

POLITECNICO DI TORINO

ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
I SESSIONE - ANNO 2001

Ramo Nucleare

TEMA N. 2

E' richiesto il dimensionamento di massima di un circuito sperimentale per lo studio fluidodinamico del *target* di un reattore nucleare innovativo del tipo "Amplificatore di Energia".

Si tratta di un reattore con nocciolo sottocritico, alimentato con i neutroni veloci prodotti dalla reazione di spallazione indotta da un fascio di protoni ad alta energia che interagisce nel *target*, situato nella regione centrale del nocciolo, con l'eutettico piombo-bismuto utilizzato quale fluido termovettore per la refrigerazione del nocciolo. La configurazione del *target* da simulare con il circuito sperimentale è quella denominata *windowless*, rappresentata schematicamente in fig. 1.

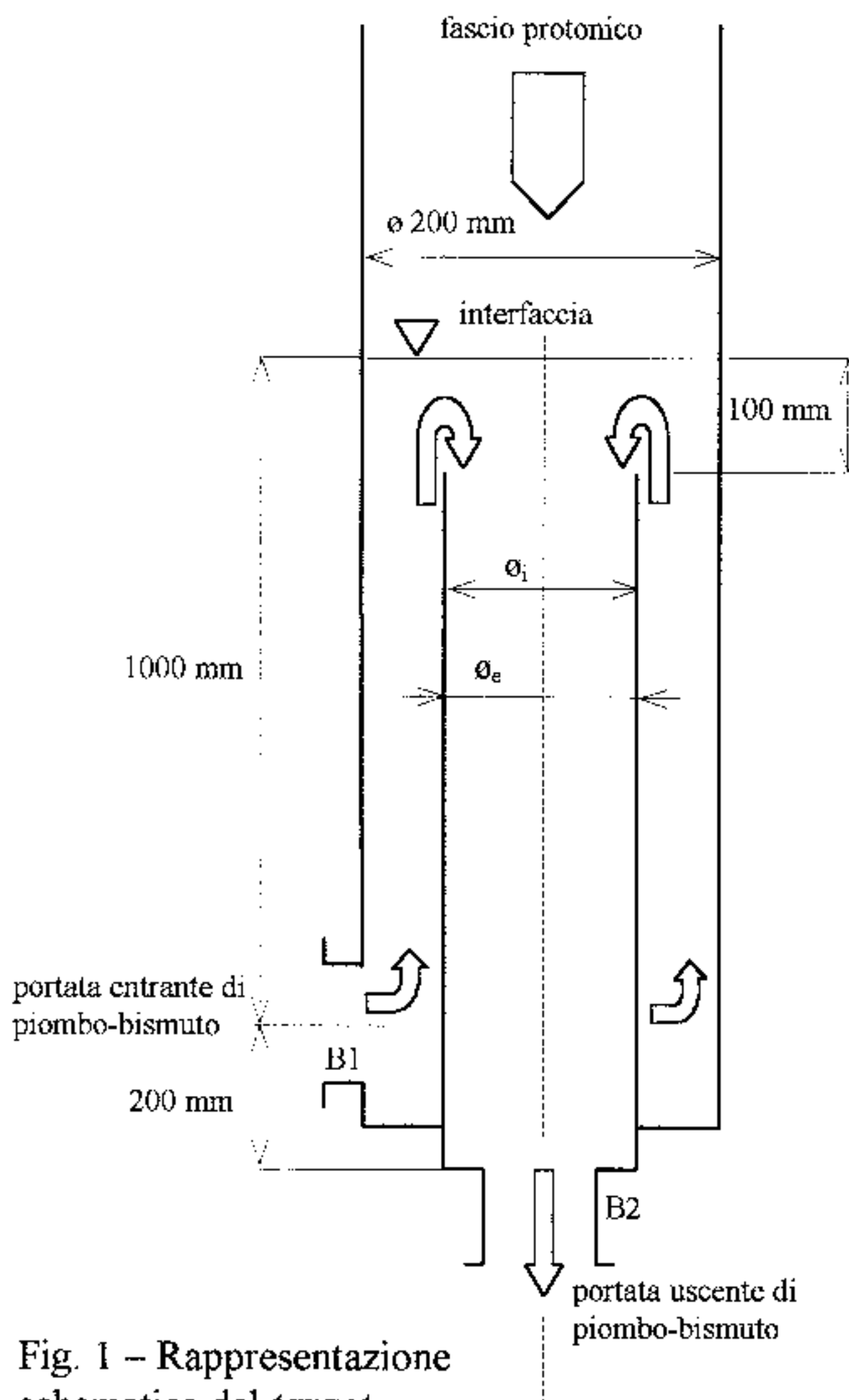


Fig. 1 - Rappresentazione schematica del *target*

Nella configurazione *windowless* il fascio di protoni investe direttamente il piombo-bismuto senza l'interposizione di una parete metallica, in corrispondenza dell'interfaccia, che nel presente problema viene considerata piana.

Il piombo-bismuto entra attraverso il bocchello B1 alla temperatura di 400 °C e percorre in moto ascendente il condotto anulare delimitato dai due cilindri rappresentati in figura. Esso inverte quindi il verso del deflusso al disotto dell'interfaccia, per defluire poi verso il basso nel condotto cilindrico centrale, fuoriuscendo infine dal *target* attraverso il bocchello B2.

Lo spessore del condotto cilindrico centrale ($(\varnothing_e - \varnothing_i)/2$) è pari a 5 mm; i diametri esterno \varnothing_e ed interno \varnothing_i sono tali da realizzare la stessa la velocità media del piombo-bismuto nel condotto anulare e nel condotto centrale. La velocità è pari a 0.50 m/s.

Il circuito sperimentale oggetto del dimensionamento è finalizzato allo studio dei soli aspetti fluidodinamici del *target*, in condizioni adiabatiche. Esso è dotato di una sezione di prova di forma e dimensioni geometriche uguali a quelle di fig. 1. Il fluido utilizzato per la simulazione sperimentale, anziché piombo-bismuto, è acqua alla temperatura di 25 °C, a contatto con l'aria dell'ambiente in corrispondenza dell'interfaccia;

la velocità dell'acqua nella sezione di prova è uguale a quella del piombo-bismuto nel *target*.

Il dimensionamento di massima consiste nella definizione delle caratteristiche del circuito che alimenta in condizioni stazionarie la sezione di prova, alla velocità precedentemente indicata.

Il circuito è pertanto dotato di una pompa centrifuga collegata alla sezione di prova tramite tubazioni di diametro opportuno. Esso è inoltre dotato di una valvola per la regolazione della portata, di una termoresistenza per la misura della temperatura e di un tubo di Venturi per la misura della portata. Il circuito deve essere inoltre dotato di uno scambiatore di calore alimentato con acqua di rete alla temperatura di 15 °C, per la rimozione dell'energia dissipata nella pompa e nel circuito; lo scambiatore è collegato al circuito in parallelo rispetto alla pompa; la frazione della portata totale che lo attraversa è regolata da una valvola.

Sulla base delle precedenti indicazioni e con riferimento ai dati delle tabelle riportate più oltre, è richiesto lo sviluppo dei punti seguenti:

- 1 scelta della tipologia dello scambiatore di calore;
- 2 definizione del tracciato del circuito e sua rappresentazione;
- 3 dimensionamento delle tubazioni;
- 4 scelta del tipo di valvola per la regolazione della portata;
- 5 dimensionamento di massima del tubo di Venturi;
- 6 determinazione della prevalenza della pompa;
- 7 dimensionamento di massima dello scambiatore di calore.

Si discutano infine le modalità della simulazione fluidodinamica proposta, con riferimento ai numeri adimensionati significativi nella simulazione del *target*.

Nello sviluppo dei punti precedenti si faccia riferimento alle indicazioni che seguono:

lo scambiatore di calore, il tubo di Venturi e le tubazioni debbono essere realizzati in acciaio inossidabile;

punto 2) nella definizione del tracciato del circuito si supponga di non avere alcun vincolo sia nel piano orizzontale, sia nella direzione verticale; nella determinazione della lunghezza delle tubazioni occorre tenere conto delle necessarie lunghezze di calma a monte e a valle del tubo di Venturi;

punto 3) il dimensionamento delle tubazioni comporta la determinazione del diametro interno e dello spessore; a questo scopo occorre assumere la velocità dell'acqua nelle tubazioni e la pressione di progetto, che deve essere verificata a conclusione del dimensionamento dell'intero circuito; si assuma che lo scambiatore di calore sia percorso da una portata pari al 10 % della portata che attraversa la sezione di prova; per la scelta dei diametri e per la verifica della resistenza a pressione si può fare rispettivamente riferimento ai dati delle tabelle 2 e 4;

punto 5) il dimensionamento del tubo di Venturi comporta la determinazione del diametro della sezione ristretta, sulla base della caduta di pressione corrispondente alla portata misurata; può essere assunta una caduta di pressione di 0.2 bar; la determinazione del diametro della sezione ristretta può essere fatta, in via approssimata, nell'ipotesi di fluido ideale.

punto 6) la determinazione della prevalenza della pompa comporta il calcolo delle cadute di pressione localizzate e distribuite in tutto il circuito; nel calcolo delle cadute di pressione per attrito continuo si può assumere una rugosità assoluta di 10^{-5} m;

punto 7) nel dimensionamento di massima dello scambiatore di calore occorre fissare il valore della temperatura di uscita dell'acqua di rete, determinando la portata in base alla potenza che deve

essere asportata; essa è data dalla somma delle potenze dissipate nella pompa e nel circuito; si può assumere un rendimento globale della pompa pari a 0.6; per il calcolo della superficie di scambio termico può essere utilizzato un valore del coefficiente globale di scambio termico tratto dalla tabella 3; nella stessa tabella sono riportate la resistenza termica di *fouling* e la conducibilità termica dell'acciaio inossidabile, da utilizzare qualora si effettui il calcolo del coefficiente globale di scambio termico; se lo scambiatore di calore è del tipo a tubi e mantello, si può fare riferimento ai diametri dei tubi riportati in tabella 1 e alla tensione ammissibile dell'acciaio di tabella 4, assumendo valori opportuni della velocità dell'acqua.

Le proprietà fisiche rilevanti nella simulazione fluidodinamica sono riportate nelle tabelle 5, 6, rispettivamente per il piombo-bismuto e per l'acqua; per l'acqua sono anche riportati il calore specifico e la conducibilità termica, utilizzabili nel dimensionamento dello scambiatore di calore. Per le proprietà dell'acqua si è fatto riferimento alla pressione di 2 bar, data la debole dipendenza dalla pressione.

diametro esterno (mm)	10	14	20	25	30	44.5
spessore (mm)	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5

diametro esterno (mm)	spessori (mm)	diametro esterno (mm)	spessori (mm)	diametro esterno (mm)	spessori (mm)	diametro esterno (mm)	spessori (mm)
13.5	1, 1.5, 2	33.7	1.5, 2, 2.5, 3	60.3	1.5, 2, 2.5, 3	133	1.5, 2, 2.5, 3
17.2	1, 1.5, 2	38	1.5, 2, 2.5, 3	70	1.5, 2, 2.5, 3	139.7	1.5, 2, 2.5, 3
20	1, 1.5, 2	42.4	1.5, 2, 2.5, 3	76.1	1.5, 2, 2.5, 3	159	1.5, 2, 2.5, 3
21.3	1, 1.5, 2	45	1.5, 2, 2.5, 3	88.9	1.5, 2, 2.5, 3	168.3	1.5, 2, 2.5, 3
25.4	1, 1.5, 2	48.3	1.5, 2, 2.5, 3	101.6	1.5, 2, 2.5, 3	219.1	2, 2.5, 3, 4
26.9	1, 1.5, 2	54	1.5, 2, 2.5, 3	108	1.5, 2, 2.5, 3	273	2, 2.5, 3, 4
30	1, 1.5, 2	57	1.5, 2, 2.5, 3	114.3	1.5, 2, 2.5, 3	323.9	2, 2.5, 3, 4

Valori tipici del coefficiente globale di scambio termico per scambiatori di calore acqua - acqua: 850-1700 W/(m ² °C)		
Resistenza termica di fouling: 0.00020 m ² °C / W		
Conducibilità termica dell'acciaio inossidabile	temperatura (°C)	conducibilità termica (W/(m °C))
	0	16.3
	100	17

densità (kg/m ³)	viscosità (kg/(ms))	tensione superficiale (N/m)
10200	1.54 10 ⁻³	0.404

densità (kg/m ³)	viscosità (kg/(ms))	calore specifico a pressione costante (J/(kg°C))	conducibilità termica (W/(m°C))
999.2	1.139 10 ⁻³	4184	0.589

densità (kg/m ³)	viscosità (kg/(ms))	calore specifico a pressione costante (J/(kg°C))	conducibilità termica (W/(m°C))
997.1	0.891 10 ⁻³	4183	0.607