

POLITECNICO DI TORINO

ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE II SESSIONE- ANNO 1998

Ramo NUCLEARE

TEMA n.ro 2

Nell'ambito delle attività di ricerca e sviluppo di un impianto nucleare innovativo denominato Amplificatore di Energia (EA) in cui la sorgente neutronica necessaria per il funzionamento stazionario del reattore sottocritico, è prodotta attraverso reazioni di spallazione tra un fascio protonico e il piombo è richiesta la progettazione termofluidodinamica e termomeccanica del sistema "target".

La fig. 1 illustra una proposta di soluzione per il "target" senza finestra, ovvero di un sistema in cui non è prevista una parete che separi il condotto che trasporta i protoni e il piombo investito dal fascio protonico. In questo sistema, uno scambiatore di calore piombo del target- piombo della piscina è deputato alla rimozione del calore depositato dai protoni.

Un fascio protonico collimato costituito da una corrente $I=15$ mA, con energia delle particelle $T=1000$ MeV investe una corrente di piombo fluente verso il basso. Il fascio protonico investe del piombo fluente in un condotto avente il diametro di 200 mm.

L'interazione dei protoni da 1000 MeV con il piombo è caratterizzata da un "range" $R=621.7$ g/cm² che è definito dal prodotto tra il percorso medio delle particelle del mezzo e la densità; e da una "average total stopping power" $Sp=1.186$ MeV cm²/g definita dal rapporto tra l'energia trasferita sull'unità di percorso della particella e la densità del mezzo per effetto dei processi di collisione elettronica e nucleare.

Il fluido secondario dello scambiatore di calore (piombo della piscina) entra nella regione del fascio alla temperatura di 400 °C con una velocità di 1 m/s. La temperatura massima in uscita si assume pari a 600 °C.

Valutare:

- 1) la potenza del fascio protonico, la lunghezza della regione in cui i protoni cedono la loro energia
- 2) la potenza depositata nel piombo per effetto dei processi di collisione elettronica e nucleare; valutare anche la densità potenza lineare media e la generazione volumetrica media di energia termica;
- 3) la velocità del piombo nel condotto di spallazione affinché il gradiente di temperatura, nell'ipotesi di trascurare il trasporto dell'energia termica per conduzione, non superi i 4 °C/cm ;
- 4) la portata fluente nel condotto di spallazione e la temperatura di alimentazione dello scambiatore di calore deputato alla rimozione della potenza deposita nel target nell'ipotesi che la finestra sia alimentata con piombo alla temperatura di 405 °C;
- 5) dimensionare lo scambiatore di calore che consente di rimuovere la potenza generata nel target in termini di superficie di scambio termico, numero, diametri e lunghezza delle tubazioni; fare uno schizzo di riferimento che sia significativo ai fini della costruzione.
- 6) valutare le cadute di pressione per il piombo primario dalla interfaccia bersaglio sino al condotto di aspirazione della pompa ;
- 7) calcolare la prevalenza da assegnare alla pompa che consente di ricircolare la portata primaria richiesta;
- 8) discutere l'influenza della caratteristica della pompa sulla posizione dell'interfaccia nel condotto di spallazione definendo i margini operativi da assegnare sulle specifiche di progetto della pompa

- 9) valutare la massa di piombo da caricare nel lato primario dello scambiatore in modo che le escursioni di livello al variare della temperatura tra 330°C e 800 °C non superino i 300 mm
 10) discutere il tipo di circolazione che si realizzerebbe nello schema nel caso di blocco delle pompe senza significative cadute di pressione e strozzature nelle loro sezioni di passaggio.

Dati di riferimento:

carica dell'elettrone $e=1.602192 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Proprietà termofisiche del piombo:

temperatura di fusione	$T_m=328 \text{ °C}$
temperatura di ebollizione	$T_b=1743 \text{ °C}$
calore specifico	$c_p=0.15 \text{ kJ/kg°C}$
densità (a 600 °C)	$\rho=10.33 \text{ kg/dm}^3$
conducibilità termica	$k=16.45 \text{ W/m°C}$
viscosità dinamica	$\mu=1.55 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$
tensione superficiale	$\sigma=0.431 \text{ N/m}$
coefficiente di dilatazione volumica	$\beta=1.3935 \cdot 10^{-4} \text{ 1/°C}$

variazione della densità del piombo con la temperatura:

$$\rho = \rho_m + \Lambda(T - T_m)$$

$\rho_m=10.67 \text{ kg/dm}^3$
 $\Lambda=-1.32 \text{ kg/m}^3\text{°C}$

Materiali di riferimento per la costruzione dello scambiatore di calore

Acciaio ferritico ad alto contenuto di cromo:

calore specifico $c=472 \text{ J/kg°C}$

densità 7.53 g/cm^3

conducibilità termica 0.06 cal/cm*s*°C

diametri interni di riferimento per i tubi dello scambiatore di calore : 6, 8, 10, 12 mm;

spessori di riferimento per le tubazioni 0.5, 0.8, 1 mm.

Alcuni dati sul core:

altezza core 3.3 m

altezza zona attiva 1.5 m

Correlazione per il calcolo del coefficiente d'attrito (attrito continuo)

$$f = 0.079 \text{ Re}^{-0.25}$$

Correlazione per la valutazione del coefficiente liminare di scambio termico:

$$Nu = 4.82 + 0.0185(\text{Re} \cdot \text{Pr})^{0.827}$$

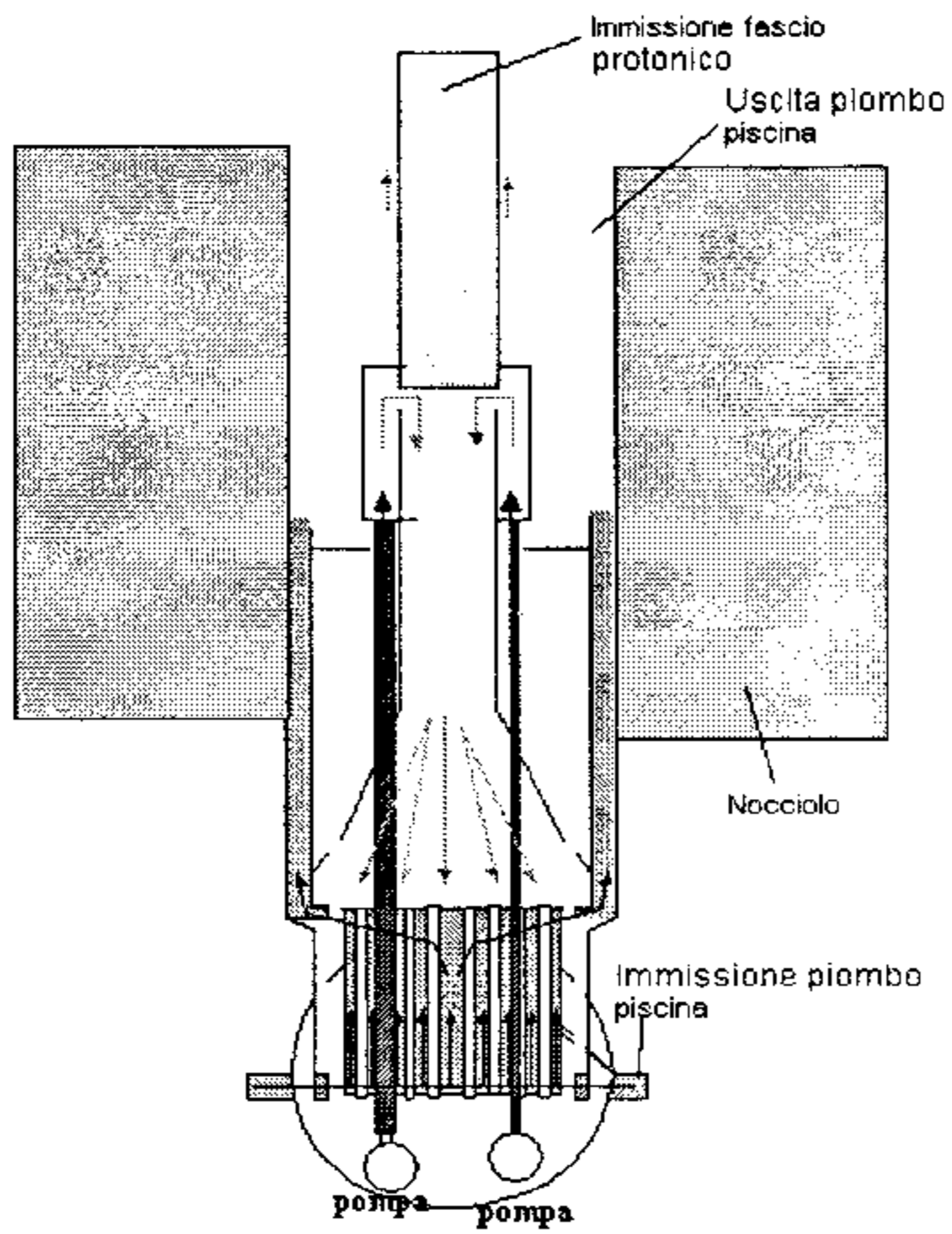


Fig. 1 schema del sistema target senza finestra