POLITECNICO DI TORINO

ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
II SESSIONE- ANNO 2000

Ramo NUCLEARE **TEMA n.ro 2**

In un impianto per la produzione di trizio (APT Accelerator Production of Tritium) è prevista la realizzazione di una sorgente neutronica (Tungsten Neutron Source TNS) per spallazione nucleare mediante l'interazione di un fascio di protoni di energia 1700 Mev con bersagli di tungsteno (fig.1).
La sorgente è all'interno di un vessel mantenuto sotto vuoto. Il fascio è caratterizzato da una intensità di corrente di 100 mA ed è distribuito nella regione bersaglio in una sezione di larghezza 190 mm e altezza 1900 mm. Ogni bersaglio è costituito da sei tubi concentrici di tungsteno all'interno di un condotto in inconel 718 rivestito sulla superficie interna di tungsteno. I sei tubi sono assemblati con l'ausilio di due flange di supporto, in inconel 718, opportunamente orifiziate e costituiscono i canali (in geometria anulare) per la refrigerazione del bersaglio. Gli elementi bersaglio sembrano i pioli di una scala. Essi sono disposti in parallelo tra due condotti, uno per l'ingresso (downcomer) e l'altro per l'uscita (riser) del refrigerante negli elementi bersaglio come schematizzato in fig. 2. La lunghezza di ogni singolo bersaglio è pari a 250 mm. La potenza termica depositata nel tungsteno durante il processo di spallazione è rimossa con acqua pesante con funzioni sia refrigeranti che moderanti. Si hanno 13 scale assemblate in due moduli di cui 6 appartenenti al primo modulo e 7 al secondo. Il passo tra le scale è pari a 360 mm.
Le scale sono connesse in parallelo, nei due moduli, a due collettori, uno di ingresso del refrigerante e l'altro di uscita. La connessione delle scale ai collettori è fatta con flange orifiziate . Il diametro interno del downcomer e del riser, per tutte le scale, è pari a 72.9 mm (diametro esterno 2" e 1/2"). La lunghezza del downcomer e del riser è pari a circa 4 m.
La potenza termica depositata nelle tredici scale è riportata in tab. 1 e 2. I dati geometrici di riferimento per le scale sono riportati in tab. 3.
Per la scala numero 2, che è la più sollecitata dal punto di vista termoidraulico, i flussi termici rimossi dalle superfici interne ed esterne delle strutture metalliche di un piolo, in condizioni stazionarie, sono riportati in tab. 4. Si suppone che in tutte le 13 scale i rapporti tra le potenze depositate nei materiali strutturali dei pioli di una scala e la potenza totale di ogni scala siano pari a quelli stimati per la scala numero 2.
La refrigerazione dei bersagli è assicurata da acqua pesante alla pressione media di 10 bar con temperatura del refrigerante in ingresso di 50°C. La rimozione della potenza dall'impianto è assicurata da uno scambiatore di calore acqua pesante acqua leggera con acqua prelevata da un fiume a 15 °C. Lo scambiatore di calore rimuove la potenza di entrambi i moduli della sorgente neutronica. Quando l'impianto è fuori servizio (acceleratore spento) si stima una potenza di decadimento dei prodotti di attivazione di circa 1% della potenza depositata nei bersagli alle condizioni di esercizio nominale (corrente del fascio 100 mA). I Collettori e gli scambiatori di calore possono essere realizzati anche in acciaio inossidabile.

Il candidato valuti:

1. Per il fascio protonico :la potenza , la densità di corrente media e l'intensità espressa in numero di particelle per unità di superficie e di tempo, nella sezione di riferimento immediatamente prima dell'interazione.

2. La distribuzione di potenza depositata, in condizioni di esercizio nominale, nei materiali strutturali del generico piolo della seconda scala. Questa distribuzione di potenza sia espressa, anche, in termini di generazione volumetrica di calore nel tungsteno considerando come larghezza di interazione del fascio con i pioli la larghezza nominale del fascio (190 mm).

3. La distribuzione della potenza depositata, in condizioni di esercizio nominale, nei materiali strutturali del generico piolo di tutte le scale. Valutare anche volumi e masse di tungsteno presenti nelle scale.

4. La distribuzione di portata nei condotti del generico piolo, per tutte le scale, affinchè la variazione di temperatura nel canale di refrigerazione sia pari a 36 °C. Approssimare le proprietà termodinamiche dell'acqua pesante con quelle dell'acqua leggera.

5. Le cadute di pressione ed i coefficienti di scambio termico medi nei canali del piolo della seconda scala precisando le ipotesi e le correlazioni adottate.

6. L'orifiziatura in termini di sezione e di rapporto con la sezione dell'anulo da alimentare che consente di realizzare la richiesta distribuzione di portata negli anuli. Fissare il coefficiente di perdita di carico localizzata per gli orifizi indicando il criterio per la scelta.

7. Le cadute di pressione da associare alle diverse scale e l'orifiziatura da inserire nel downcomer che consente di garantire la richiesta distribuzione di portata.

8. Un dimensionamento di massima con relativa verifica dello spessore delle tubazioni del downcomer, riser e collettori.

9. Un dimensionamento di massima (superficie di scambio termico) dello scambiatore di calore necessario per rimuovere l'intera potenza depositata nella regione bersaglio. Fissare la temperatura di uscita del refrigerante secondario illustrando il criterio per la scelta e fissare tutti i dati necessari per lo studio.

10. In forma sintetica i potenziali criteri di progetto necessari a far fronte a potenziali scenari incidentali considerando anche le problematiche connesse al danno da radiazione sui materiali.

11. Disegnare in forma semplificata, una sezione della distribuzione dei bersagli di tutte le scale nel volume di interazione fascio protonico- bersagli.

12. Definire numero e potenza da assegnare alle pompe per la circolazione dell'acqua pesante per assicurare la refrigerazione in condizioni di esercizio normale e di impianto spento.

Tab. 1 Potenza termica depositata nelle scale del Modulo 1

elemento	1	2	3	4	5	6
Potenza MW	7.5	9.35	7.5	7.5	7.5	7

Tab. 2 Potenza termica depositata nelle scale del Modulo 2

elemento	7	8	9	10	11	12	13
Potenza MW	6.5	6.5	5.0	4	3	2	1.5

Tab. 3 Dati geometrici per i circuiti di rimozione della potenza (scale) e dei bersagli (pioli)

parametro	scala 1 e 2	scala 3 e 4	scala 5 e 6	scala 7 e 8	scala da 9 a 13
Numero pioli	28	26	22	19	16
Diametro esterno piolo (inconel) mm	43.43	46.79	55.63	64.77	76.96
Spessore tubo inconel mm	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
Spessore rivestimento in tungsteno tubo inconel mm	0.127	0.127	0.127	0.127	0.127
Passo tra i pioli mm	74.78	80.52	95.09	110.01	130.52
n.ro tubi di tungsteno	6	6	6	6	6
Diametro del tubo più interno mm	2.032	2.032	2.032	2.032	2.032
Spessore tubi di tungsteno mm	2.032	2.311	3.048	3.81	4.826
Gap tra i canali anulari mm	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016

Tab.4 Flussi termici rimossi in condizioni stazionarie (scala n.ro 2) nelle strutture dei pioli

	Numero del canale						
	1	2	3	4	5	6	7
Q_o MW/m^2	2.262	2.271	2.269	2.269	2.269	2.342	0
Q_i MW/m^2	2.296	2.269	2.271	2.272	2.271	2.189	0.818

Proprietà termomeccaniche di riferimento

	Inconel 718	Tungsteno
Densità: g/cm^3	8.25	19.3
Temperatura di fusione: °C	1425	
Calore specifico : J/kg	431	
Dilatazione termica lineare : 1/°C	$11.5*10^{-6}$	$4.6*10^{-6}$
Conducibilità termica: cal/cm s °C	0.036	0.397
Sollecitazione unitaria alla rottura: MPa	1430	
Sollecitazione unitaria allo snervamento MPa	1190	
Allungamento unitario%	21	

1 cal/cms°C=418.4 W/m°K; 1 e=$1.602192*10^{-19}$ C.

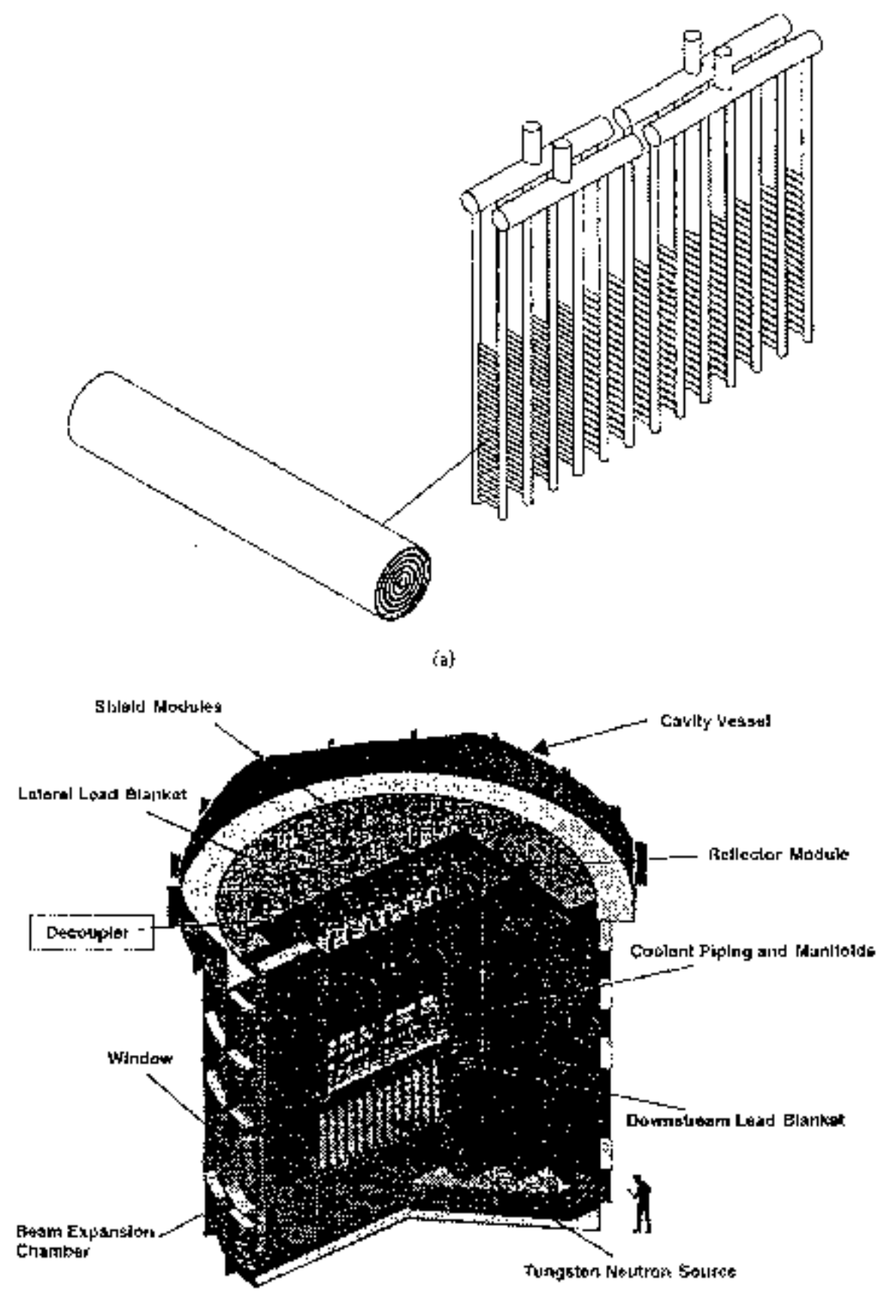

Fig. 1. Two schematics showing the target assembly (a) and a cross section of an APT target and blanket assembly (b). Half of the blanket assembly has been removed for clarity.

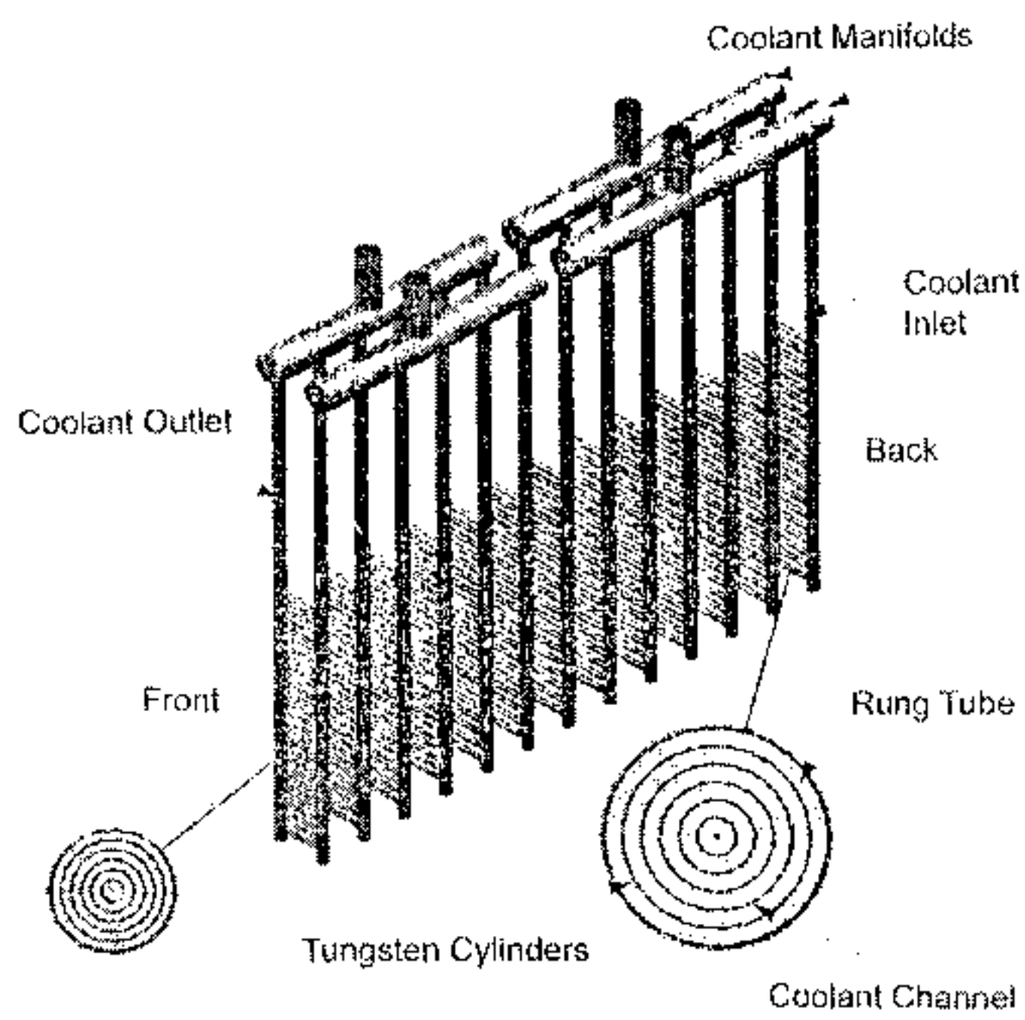

Fig. 1 Sorgente neutronica nell'APT.
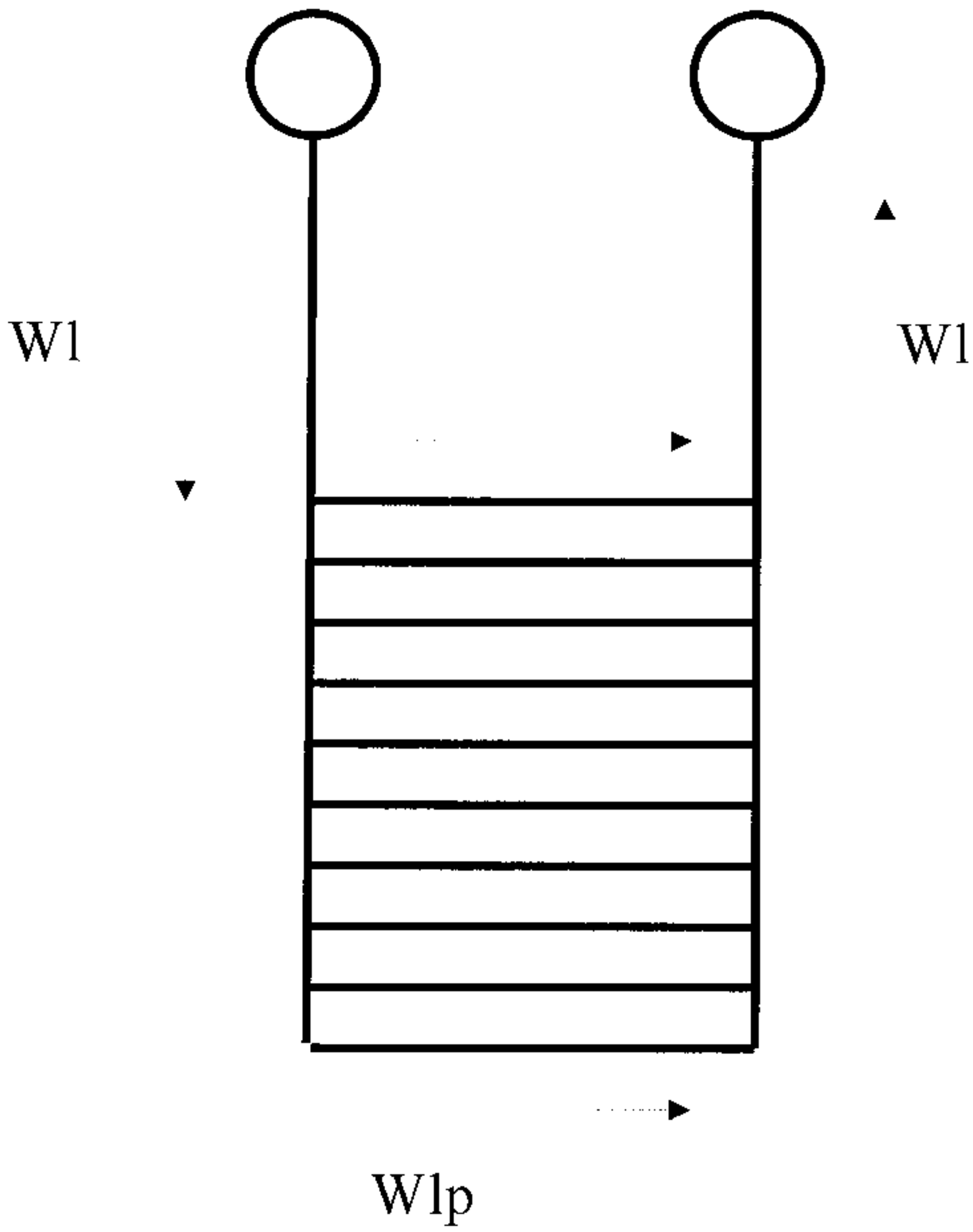
Fig.2 Rappresentazione schematica dell'elemento scala.