

## POLITECNICO DI TORINO

### ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE II SESSIONE - ANNO 2005

Ramo Nucleare

TEMA N. 2

E' richiesto il calcolo della circolazione del refrigerante primario di un reattore nucleare innovativo del tipo ad acqua in pressione, moderato e refrigerato ad acqua leggera, con elementi di combustibile simili a quelli dei reattori PWR attualmente in esercizio. Si vuole in particolare verificare se è possibile realizzare la circolazione naturale del refrigerante primario alla potenza nominale e, nel caso non risulti possibile, determinare la massima potenza estraibile in regime di circolazione naturale.

Il reattore è caratterizzato da una configurazione compatta, con i generatori di vapore posti all'interno del vessel.

La funzione del pressurizzatore è svolta dalla parte alta del vessel, che è occupata da vapore saturo stagnante a contatto con un pelo libero di liquido stagnante, mantenuto alla temperatura di saturazione da appositi elementi riscaldanti.

Nel nocciolo del reattore sono inserite dall'alto barre di controllo a fascio simili a quelle degli attuali PWR, che raggiungono il nocciolo all'interno di un condotto cilindrico indicato nel seguito come "riser".

I generatori di vapore sono del tipo a tubi elicoidali, con il deflusso dell'acqua primaria all'esterno dei tubi; essi, in numero di otto, sono posizionati nell'intercapedine anulare tra il riser e il vessel e sono collegati in parallelo rispetto al nocciolo del reattore.

Una rappresentazione schematica della disposizione dei componenti all'interno del vessel è fatta in fig. 1, dove sono anche indicate le principali quote nella direzione verticale e la posizione in cui debbono essere eventualmente inserite le pompe di circolazione del refrigerante primario.

Con riferimento ai parametri geometrici di fig. 1 e di tab. 1, si richiede di verificare se è possibile la circolazione naturale del refrigerante primario nelle condizioni operative nominali di tab. 2.

Nel caso in cui la circolazione naturale risulti possibile, si richiede di proporre l'inserimento di dispositivi atti a realizzare la portata del refrigerante primario richiesta dalle condizioni nominali.

Se la circolazione naturale non risulta invece possibile, si richiede di determinare la prevalenza delle pompe relativa alle condizioni nominali, nell'ipotesi di inserire una pompa all'ingresso di ciascun generatore di vapore, come indicato in fig. 1. Si richiede inoltre di valutare la massima potenza estraibile dal nocciolo in regime di circolazione naturale.

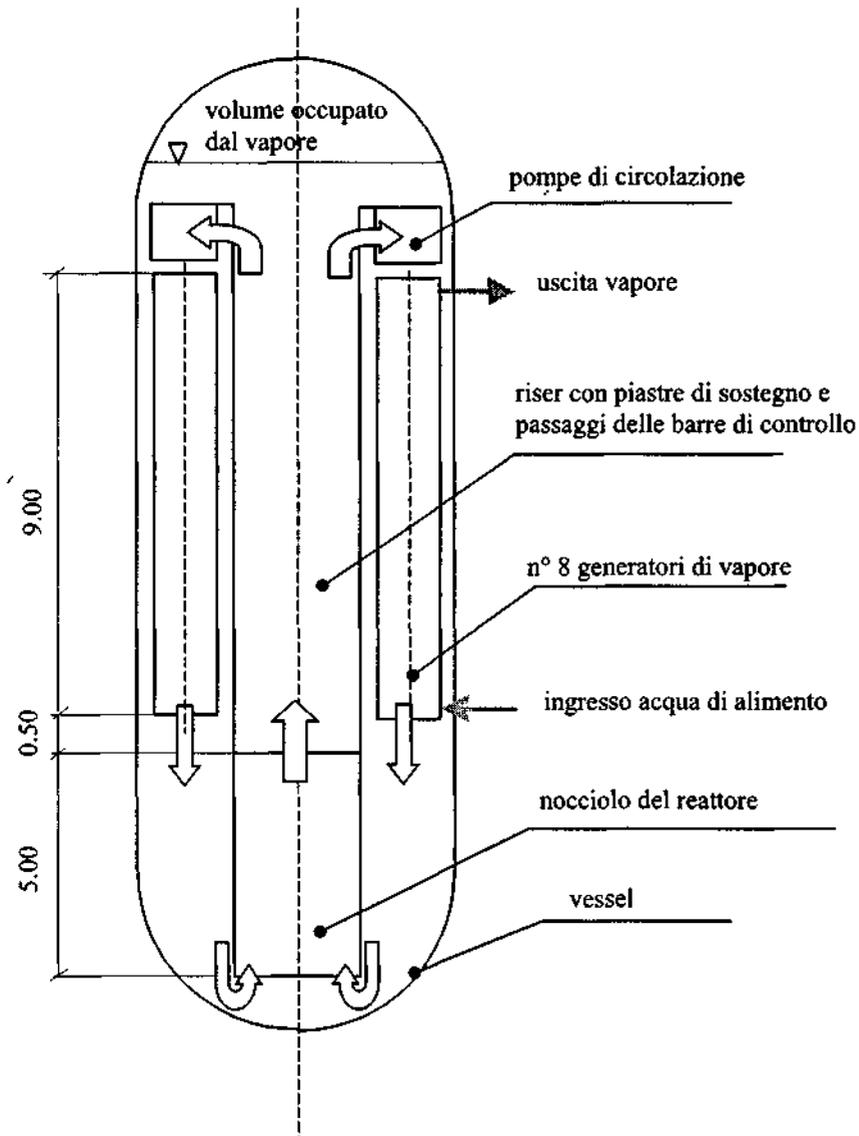


Fig. 1 - Rappresentazione schematica (non in scala) del vessel con i principali componenti; le quote sono espresse in metri; le frecce indicano la circolazione del refrigerante primario.

Tabella 1 - Principali parametri geometrici	
diametro interno del vessel	6220 mm
diametro esterno del riser	2850 mm
diametro interno del riser	2750 mm
tipo di assemblaggio: 17 x 17; i 289 elementi del reticolo dell'assemblaggio comprendono, oltre alle 264 barrette di combustibile, un tubo per la strumentazione e i tubi guida per le barre di controllo	
reticolo degli assemblaggi	quadrato
diametro esterno delle guaine delle barrette di combustibile	9.50 mm
passo del reticolo delle barrette	13.29 mm
lunghezza della parte attiva delle barrette di combustibile	4267 mm
lunghezza della parte non attiva delle barrette	500 mm
numero di griglie distanziatrici di ciascun assemblaggio	14

Tabella 2 - Parametri operativi relativi alle condizioni nominali	
pressione media del refrigerante primario	155 bar
temperatura del refrigerante primario all'ingresso del nocciolo	292 °C
temperatura media del refrigerante primario all'uscita del nocciolo	330 °C
potenza termica del nocciolo	1000 MW
potenza per unità di lunghezza della singola barretta di combustibile, valore medio su tutto il nocciolo	99.8 W/cm

Con riferimento ai dati precedenti, il Candidato sviluppi i punti seguenti:

1) determinazione della portata di refrigerante primario nelle condizioni nominali; possono essere a questo scopo utilizzati i valori delle proprietà fisiche dell'acqua riportati in tab. 3;

Tabella 3 - Proprietà fisiche dell'acqua sottoraffreddata alla pressione di 155 bar			
temperatura °C	densità kg/m <sup>3</sup>	entalpia kJ/kg	viscosità kg/(m s)
290	746.5	1283.5	92.40 10 <sup>-6</sup>
300	726.8	1336.9	88.50 10 <sup>-6</sup>
310	705.1	1392.8	84.57 10 <sup>-6</sup>
320	680.5	1452.1	80.49 10 <sup>-6</sup>
330	651.9	1516.3	76.10 10 <sup>-6</sup>

2) determinazione del numero di assemblaggi del nocciolo, nell'ipotesi che in tutti gli assemblaggi siano presenti i tubi guida per le barre di controllo e il tubo della strumentazione, con riferimento ai dati assegnati nelle tabelle 1 e 2; nello svolgimento di questo punto può essere necessario determinare una lunghezza attiva delle barrette di combustibile leggermente diversa da quella indicata;

3) determinazione della portata specifica media del nocciolo nelle condizioni nominali; si calcoli a questo scopo la sezione retta dell'assemblaggio in base ai dati geometrici forniti (si assuma per i tubi della strumentazione e per i tubi guida delle barre di controllo un diametro esterno pari a quello delle guaine del combustibile);

4) calcolo della caduta di pressione nel nocciolo, valutata con riferimento alla portata specifica media delle condizioni nominali; per l'imbocco dal plenum inferiore e lo sbocco nel plenum superiore si possono assumere coefficienti di resistenza localizzata rispettivamente pari a 0.45 e ad 1; per ciascuna delle griglie distanziatrici delle barrette si può assumere un coefficiente di perdita localizzata pari ad 1;

5) calcolo delle cadute di pressione subite dal fluido primario lungo il suo percorso all'esterno del nocciolo nelle condizioni nominali con riferimento ai dati di tab. 4, e verifica della possibilità della circolazione naturale nelle condizioni nominali;

Tabella 4 - Dati relativi alle cadute di pressione per attrito e localizzate lungo il circuito primario all'esterno del nocciolo	
dal nocciolo fino ai generatori di vapore:	5 % delle cadute di pressione per attrito e localizzate del nocciolo
nel generatore di vapore, dall'ingresso all'uscita nel condotto anulare:	0.70 bar
dall'uscita dei generatori di vapore al nocciolo:	10 % di quelle per attrito e localizzate del nocciolo

- 6) se la circolazione naturale risulta possibile, il Candidato proponga l'inserimento di dispositivi atti a realizzare la portata calcolata al punto (1);
- 7) se la circolazione naturale non risulta possibile, il Candidato sviluppi i punti seguenti:
- 7.1) calcolo della prevalenza delle pompe nelle condizioni nominali;
  - 7.2) calcolo della portata e della massima potenza estraibile in regime di circolazione naturale;
  - 7.3) proposta di modifiche dei dati di progetto atte a favorire la circolazione naturale, con l'analisi della loro fattibilità e delle relative implicazioni, anche in relazione alle problematiche della sicurezza.

Il Candidato discuta infine le semplificazioni adottate nello svolgimento dei calcoli.

