

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

### Reattore ad acqua pesante pressurizzata - PHWR Pressurized Heavy Water Reactor

Sono reattori di concezione canadese moderati ad acqua pesante e refrigerati con acqua pesante che scorre in tubi in pressione. Sono anche denominati **CANDU – Canadian Deuterium Uranium**.

In virtù del bassissimo assorbimento neutronico dell'acqua pesante, in questi reattori è possibile utilizzare l'uranio naturale (arricchimento dello 0,7%) come combustibile nucleare, ciò che li rende particolarmente attraenti per quei paesi che non dispongono di impianti di arricchimento isotopico dell'uranio.

Sebbene l'acqua pesante abbia costi molto elevati, generalmente centinaia di dollari al chilogrammo, il suo utilizzo in combinazione con l'uranio naturale garantisce la produzione di energia elettrica a costi competitivi.

Sono reattori che consentono il "refueling" continuo del combustibile, ossia la sostituzione degli elementi di combustibile esauriti con elementi freschi senza arrestare l'impianto, il che li rende molto efficienti.

Un nuovo elemento di combustibile viene semplicemente spinto da un'estremità di un tubo in pressione e va a sostituire il combustibile esaurito che viene raccolto mentre viene estruso all'estremità opposta.

Questa peculiarità, oltre a rendere i reattori **PHWR** estremamente efficienti con un fattore di utilizzazione prossimo a uno, fa sì che l'eccesso di reattività nel nocciolo sia minima in ogni momento, caratteristica, questa, di sicurezza intrinseca di questo tipo di reattore. Il fattore di utilizzazione si riferisce al rapporto tra il tempo in cui un reattore funziona a piena potenza in un determinato periodo e il tempo totale disponibile nello stesso periodo.

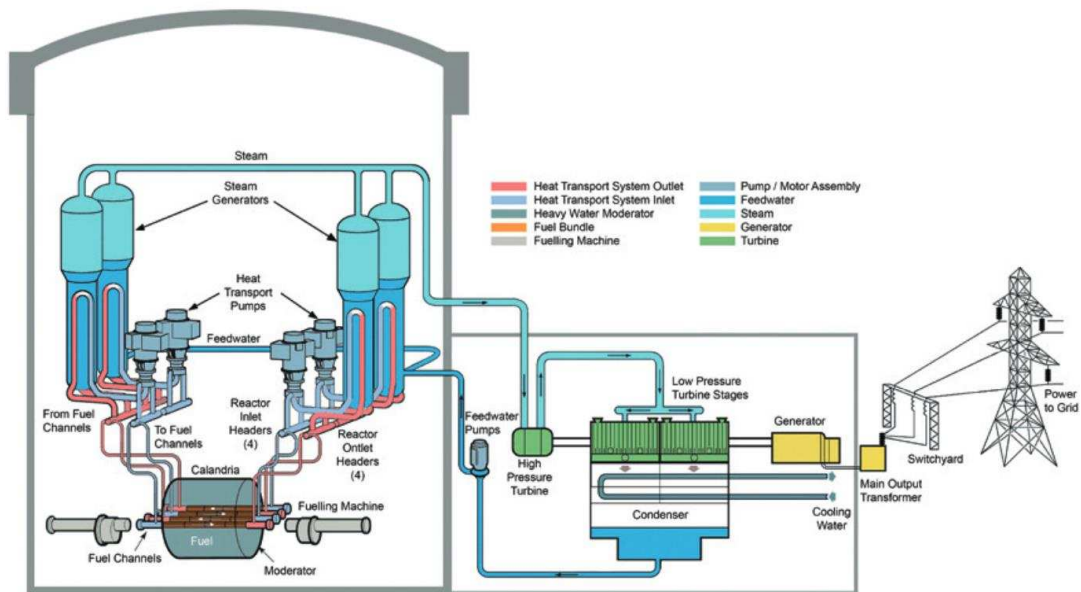
Il nocciolo del reattore si trova in un grande serbatoio di acciaio chiamato Calandria, che funge da vasca di contenimento della D<sub>2</sub>O.

In essa il moderatore si trova alla pressione atmosferica e a bassa temperatura (circa 70°C) ed è attraversata da diverse centinaia di tubi orizzontali mandrinati in pressione che costituiscono i canali per il combustibile.

L'acqua pesante di raffreddamento vi scorre alla pressione di circa 10 Mpa e alla temperatura media di 280°C.

Il moderatore nella Calandria e il refrigerante nei canali sono separati.

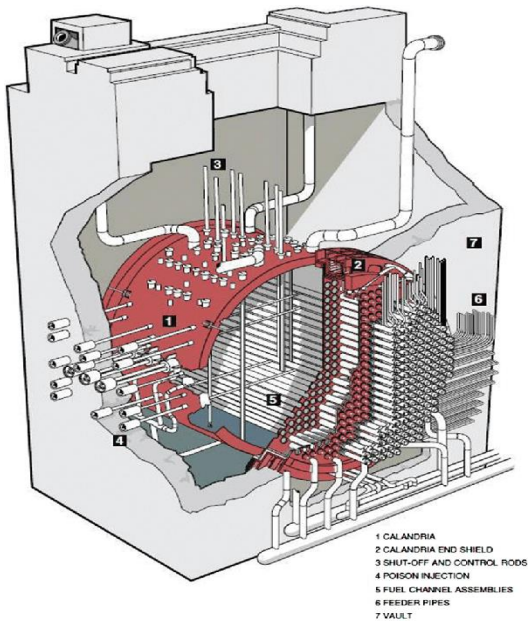
Anche il reattore PHWR è a ciclo indiretto.



### Funzionamento

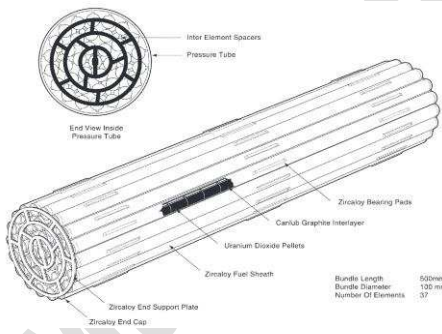
- nel nocciolo del reattore si produce energia termica a seguito delle fissioni.  
Il calore così prodotto viene trasferito all'acqua del circuito primario;
- L'acqua pesante di alimentazione del circuito primario viene pompata alla pressione di 10MPa, una temperatura di ingresso di circa 265°C ed esce a una temperatura di 310°C circa, rimanendo sempre in fase liquida.
- L'acqua calda del circuito primario entra successivamente in un circuito secondario, costituito da quattro loop in ciascuno dei quali è presente un generatore di vapore.  
In esso il calore viene ceduto all'acqua secondaria lato mantello e la trasforma in vapore a una temperatura media di circa 250°C e una pressione di circa 4 Mpa;
- il vapore espandendosi genera energia meccanica che aziona le turbine. Queste sono accoppiate agli alternatori che producono a loro volta energia elettrica;
- Il vapore in uscita dalla turbina viene raffreddato in un terzo circuito collegato a delle torri di raffreddamento e torna in fase liquida.  
Quest'acqua viene nuovamente pompata nel nocciolo mescolandosi all'acqua di ricircolo.

*Caratteristiche costruttive e di funzionamento tipiche di un PHWR*

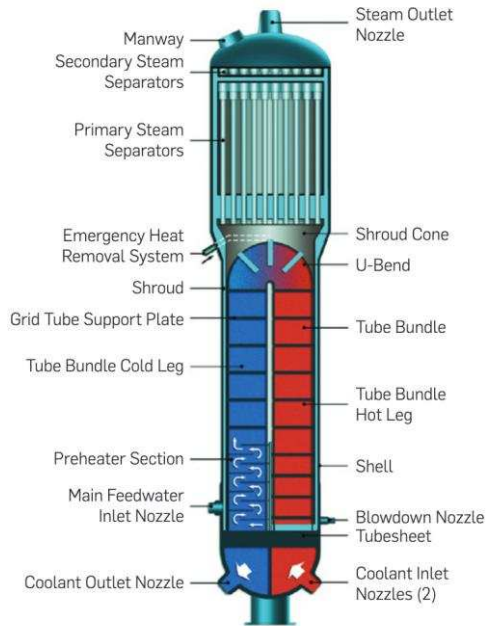


Pressione di esercizio nei tubi in pressione, MPa	10
Potenza termica tipica CANDU 6, MWth	2060
Potenza elettrica, MWe	660
Efficienza termica, %	32
Fattore di utilizzazione, %	92
Altezza attiva della calandria, m	5,9
Diametro della calandria, m	6
Materiale della calandria	Acciaio inox 304L
Materiale tubi in pressione, lega di Zirconio	Zr-2 o Zr-4
Numero di canali di combustibile	380
Diametro canali di combustibile, mm	12,9
Spessore canali di combustibile, mm	1,4
Massa totale del combustibile nel nocciolo, Mg	~ 90
Massa totale dell'acqua pesante nel nocciolo, Mg	470
Temperature ingresso/uscita refrigerante, °C	~ 265/310
Portata d'acqua pesante nominale per singolo canale, kg/s	~ 28,5
Temperatura del vapore, °C	~ 260

*Caratteristiche di un elemento di combustibile PHWR (15x15 o 17x17)*



Arricchimento medio pellet UO <sub>2</sub>	U naturale, 0,7%
Diametro esterno pellets UO <sub>2</sub> , mm	8,20
Diametro esterno della barretta, mm	9,50
Spessore incamicatura, mm	0,57
Passo medio tra barrette in un elemento, mm	12,6
Lunghezza totale della barretta, mm	500
Lunghezza totale dell'elemento di combustibile, m	3,9
Diametro elemento di combustibile, mm	100
Numero barrette per elemento	28-37
Numero di elementi per canale	12



Steam Generator

Numero di generatori per impianto	4
Diametro nominale dei tubi, mm	15,9
Materiale dei tubi	Incoloy-800
Temperatura nominale media del vapore, °C	260

