

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'energia

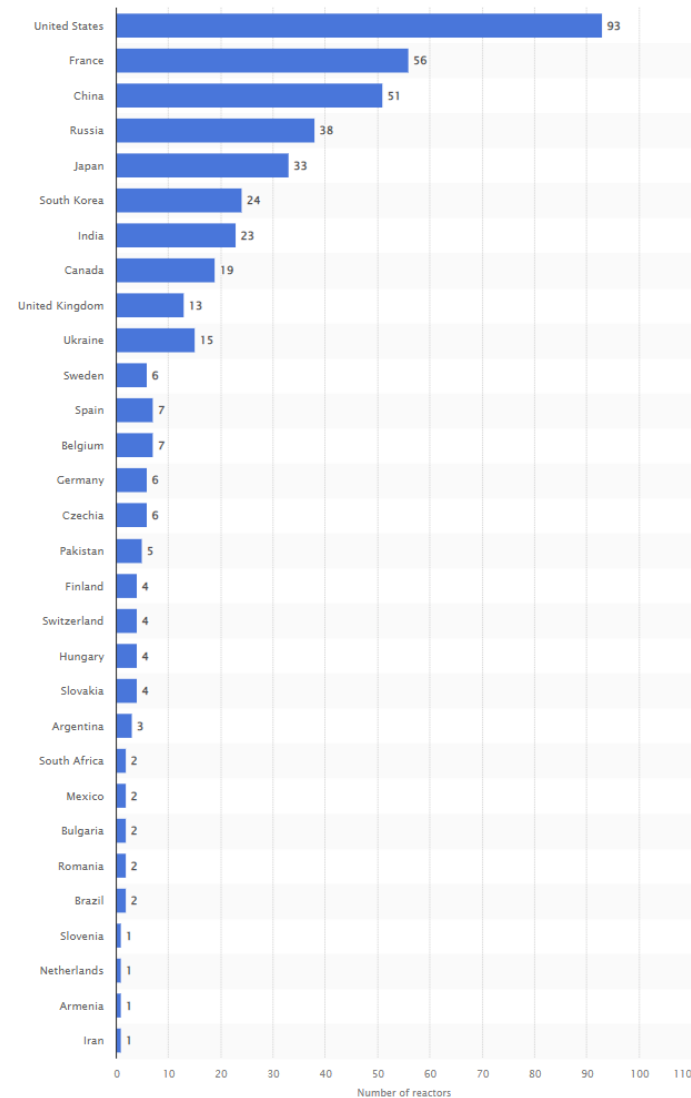
***Relazione per la prova finale  
«Energia nucleare: storia e  
prospettive future»***

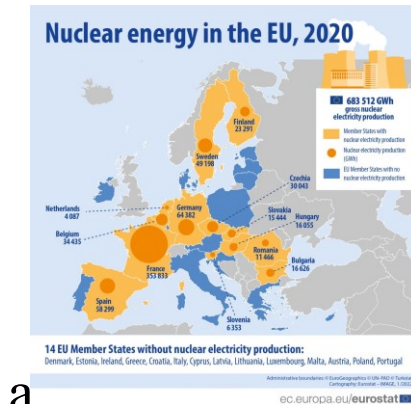
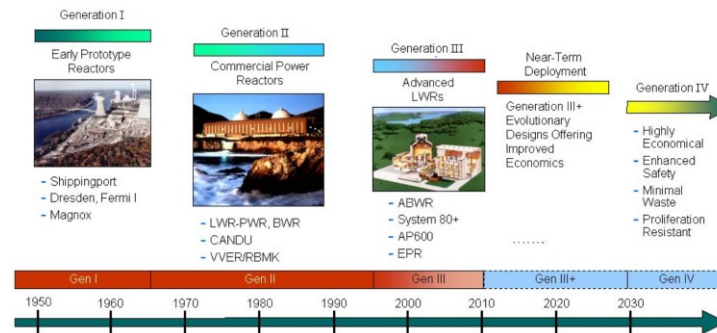
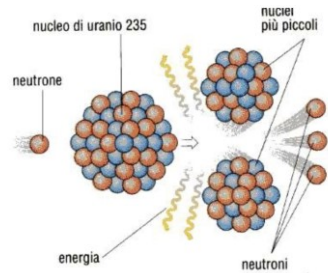
Tutor universitario: Prof. Angelo Zarrella

Laureando: *Leonardo Francese*

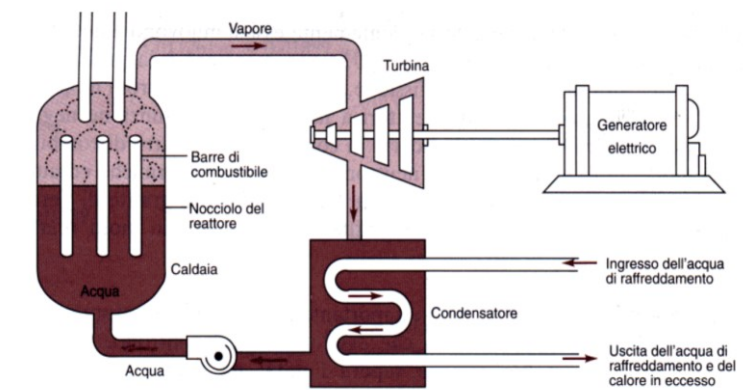
Padova, 14/09/2022

Nel mondo sono attualmente presenti 435 centrali nucleari, distribuite in 30 stati, secondo lo schema seguente:

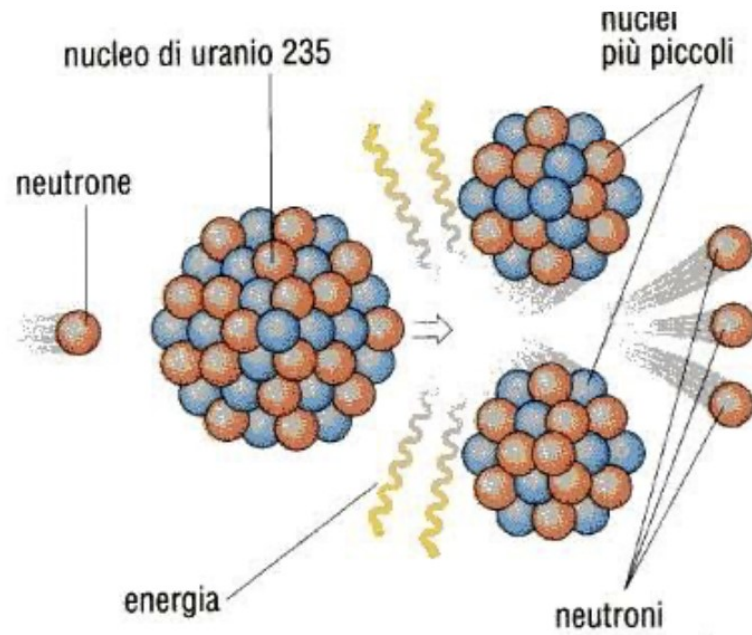




- Studio del principio di funzionamento di una centrale nucleare a fissione
- Studio componenti fondamentali reattore
- Storia dell'energia nucleare a fissione, dagli albori ai reattori di quarta generazione
- Tipologie reattori (BWR, PWR, GCR, CANDU, RBMK, LFR)
- Posizione dell'Italia rispetto al nucleare
- Gestione scorie e rifiuti radioattivi
- Statistiche



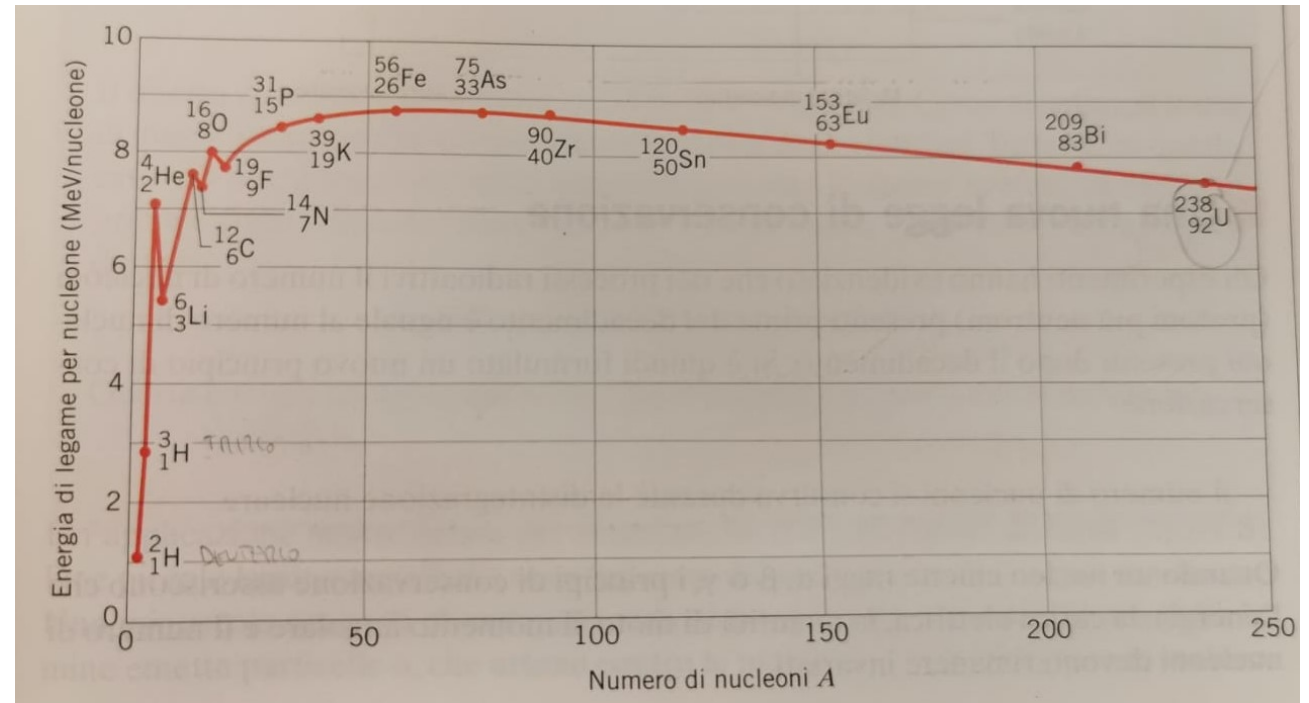
www.dii.unipd.it



Reazione di fissione e i suoi parametri fondamentali: costante di criticità, numero di neutroni prodotti nella reazione

Aspetti energetici fissione:

- energia di legame, difetto di massa
- energia prodotta per fissione (200 MeV)





Concetti di *massa critica* e *combustibile arricchito*



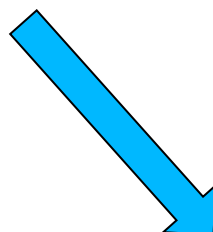
*Neutroni termici*



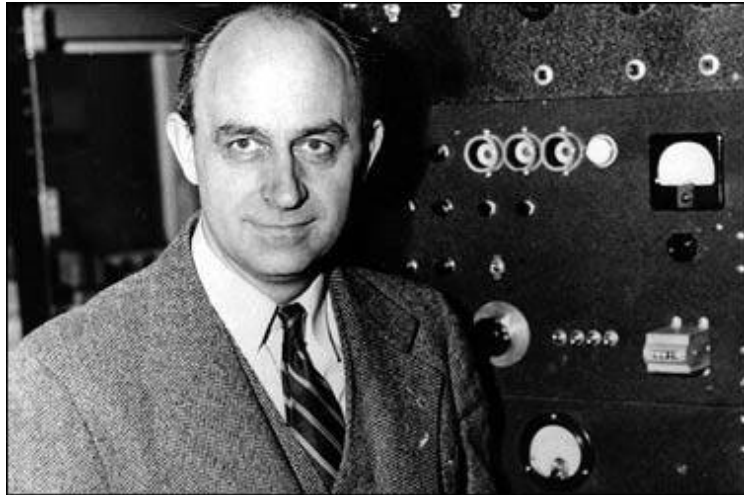
Torio utilizzato solo nei *reattori autofertilizzanti*



*Neutroni veloci*



Ad esempio, alcuni reattori di quarta generazione, per motivi economici e di scorie prodotte

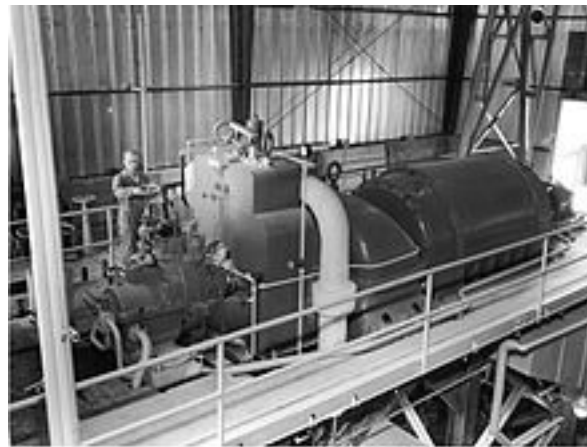


[2]

Dagli studi di Enrico Fermi alla corsa agli armamenti per la Seconda Guerra Mondiale e il Progetto Manhattan, fino al primo reattore civile, Borax III, e i successivi reattori di prima generazione



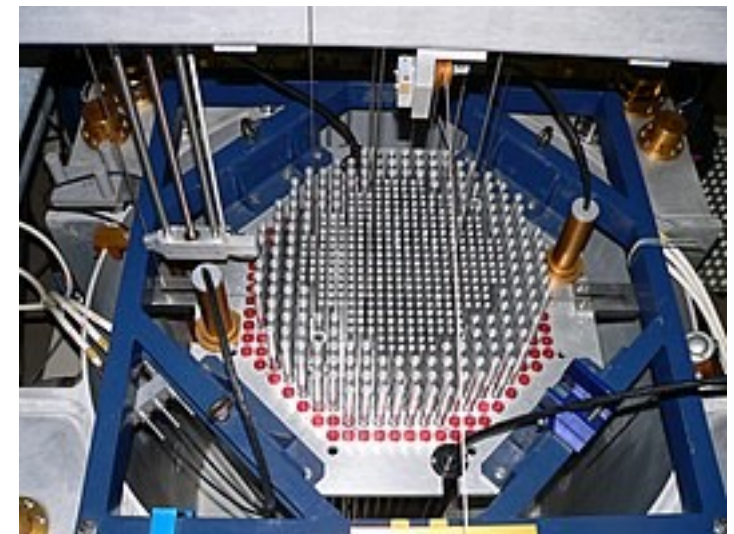
[1]



[3]

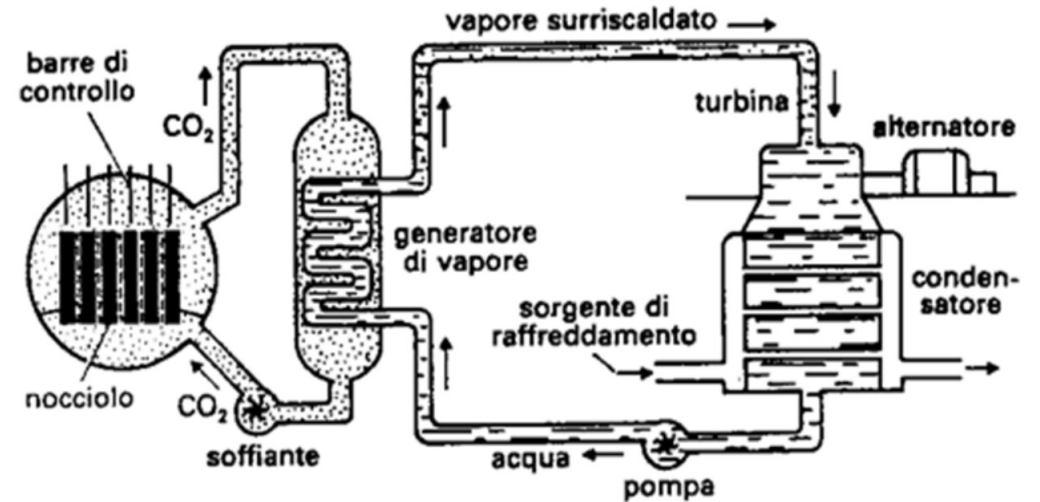
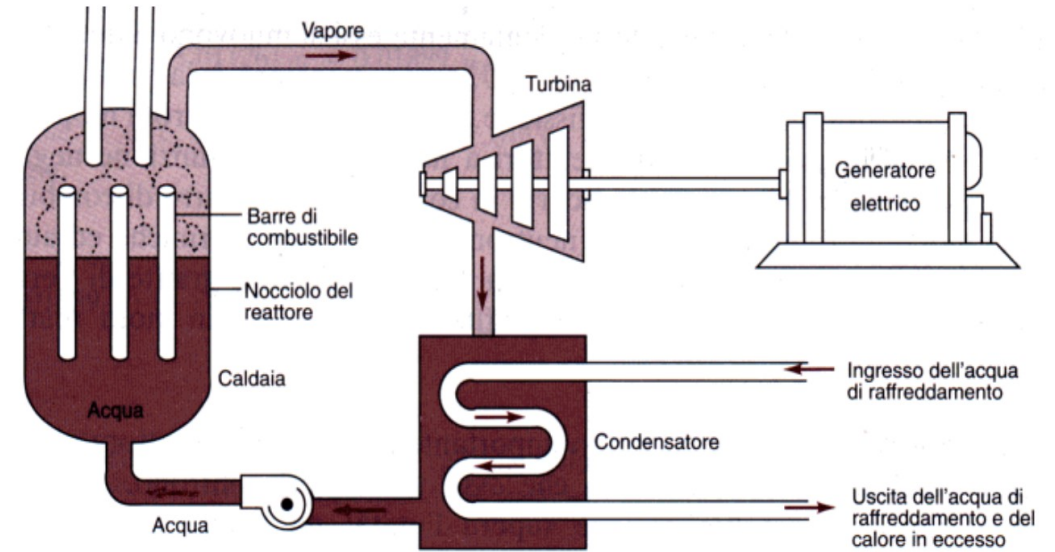
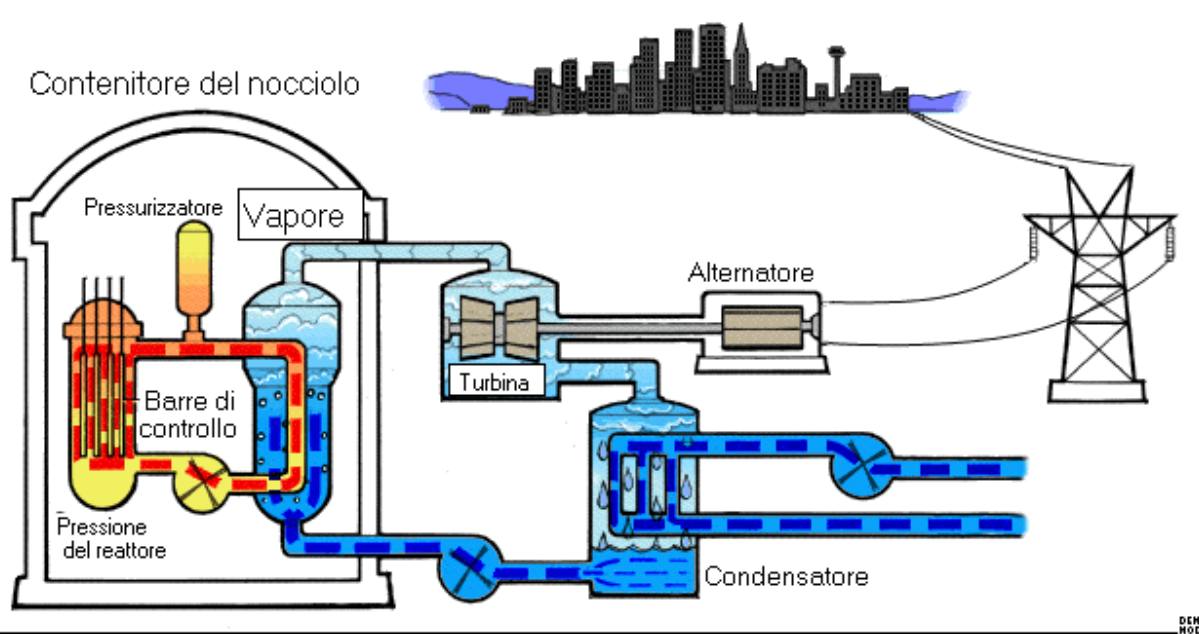
## Componenti fondamentali di ogni reattore:

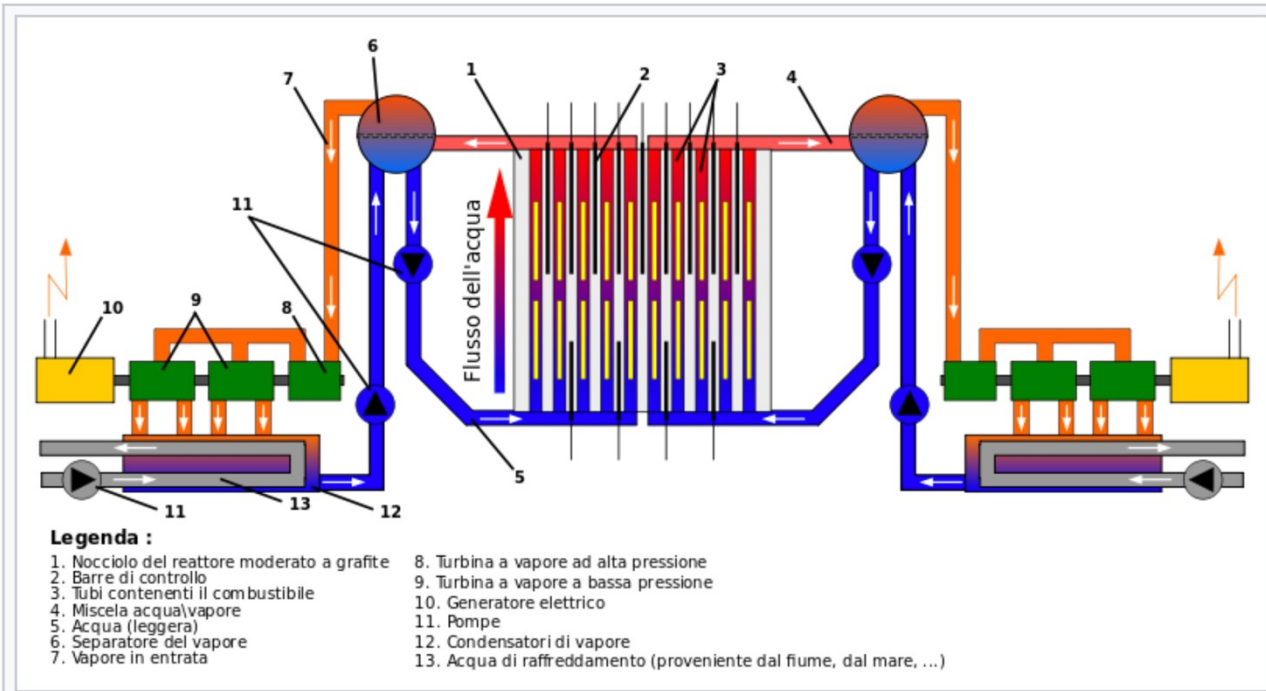
- materiale fissile;
- moderatore;
- organi di controllo;
- sistema di estrazione del calore;
- riflettore (può mancare);
- schermo biologico.



[4]

Reattori PWR, BWR, GCR: si differenziano per il **fluido refrigerante** utilizzato (acqua o anidride carbonica), e per il **moderatore** (acqua o grafite).  
In tutti e tre i casi, l'energia elettrica viene prodotta mediante un ciclo Rankine.





## Criticità:

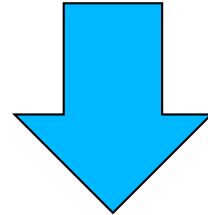
- Moderatore: grafite solida, non rimovibile, può portare a surriscaldamento del nocciolo e fusione
- Barre di controllo
- Finalità: scopi militari (fabbriche di Pu), con copertura e vessel di difficile realizzazione
- Coefficiente di vuoto positivo

## Migliorie apportate:

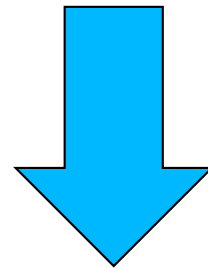
- Riduzione coefficiente di vuoto
- Tempi attivazione sistemi di sicurezza minori
- Sistemi di sicurezza passiva
- Software gestione radioattività del nocciolo
- Rimozione punte di grafite
- Aumento numero di barre di controllo



26 aprile 1986: l'incidente di Chernobyl, rappresenta un momento cruciale nella storia e nello sviluppo dei reattori nucleari.



Si apre il dibattito sulla pericolosità e i rischi associati al nucleare. Alcuni paesi decidono di sospendere gli investimenti in questo settore, altri, soprattutto quelli dell'estremo oriente, continueranno ad investire per rendere più sicuri i reattori.



***SICUREZZA PASSIVA***



È ciò che cambia veramente nei reattori di terza generazione: tecnologicamente non sono molto diversi dai precedenti di seconda generazione. I due modelli principali sviluppati in questi anni sono l'EPR e l'AP1000.

Panoramica dei sistemi di IV Generazione<sup>[4]</sup>

Systema	Spettro neutronico	Fluido refrigerante	Temperatura di uscita °C	Ciclo combustibile	Potenza (MWe)
<b>VHTR</b> (Very-high-temperature reactor)	Termico	Elio	900-1000	Aperto	250-300
<b>SFR</b> (Sodium-cooled fast reactor)	Veloce	Sodio	500-550	Chiuso	50-150 300-1500 600-1500
<b>SCWR</b> (Supercritical-water-cooled reactor)	Termico/veloce	Acqua	510-625	Aperto/chiuso	300-700 1000-1500
<b>GFR</b> (Gas-cooled fast reactor)	Veloce	Elio	850	Chiuso	1200
<b>LFR</b> (Lead-cooled fast reactor)	Veloce	Piombo	480-570	Chiuso	20-180 300-1200 600-1000
<b>MSR</b> (Molten salt reactor)	Termico/veloce	Sali di fluoruro	700-800	Chiuso	1000

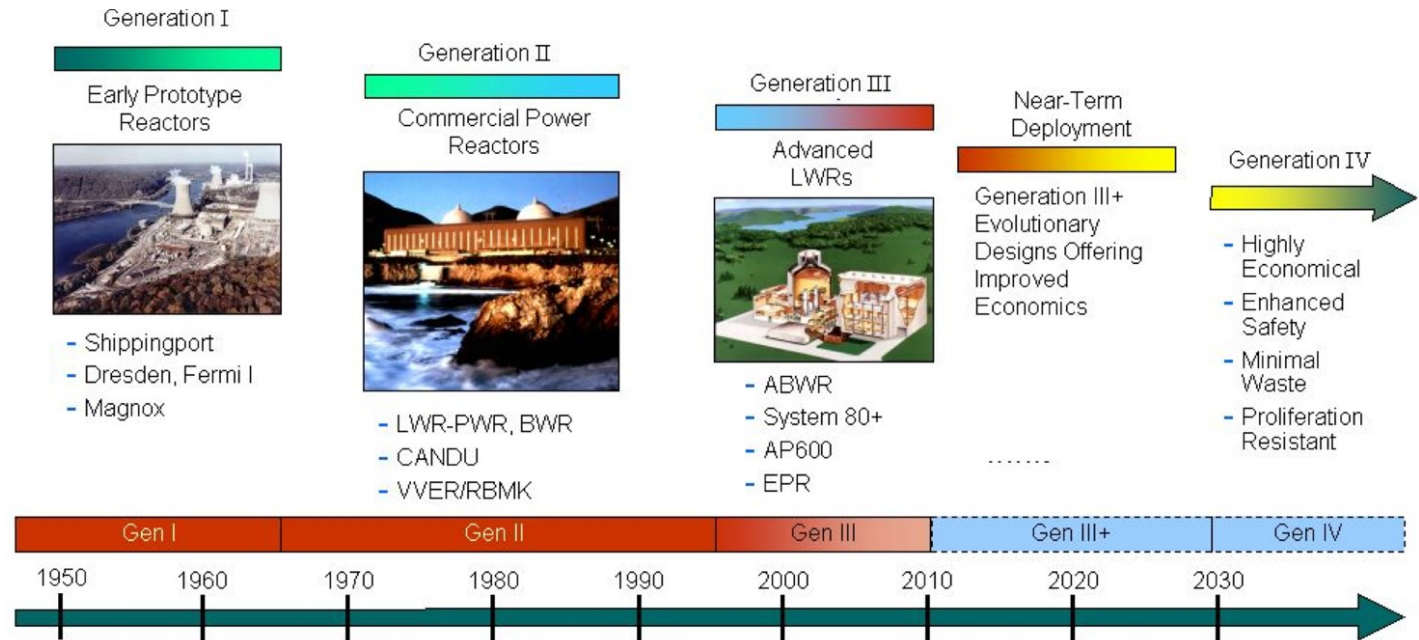
Non ancora commercializzati.

Differenze principali:

- Produzione anche di energia termica e idrogeno
- Incremento sistemi sicurezza passiva
- ....

Vantaggi:

- Progetti standardizzati
- Abbattimento costi
- Riduzione tempi di costruzione



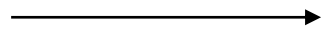
Fine degli anni '50: l'Italia intraprende la costruzione di alcune centrali sul proprio territorio (prototipi, di proprietà estera)

1976-1978: prima vera bocciatura del nucleare in Italia

1979: incidente di Three Mile Island

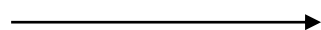
1979: rivoluzione in Iran e conseguente aumento del prezzo del petrolio. Per tamponare l'emergenza vengono ordinate due nuove centrali, mai ultimate

1986: incidente a Chernobyl



1987: referendum sul nucleare in Italia, schiacciante vittoria degli oppositori a questa tecnologia

2011: incidente a Fukushima



2011: referendum per abrogazione norme anti-nucleare, plebiscito a favore del no

Nome	Località	Tipologia	Potenza netta (MW)	Inizio costruzione	Prima accensione	Allacciamento alla rete	Inizio produzione commerciale	Dismissione	Costruttore
<b>Latina</b>	Borgo Sabotino (fraz. di Latina)	Magnox	153	1° novembre 1958	27 dicembre 1962 <sup>[3]</sup>	12 maggio 1963	1° gennaio 1964	1° dicembre 1987	SIMEA
<b>Garigliano</b>	Sessa Aurunca (CE)	BWR	150	1° novembre 1959	5 giugno 1963 <sup>[4]</sup>	1° gennaio 1964	1° giugno 1964	1° marzo 1982	Società Elettro-nucleare Nazionale
<b>Enrico Fermi</b>	Trino (VC)	PWR	260	1° luglio 1961	21 giugno 1964	22 ottobre 1964	1° gennaio 1965	1° luglio 1990	Società Elettro-nucleare Italiana
<b>Caorso</b>	Caorso (PC)	BWR	860	1° gennaio 1970	31 dicembre 1977 <sup>[5]</sup>	23 maggio 1978	1° dicembre 1981	1° luglio 1990	Ansaldo Meccanico Nucleare

## Scorie:

- a vita molto breve (max 100 giorni);
- a vita breve ( $10 < \text{anni} < 100$ );
- ad attività molto bassa ( $< 100 \text{ Bq/g}$ );
- a bassa e media attività;
- ad alta attività (migliaia e decine di migliaia di anni, sono il 5% del totale).



[6]

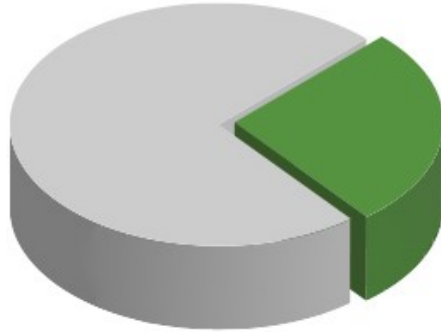
## Depositi:

- definitivo di superficie;
- deposito temporaneo;
- geologico di profondità.



[7]

DEPOSITO NAZIONALE  
74% | 110 ettari



PARCO TECNOLOGICO  
26% | 40 ettari

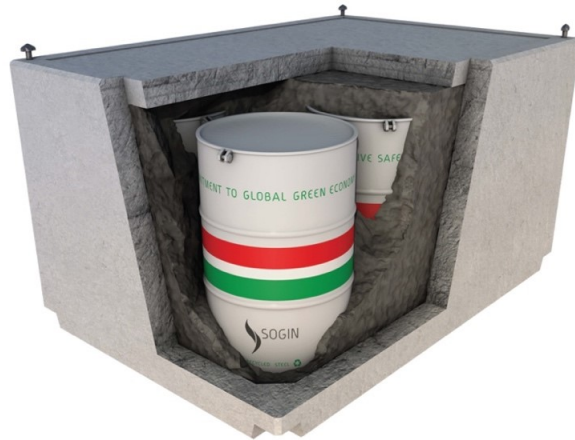
*Sogin* è l'azienda incaricata di costruire tale struttura.

La parte adibita a deposito non sarà molto sviluppata in profondità, ma sarà caratterizzata da barriere ingegneristiche e naturali in serie.

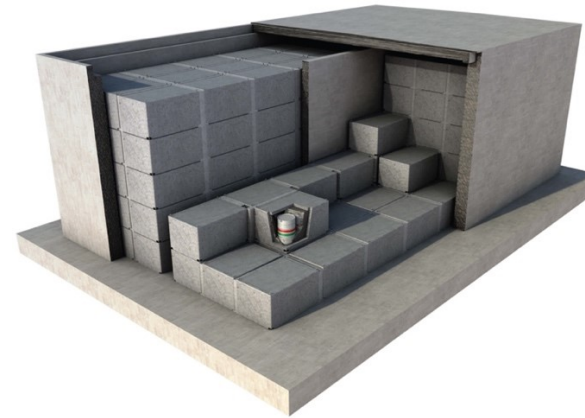
www.dii.unipd.it



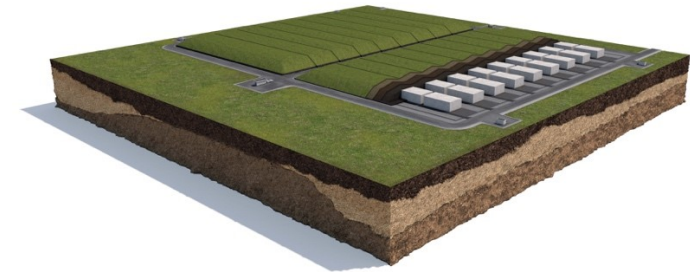
Manufatto



Modulo



Cella

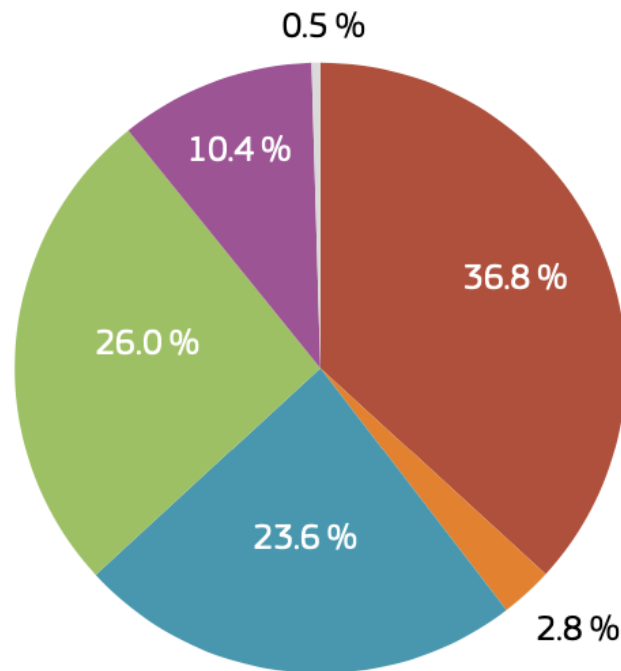


Collina multistrato

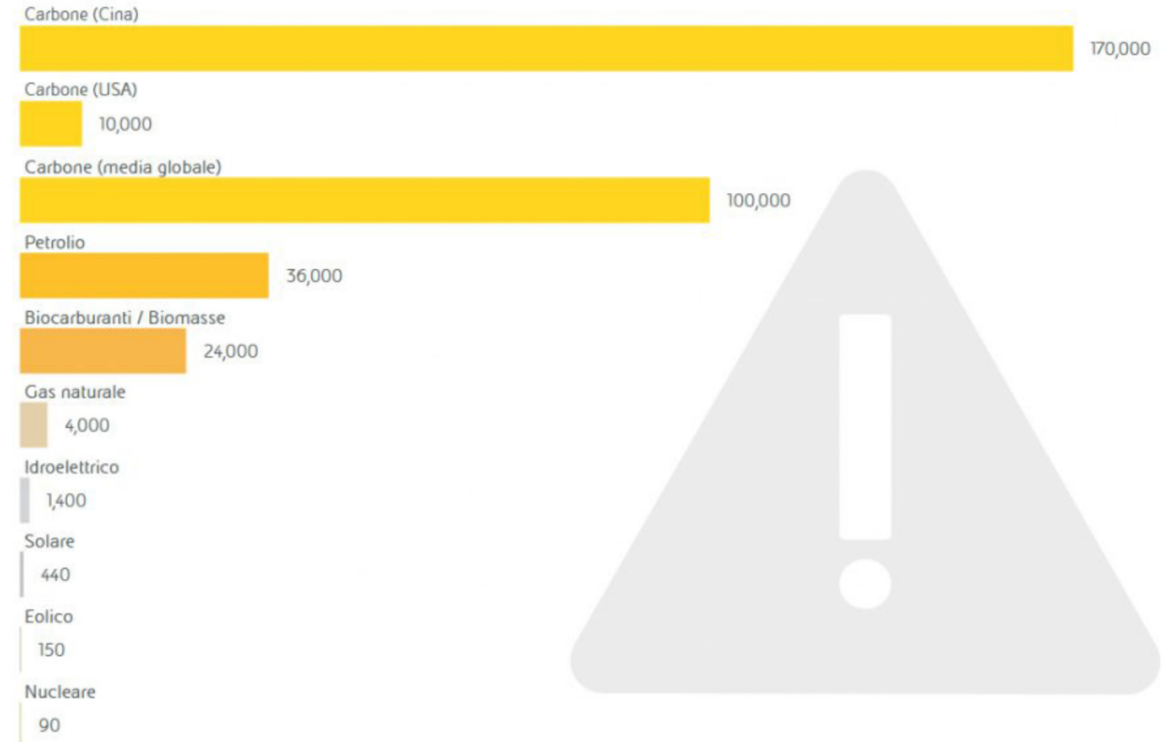
**TOTAL 2019 = 26 936 TWh**

- Solid Fuels
- Petroleum and Products
- Gas
- Renewables
- Nuclear
- Other

Produzione energia  
elettrica dalle varie fonti

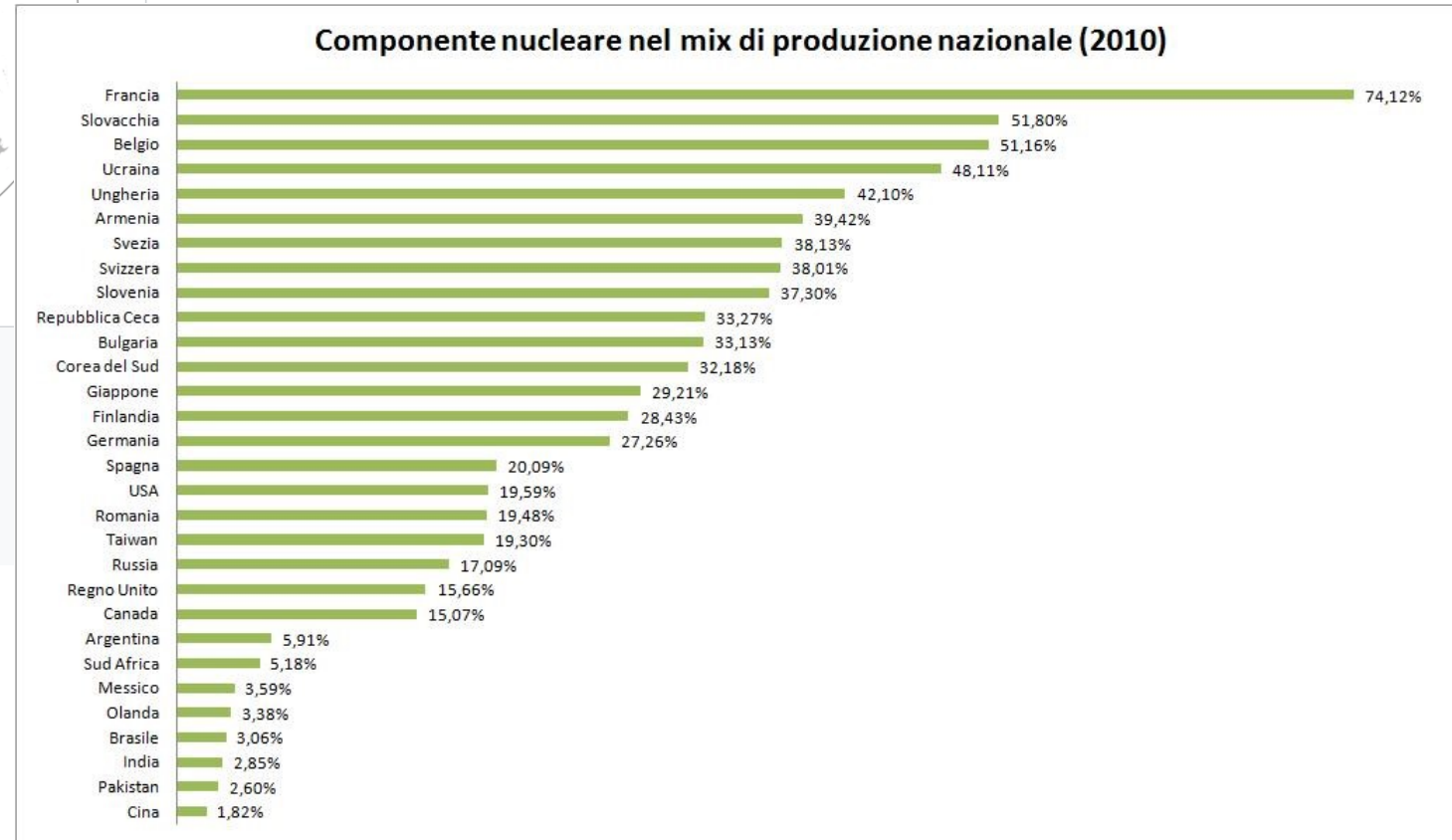
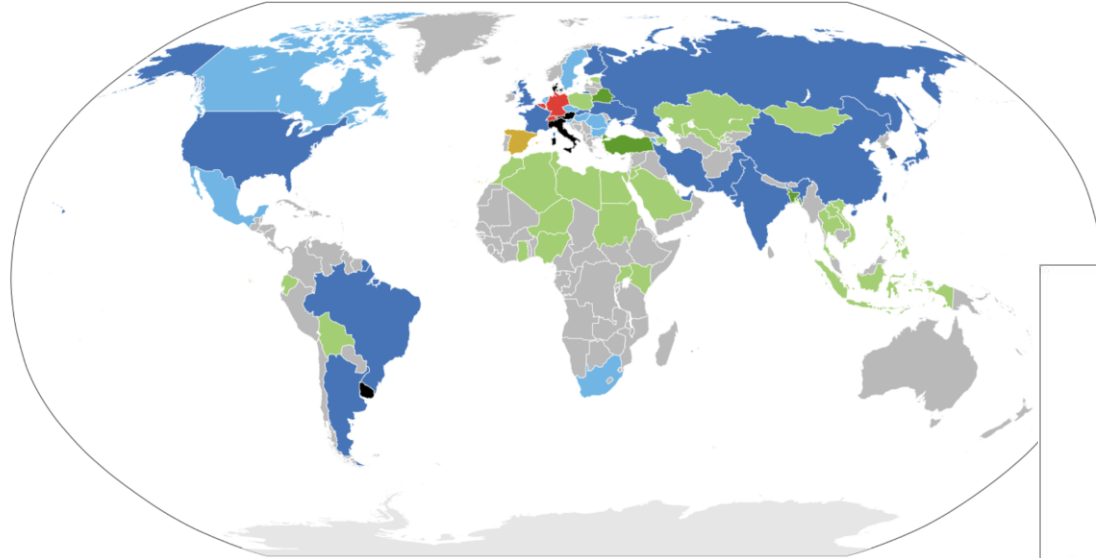


Vittime per miliardo di kWh



include Three Mile Island, Chernobyl e Fukushima





La situazione delle centrali nucleari nel mondo a oggi:

- Reattori in funzione, nuovi reattori in costruzione
- Reattori in funzione, nuovi reattori in considerazione
- Nessun reattore in funzione, nuovi reattori in costruzione
- Nessun reattore in funzione, nuovi reattori in considerazione
- Reattori in funzione, situazione stabile
- Reattori in funzione, in considerazione la loro chiusura
- L'energia nucleare non è legale
- Nessun reattore

- I radicali miglioramenti apportati nel tempo, ed il rigido rispetto dei protocolli di sicurezza hanno reso le centrali nucleari luoghi assolutamente sicuri.
- L'energia prodotta dalle centrali nucleari potrebbe essere determinante nella riduzione di emissioni nocive.
- In ogni caso, sarebbe indispensabile ridurre il consumo complessivo di energia, perché allo stato attuale l'incidenza del nucleare nel mix energetico si sta via via riducendo sempre più a causa di un aumento dei consumi totali.
- In futuro, la combinazione di impianti a fissione e di centrali a fusione, attualmente in fase di studio, potrebbe garantirci la produzione di tutta l'energia necessaria in modo quasi interamente pulito e carbon-free.