

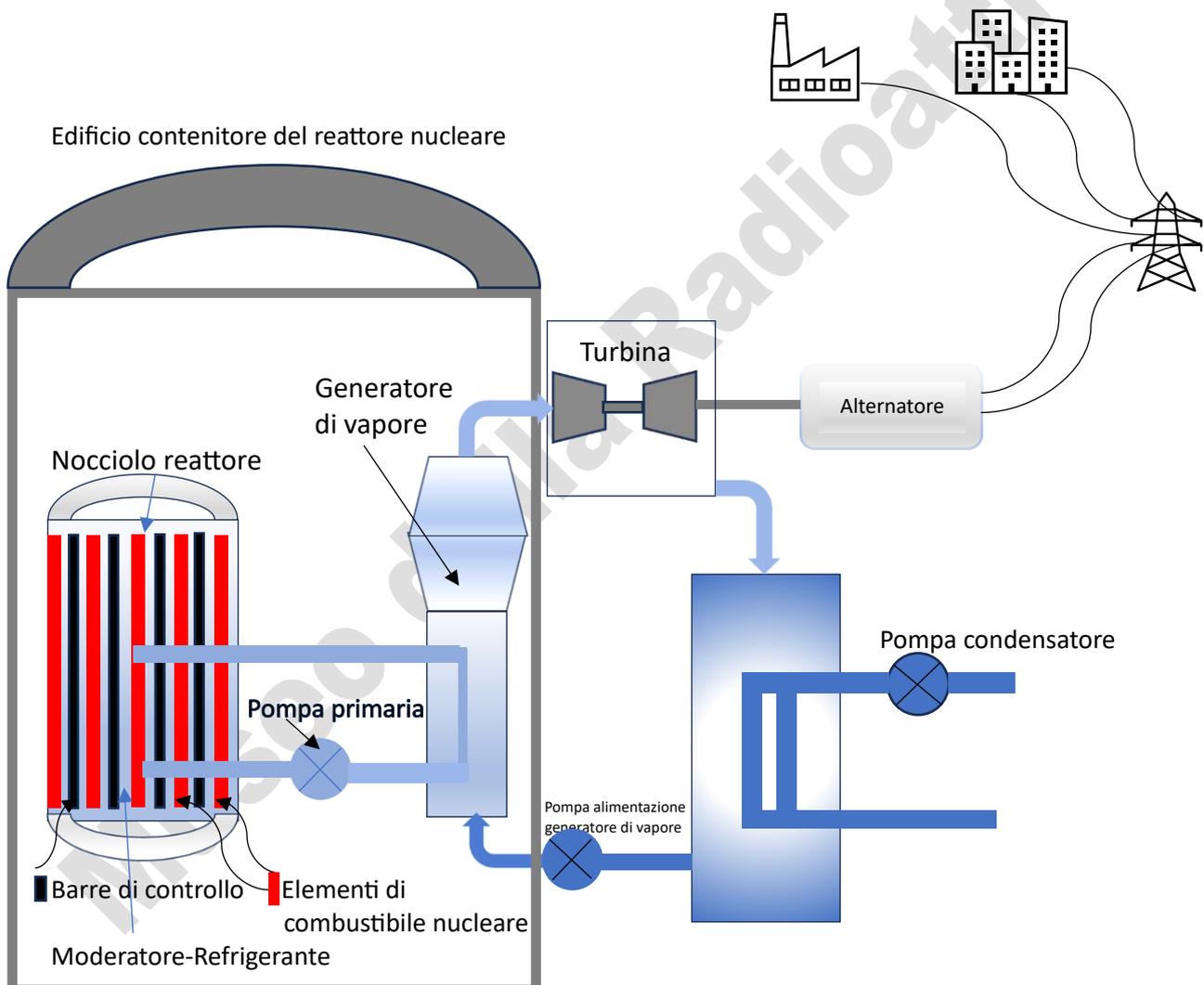


## L'energia nucleare, i reattori nucleari a fissione e le loro principali caratteristiche

ENERGIA NUCLEARE → energia che si origina da reazioni che avvengono nel nucleo degli atomi.

Un **reattore nucleare a fissione** è un impianto nel quale si sfruttano le reazioni nucleari indotte dai neutroni in nuclei fissili per produrre energia. La reazione a catena si sviluppa in modo controllato nel nocciolo del reattore.

Nonostante esistano diversi tipi di reattori nucleari, tutti presentano caratteristiche generali comuni.





In particolare, il nocciolo di un reattore nucleare è costituito dai seguenti elementi distintivi:

- *materiali combustibili*, tipicamente ossidi di uranio e di plutonio  $\text{UO}_2$ ,  $\text{PuO}_2$  con diversi livelli di arricchimento isotopico, incamiciati in guaine che vanno a costituire l'elemento di combustibile nucleare
- *moderatori*, costituiti da nuclei a basso numero di massa, cosicché nell'urto elastico con essi i neutroni perdono molta della loro energia iniziale e *si termalizzano*, aumentando la probabilità di essere assorbiti dai nuclei di fissile e provocare la fissione. Tipici moderatori sono *l'acqua leggera* ( $\text{H}_2\text{O}$ ), *l'acqua pesante* ( $\text{D}_2\text{O}$ ) e la *grafite*
- *refrigeranti*, necessari per asportare l'energia termica prodotta dalle fissioni nell'elemento di combustibile. Le principali caratteristiche sono: buone proprietà termiche (alto calore specifico e coefficiente di scambio termico), bassa reattività chimica con i materiali combustibili e strutturali, bassa sezione d'urto di cattura neutronica e basso costo. Tipici refrigeranti sono *l'acqua leggera* ( $\text{H}_2\text{O}$ ), *gas inerti* ( $\text{He}$ ,  $\text{CO}_2$ ) o *sodio liquido* nei reattori veloci
- *materiali di controllo* del flusso neutronico e quindi della reazione a catena. Sono costituiti da materiali che sono in grado di assorbire i neutroni in eccesso rispetto a quelli necessari per l'autosostentamento della reazione a catena, tipicamente Boro e Cadmio;
- *materiali strutturali e di rivestimento delle guaine di combustibile*, le cui principali caratteristiche sono: buone proprietà meccaniche anche ad alta temperatura e sotto irraggiamento neutronico, compatibilità con il combustibile nucleare e con il refrigerante, buone proprietà nucleari per ottenere un'accettabile economia neutronica. Tipici materiali strutturali sono acciaio inox e leghe di Zirconio

Va sottolineato il fatto che in molti reattori commerciali moderatore neutronico e refrigerante sono lo stesso mezzo. Esempio: Acqua leggera.

### Classificazione dei reattori nucleari

La prima fondamentale distinzione tra i vari tipi di reattori risiede *nell'energia cinetica dei neutroni* che inducono la fissione.

Reattori **TERMICI** → la reazione a catena è sostenuta da *neutroni termici* cioè neutroni con energia inferiore a 1 eV

*neutroni termici* → sono neutroni da fissione che vengono *rallentati* dal *moderatore*, i cui nuclei ne riducono l'energia fino ad un valore confrontabile con quella di agitazione dei nuclei del mezzo in cui si trovano. Si dice che sono in *equilibrio termico* con il mezzo stesso. Alla temperatura di 20 °C *l'energia termica* è pari a **0,025 eV**. Con questi valori, la probabilità per un neutrone di essere assorbito da un nucleo fissile e indurre fissione è estremamente elevata.

Reattori **VELOCI** → la reazione a catena è sostenuta da *neutroni veloci*, in assenza del moderatore  
*neutroni veloci* → sono neutroni da fissione con energia media compresa tra 100 KeV e 10 MeV. Proprio per la loro elevata energia, la probabilità di essere assorbiti e indurre fissione è molto più bassa rispetto ai neutroni termici. Per questo motivo, nei reattori veloci è necessario aumentare la quantità di fissile e l'arricchimento isotopico dell'uranio nel nocciolo, affinché la reazione a catena si autosostenga.

La seconda fondamentale distinzione viene fatta considerando se il combustibile nucleare sia in un'unica fase generalmente liquida con moderatore e refrigerante, ed allora si parla di Reattori **OMOGENEI**; oppure se combustibile nucleare, moderatore e refrigerante sono tra loro separati, in quest'ultimo caso si parla di Reattori **ETEROGENEI**.

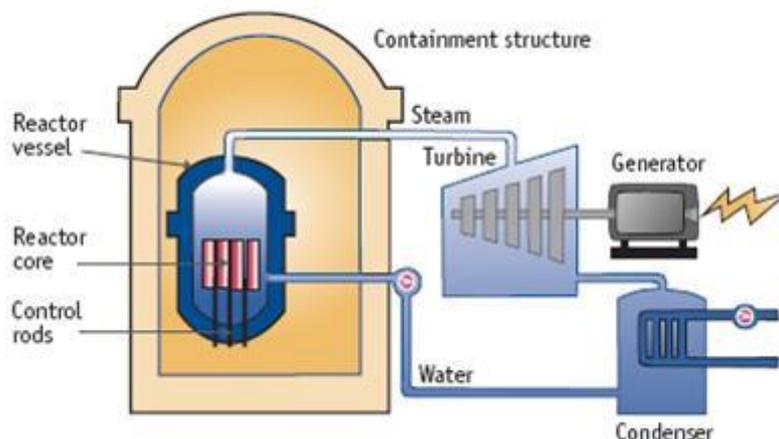
I reattori omogenei, per le loro caratteristiche, sono stati per lo più utilizzati come reattori di ricerca, mentre i reattori eterogenei sono quelli che hanno avuto maggiore successo commerciale.

#### Tipologie di Reattori termici Eterogenei

La più importante filiera commerciale di reattori nucleari è quella che utilizza acqua leggera (**LWR**) come fluido refrigerante e moderatore. Il combustibile nucleare è Uranio arricchito a valori compresi tra il 2% ed il 5%. Appartengono a questa categoria i reattori **BWR** e **PWR**.

#### Reattore di tipo BWR Boiling Water Reactor

È un reattore moderato e refrigerato ad acqua leggera H<sub>2</sub>O. La sua caratteristica principale consiste nel produrre direttamente nel nocciolo il vapore che successivamente verrà utilizzato in turbina per produrre energia elettrica, eliminando la necessità di avere generatori di vapore separati. Quindi, uno dei vantaggi è la semplicità costruttiva.

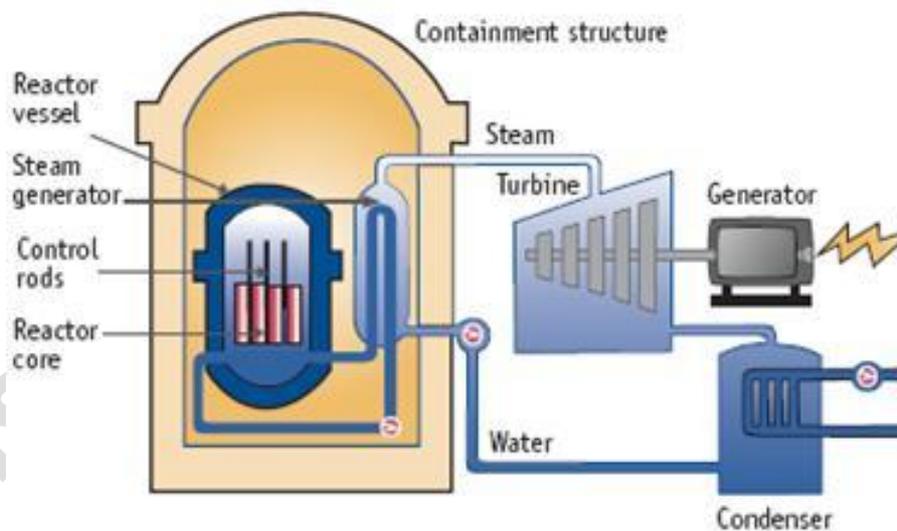


### Funzionamento

La portata d'acqua di alimentazione alla temperatura di circa 250°C viene immessa nel nocciolo ad una pressione di circa 70 bar e, venendo a contatto con gli elementi di combustibile, si riscalda fino a raggiungere, ad una certa altezza, la temperatura di saturazione di circa 280°C formando da quel punto in poi vapore con un titolo medio (rapporto liquido-vapore) del 15%. Quest'ultimo, previa separazione dalla fase liquida, viene inviato in turbina dove si espande producendo energia meccanica. All'uscita della turbina il vapore a basso contenuto **entalpico** passa in un condensatore, torna in fase liquida che viene nuovamente pompata nel nocciolo mescolandosi all'acqua di ricircolo del nocciolo stesso.

### Reattore di tipo PWR Pressurized Water Reactor

Anche il PWR è un reattore moderato e refrigerato ad acqua leggera H<sub>2</sub>O. A differenza del BWR, l'acqua di raffreddamento del nocciolo rimane sempre in fase liquida. In questa tipologia di reattore ci sono due circuiti del refrigerante: un circuito primario, in cui l'acqua rimane allo stato liquido e qui l'ebollizione viene evitata mantenendo la pressione del circuito superiore a quella di saturazione. L'acqua circolante nel circuito primario ha il compito di trasferire il calore prodotto al circuito secondario che comprende uno scambiatore di calore che produce il vapore che a sua volta aziona i gruppi turboalternatori.



L'acqua di raffreddamento del nocciolo, la cui circolazione anche in questo caso è forzata, si trova alla pressione di circa 150 bar ed una temperatura media di 280°C.