

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

### Reattore veloce autofertilizzante - FBR *Fast Breeder Reactor*

Il termine *veloce* si riferisce al fatto che in questi reattori, non essendo previsto l'uso di un moderatore, la reazione a catena è sostenuta da *neutroni veloci* con energia cinetica media di 2 MeV.

La probabilità per i neutroni veloci di essere catturati e produrre fissione in un nucleo fissile è molto più bassa rispetto ai neutroni termici.

Di conseguenza, per avviare e sostenere una reazione a catena nel nocciolo di un reattore veloce è necessario aumentare la quantità di fissile nel combustibile nucleare.

Esso è costituito da ossidi misti (MOX) di U e Pu con arricchimenti del 30-40%, quindi molto più alti di quelli presenti in un reattore termico ed è concentrato in una parte centrale del nocciolo, detta *seme*, in inglese *seed*, dove si genera circa il 90% della potenza termica del reattore.

In una parte più periferica che circonda il nocciolo, detta *mantello*, in inglese *blanket*, è concentrato invece il materiale fertile costituito da ossidi di U naturale o impoverito dove i neutroni sfuggiti dal seme vengono recuperati e sfruttati per trasformarlo in fissile secondo la seguente reazione nucleare:



Un nucleo di **U-238** cattura un neutrone e si trasforma nell'isotopo **U-239** che, trovandosi in uno stato energetico eccitato (\*), dopo circa *23 minuti* emette una particella  $\beta^-$  (elettrone) trasformandosi in **Nettunio-239**.

Quest'ultimo, a sua volta, dopo circa *2 giorni e mezzo* emette una particella  $\beta^-$  (elettrone) trasformandosi nell'isotopo fissile 239 del plutonio (**Pu-239**), che può essere riutilizzato per realizzare altro combustibile nucleare.

Si può notare come il processo di trasformazione dell'U-238 in Pu-239 sia abbastanza rapido: poco più di due giorni!

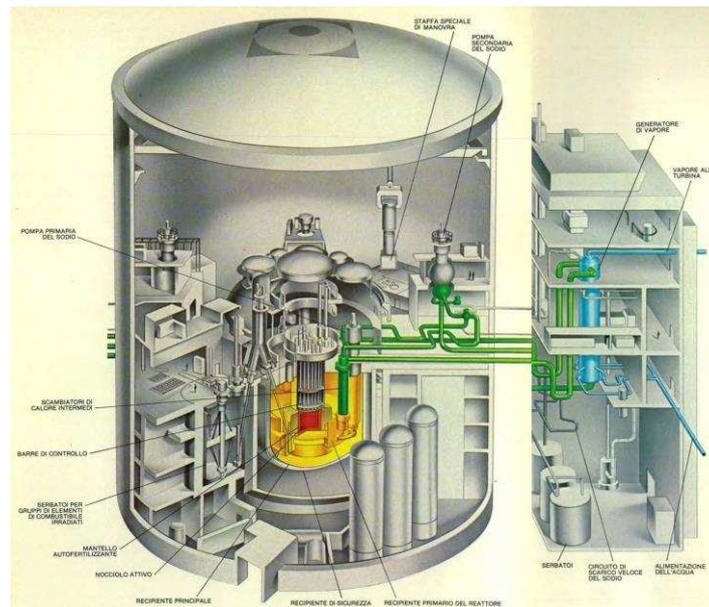
Un altro analogo processo di fertilizzazione prevede l'uso di Th-232 che si trasforma nel fissile U-233.

Il processo di conversione del fertile in fissile consente di ottenere un guadagno netto di fissile al punto che se ne può produrre più di quanto se ne consumi, generando allo stesso tempo energia. Sembra incredibile, ma è proprio così!

Quando in questo processo di conversione fertile-fissile il fissile prodotto è dello stesso tipo di quello bruciato, si parla di *autofertilizzazione* e il reattore è detto *autofertilizzante*, in inglese *breeder*.

Si tratta di reattori in cui il fluido refrigerante può essere un gas (elio) o un metallo liquido, comunemente *sodio o piombo liquidi* che associano ad una bassa capacità di assorbimento e rallentamento dei neutroni ottime proprietà di scambio termico alle alte temperature.

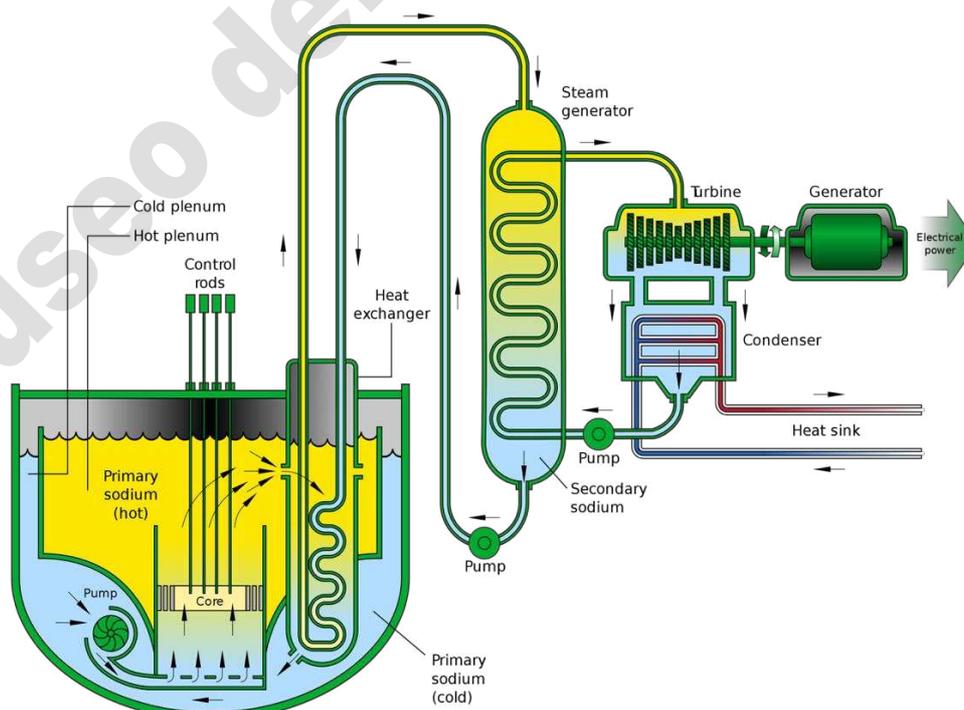
In questa stanza descriverò il reattore FBR raffreddato a sodio liquido.



Il FBR è un reattore in cui sono presenti diversi circuiti del refrigerante: un circuito sodio-sodio, in cui il sodio di raffreddamento del nocciolo scambia calore con il sodio di un secondo circuito, nel cui lato mantello circola l'acqua che si trasforma in vapore. Poiché il punto di ebollizione del sodio è molto alto anche a pressioni relativamente basse, circa 900°C a 1 MPa, non è necessario mantenere una pressione elevata nel circuito primario, ciò che semplifica la realizzazione del contenitore del reattore.

L'assenza di un moderatore e la notevole capacità di scambio termico del metallo fuso fanno sì che le dimensioni del nocciolo siano significativamente inferiori rispetto a quelle di un reattore termico.

Il livello di potenza viene regolato mediante inserzione e disinserzione continua delle barre di controllo. Anche lo spegnimento sicuro del reattore nucleare viene effettuato mediante l'uso delle barre di controllo.



### Funzionamento

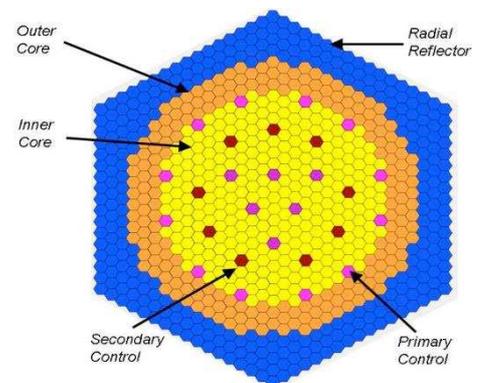
- Il nocciolo si trova immerso in una grande vasca di sodio liquido che, pompato attraverso gli elementi di combustibile, li lambisce asportando l'energia termica prodotta dalle fissioni. La presenza di uno strato di gas inerte, generalmente Argon, consente di evitare il contatto diretto del sodio liquido con l'aria;
- Il sodio entra dalla parte inferiore alla temperatura di circa 395°C ed esce superiormente ad una temperatura di circa 545 °C;
- In uno scambiatore di calore sodio-sodio, il refrigerante proveniente dal nocciolo scambia la propria energia con il sodio circolante in un secondo circuito;
- In quest'ultimo il calore viene ceduto all'acqua che circola in un terzo circuito, dove in un generatore di vapore si trasforma in vapore con una temperatura di circa 420°C ed una pressione di 21 MPa;
- Il vapore espandendosi genera energia meccanica che aziona le turbine. Queste sono accoppiate agli alternatori che producono energia elettrica;
- Il vapore in uscita dalla turbina viene raffreddato per mezzo di un condensatore in un circuito collegato a torri di raffreddamento e torna acqua in fase liquida che viene nuovamente fatta ricircolare nello scambiatore sodio-acqua.

### Caratteristiche costruttive e di funzionamento del reattore FBR Superphenix

Pressione di esercizio, MPa	16
Potenza termica tipica, MWth	3000
Potenza elettrica, MWe	1240
Efficienza termica, %	41,5
Diametro del contenitore di sicurezza, m	22,5
Altezza del contenitore di sicurezza, m	15,9

#### Elementi di combustibile nel nocciolo

Numero di elementi di combustibile	360
Numero di elementi di combustibile nocciolo interno	190
Numero di elementi di combustibile nocciolo esterno	170
Numero di barre di controllo principali	21
Numero barre di controllo di back-up spegnimento	3
Numero di elementi riflettori di acciaio	188
Combustibile nucleare, MOX	UO <sub>2</sub> 15% PuO <sub>2</sub> 85%
Arricchimento medio nocciolo interno, %	15,5
Arricchimento medio nocciolo esterno, %	19,5
Incamicatura	Acciaio inox



*Elementi autofertilizzanti*

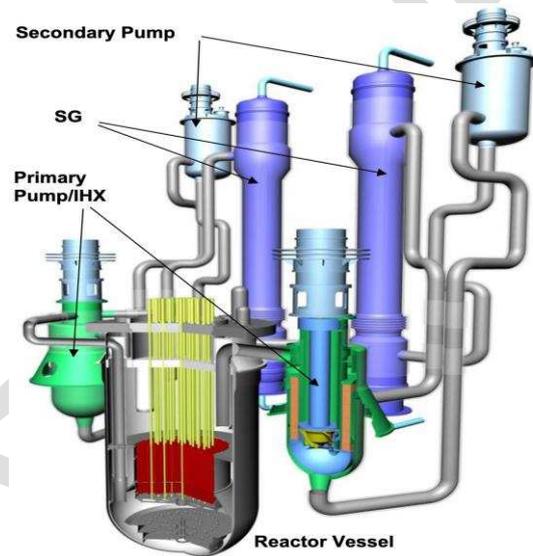
Numero di elementi autofertilizzanti	222
Lunghezza totale dell'elemento di combustibile, m	5,4
Lunghezza attiva, m	1,95
Numero di barrette autofertilizzanti per elemento	91
Materiale	U- impovertito
Incamicatura	Acciaio inox

*Circuiti del refrigerante*

CIRCUITO PRIMARIO	Pompe di alimentazione sodio	4
	Temperature ingresso/uscita refrigerante primario, °C	395/545
	Portata complessiva sodio liquido, Mg/s	16,4
	Massa del sodio liquido, Mg	3500

CIRCUITO SECONDARIO	Pompe di alimentazione sodio	4
	Scambiatori di calore intermedi	8
	Temperature ingresso/uscita refrigerante secondario, °C	525/345
	Portata complessiva sodio liquido, Mg/s	13,2
	Massa del sodio liquido, Mg	1500

CIRCUITO TERZIARIO	Numero generatori di vapore	4
	Temperatura del vapore, °C	420
	Pressione del vapore, Mpa	21
	Portata complessiva del vapore, Mg/s	1,36



Reattore veloce BN-800



Impianto nucleare Superphenix

