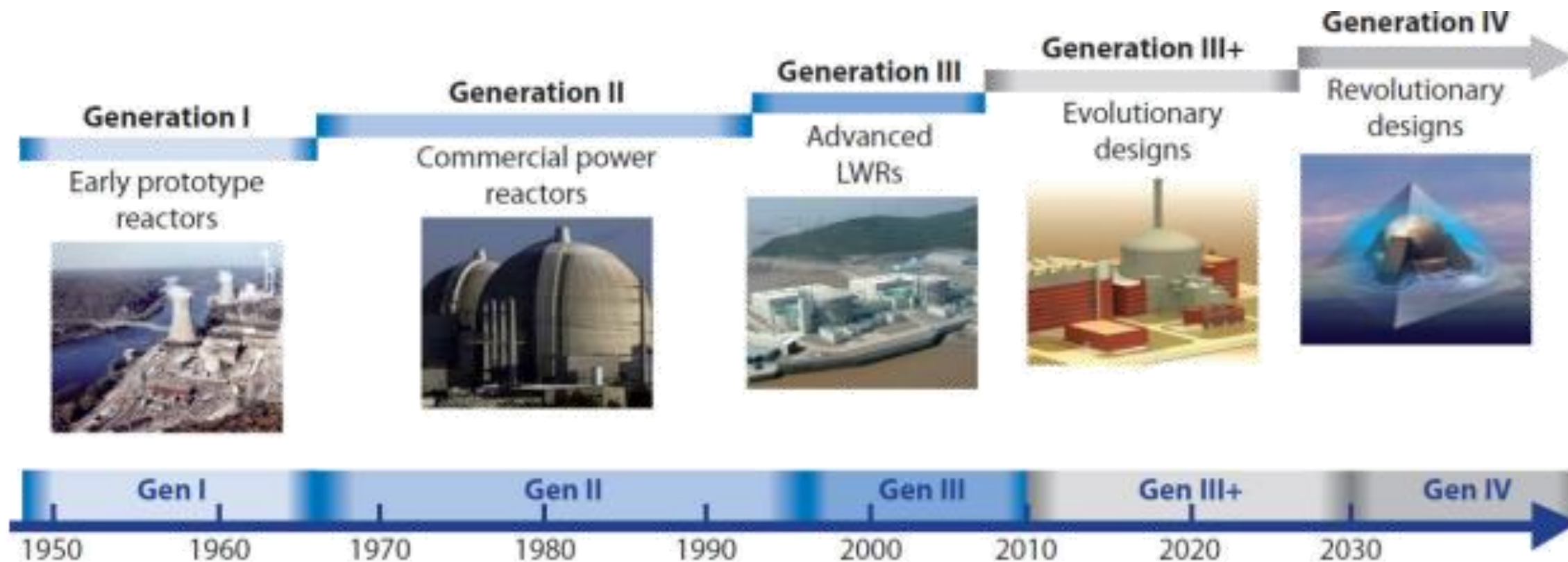
Opinione pubblica negli Stati Uniti sull'energia nucleare (Gallup)



60% of Americans favour dramatically reducing the use of fossil fuels to reduce greenhouse gas emissions

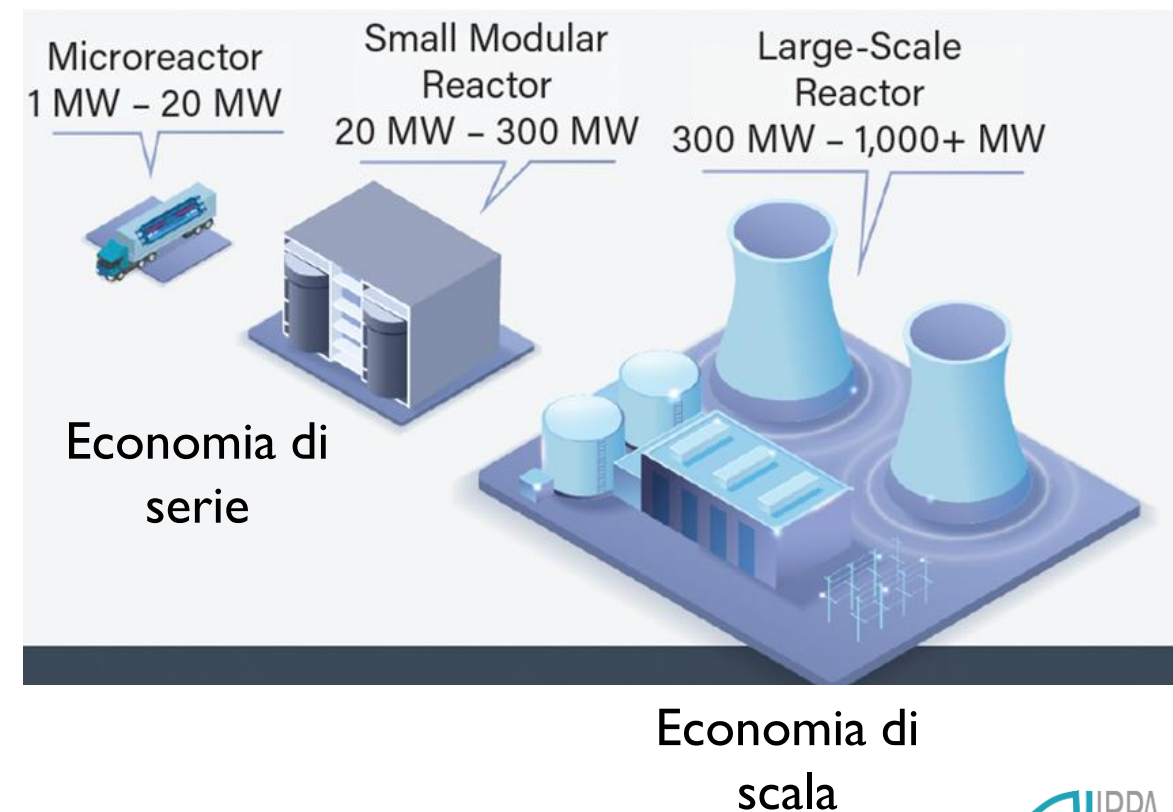
Generazioni delle centrali nuclearari

Il maggiore impegno è attualmente rivolto ai reattori di IV generazione.



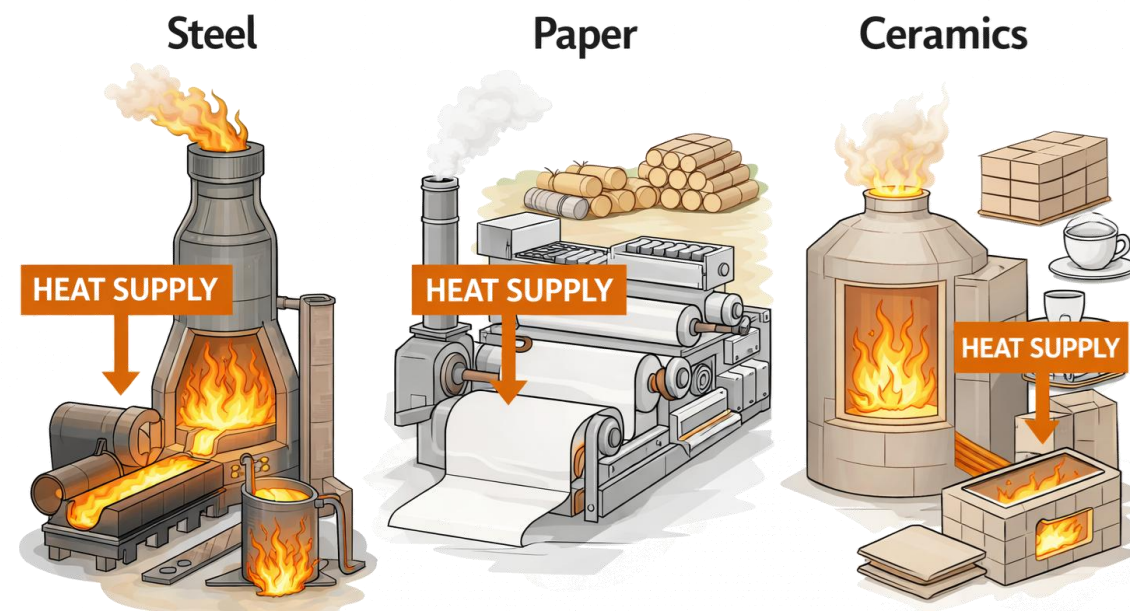
Progetti evolutivi - SMR ed innovativi (o avanzati) - AMR

- SMR e AMR hanno potenze ridotte, tra 1 e 300 MWe, inferiori rispetto alle grandi centrali nucleari tradizionali convenzionali.
- Le dimensioni compatte permettono produzione in serie dei sistemi nucleari e trasporto come moduli prefabbricati pronti all'installazione.
- Il combustibile nucleare può essere installato direttamente nel sito di produzione prima del trasporto verso l'impianto finale.



Rilevanza del Nuovo Nucleare per la Produzione di Calore Industriale

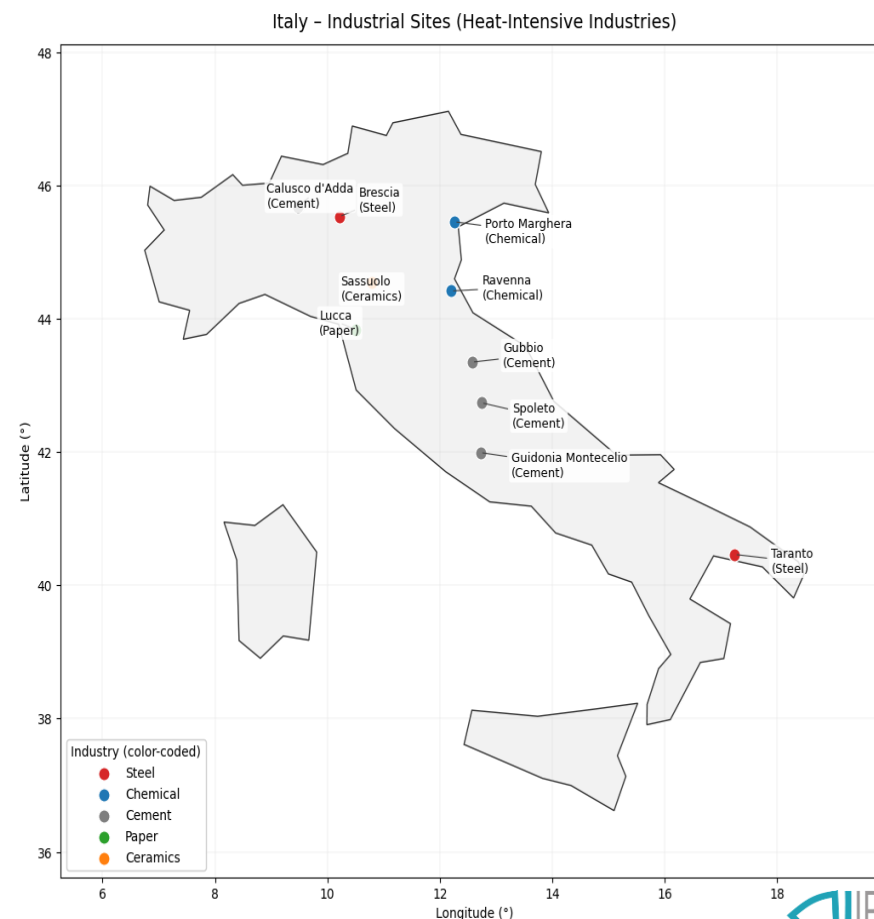
- Le tecnologie nucleari avanzate, come SMR e AMR, aiutano a decarbonizzare settori industriali hard-to-abate come acciaio, vetro e chimica.
- Forniscono calore ad alta temperatura e vapore continuo, sostituendo combustibili fossili nei processi industriali energivori.
- Consentono produzione su larga scala di idrogeno a basse emissioni e supportano teleriscaldamento efficiente urbano e industriale.



Settore industriale	Temperature tipiche	Fonti di calore attuali	Alternative / evoluzione
Carta e cellulosa	100–200 °C	Gas naturale, biomasse, cogenerazione	Biomasse avanzate, recupero calore, pompe di calore (solo basse T)
Ceramica	900–1300 °C (fino a 1.600 °C)	Gas naturale	Idrogeno, forni elettrici (limitati), miscele H ₂ -gas
Cemento e calce	900–1450 °C	Carbone, pet-coke, gas	Combustibili alternativi, cattura e stoccaggio di CO ₂ , elettrificazione (molto difficile)
Siderurgia	800–1600 °C	Carbone/coke, gas	Idrogeno (DRI), forni elettrici ad arco
Vetro	1300–1600 °C	Gas naturale	Forni elettrici, idrogeno
Chimica di base	100–900 °C	Gas naturale, vapore	Recupero calore, elettrificazione parziale
Raffinerie	200–800 °C	Gas, residui di processo	Efficienza, recupero calore, idrogeno
Alimentare	60–200 °C	Gas naturale, vapore	Pompe di calore, elettrificazione
Produzione idrogeno (Steam Methane Reforming)	700–1000 °C	Gas naturale	Idrogeno "blu", elettrolisi
Produzione idrogeno (elettrolisi a ossidi solidi)	600–850 °C	Elettricità + calore	Recupero calore industriale, nucleare

L'Italia ha distretti industriali concentrati, ideali per soluzioni energetiche condivise e decarbonizzazione collettiva.

- Lucca (Carta): elevato consumo di vapore, uso di biomasse e cogenerazione.
- Sassuolo (Ceramica): forni ad alta temperatura, sperimentazioni su idrogeno.
- Brescia e Taranto (Siderurgia): modelli produttivi molto diversi.
- Porto Marghera e Ravenna (Chimica): grande potenziale di recupero calore.
- Cementifici nel Nord e Centro Italia: focus su combustibili alternativi e CCS.



Nuovo Nucleare: Inquadramento Strategico e Motivazioni

Il disegno di legge (ottobre 2025) segna una cesura netta rispetto ai precedenti esiti referendari, proponendo il ritorno all'energia atomica come pilastro della politica energetica nazionale. Tale inversione di tendenza è dettata da una "triplice sfida":

- **Decarbonizzazione:** Rispetto dei target europei di "Zero Net Emission" entro il 2050.
- **Sicurezza Energetica:** Necessità di ridurre la dipendenza dalle importazioni estere, evidenziata dalle recenti crisi geopolitiche.
- **Fabbisogno energetico crescente:** incremento strutturale della domanda di elettricità, trainato dallo sviluppo dei Data Center per l'Intelligenza Artificiale, e aumento parallelo della richiesta di energia elettrica e calore nei settori industriali.

Secondo l'Agenzia Internazionale per l'Energia, una transizione priva della componente nucleare risulterebbe significativamente più onerosa e tecnicamente complessa.



Il successo del piano d'azione è subordinato a quattro riforme strutturali:

- **Riforma Legislativa:** Delega al Governo per la riscrittura del quadro normativo di settore.
- **Pianificazione Nazionale:** Definizione di tempi, siti e volumetrie produttive.
- **Sicurezza e Controllo:** Istituzione/potenziamento di una Safety Authority indipendente.
- **Capitale Umano:** Programma di formazione specialistica per ingegneri e tecnici.

Le università sono pronte a fare la loro parte

<https://edurank.org/engineering/nuclear/eu/>

Otto
atenei
Italiani tra
i primi 33
europei

1. Karlsruhe Institute of Technology Germany Baden-Württemberg For Nuclear Engineering #1 in Germany #5 in the World Acceptance Rate 26% · Enrollment 23,321 · Founded 1842 Statistics » Rankings »	6. Delft University of Technology Netherlands Delft For Nuclear Engineering #1 in the Netherlands #25 in the World Acceptance Rate 50% · Enrollment 24,703 · Founded 1842 Statistics » Rankings »	11. National Research Nuclear University MEPI Russia Moscow For Nuclear Engineering #1 in Russia #43 in the World Acceptance Rate 26% · Founded 1942 Statistics » Rankings »	29. Sapienza University of Rome Italy Lazio For Nuclear Engineering #5 in Italy #96 in the World Enrollment 100,155 · Founded 1303 Statistics » Rankings »
2. Federal Institute of Technology Lausanne Switzerland Lausanne For Nuclear Engineering #1 in Switzerland #17 in the World Enrollment 12,576 Statistics » Rankings »	7. Polytechnic University of Milan Italy Lombardy For Nuclear Engineering #2 in Italy #29 in the World Acceptance Rate 28% · Enrollment 48,645 · Male:Female 65:35 · Founded 1863 Statistics » Rankings »	12. University of Stuttgart Germany Baden-Württemberg For Nuclear Engineering #3 in Germany #49 in the World Enrollment 22,616 · Founded 1829 Statistics » Rankings »	30. Federico II University of Naples Italy Campania For Nuclear Engineering #6 in Italy #97 in the World Enrollment 73,553 · Founded 1224 Statistics » Rankings »
3. Imperial College London United Kingdom England For Nuclear Engineering #1 in the United Kingdom #18 in the World Enrollment 17,565 · Founded 1907 Statistics » Rankings »	8. Chalmers University of Technology Sweden Gothenburg For Nuclear Engineering #2 in Sweden #38 in the World Acceptance Rate 79% · Enrollment 10,773 · Founded 1829 Statistics » Rankings »	13. Technical University of Denmark Denmark Kongens Lyngby For Nuclear Engineering #1 in Denmark #51 in the World Acceptance Rate 38% · Founded 1829 Statistics » Rankings »	31. University of Genoa Italy Liguria For Nuclear Engineering #7 in Italy #100 in the World Enrollment 36,728 · Founded 1481 Statistics » Rankings »
4. KTH Royal Institute of Technology Sweden Stockholm For Nuclear Engineering #1 in Sweden #20 in the World Acceptance Rate 41% · Enrollment 14,278 · Founded 1827 Statistics » Rankings »	9. Technical University of Munich Germany Bavaria For Nuclear Engineering #2 in Germany #41 in the World Acceptance Rate 46% · Enrollment 44,000 · Male:Female 63:37 · Founded 1868 Statistics » Rankings »	14. University of Cambridge United Kingdom England For Nuclear Engineering #2 in the United Kingdom #52 in the World Acceptance Rate 21% · Founded 1209 Statistics » Rankings »	32. Norwegian University of Science and Technology Norway Trondheim For Nuclear Engineering #1 in Norway #103 in the World Enrollment 42,031 · Founded 1996 Statistics » Rankings »
5. University of Pisa Italy Tuscany For Nuclear Engineering #1 in Italy #22 in the World Acceptance Rate 39% · Enrollment 49,108 · Founded 1343 Statistics » Rankings »	10. Polytechnic University of Turin Italy Piedmont For Nuclear Engineering #3 in Italy #42 in the World Founded 1859 Statistics » Rankings »	15. University of Padua Italy Veneto For Nuclear Engineering #4 in Italy #55 in the World Acceptance Rate 40% · Enrollment 62,876 · Founded 1222 Statistics » Rankings »	33. University of Bologna Italy Emilia-Romagna For Nuclear Engineering #8 in Italy #104 in the World Acceptance Rate 73% · Enrollment 79,999 · Founded 1088 Statistics » Rankings »

Grazie per l'attenzione!

Domande?

francesco.derrico@unipi.it