

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SECONDA SESSIONE 2017 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 5: TEMA DI ENERGETICA - NUCLEARE

Si consideri un reattore di tipo PWR che produce una potenza termica pari a 1893 MW. Il core del reattore è composto da assembly contenenti ciascuno 196 barrette di combustibile. Ogni barretta è costituita da un nucleo centrale di ossidi di uranio ed è rivestita da uno strato di Zyrcaloy. Nel seguito, si indicherà con *combustibile* il solo nucleo di ossidi di uranio, mentre con *barretta* si farà riferimento all'intera barra, ovvero al nucleo di combustibile ed allo strato di cladding. All'interno dell'assembly, le barrette sono disposte come nel reticolo rappresentato in Figura 1, dove la linea tratteggiata indica il canale di raffreddamento che si può considerare per ogni singola barretta. Le grandezze di riferimento per le barre sono riportate in Tabella 1.

Calcolo del numero di assembly Volendo ottenere un flusso termico massimo, per la barretta posta al centro del reattore, attraverso la superficie esterna della barretta stessa, inferiore a $1.14 \text{ MW/m}^2\text{K}$, il Candidato determini il numero minimo di assembly necessario a soddisfare questo

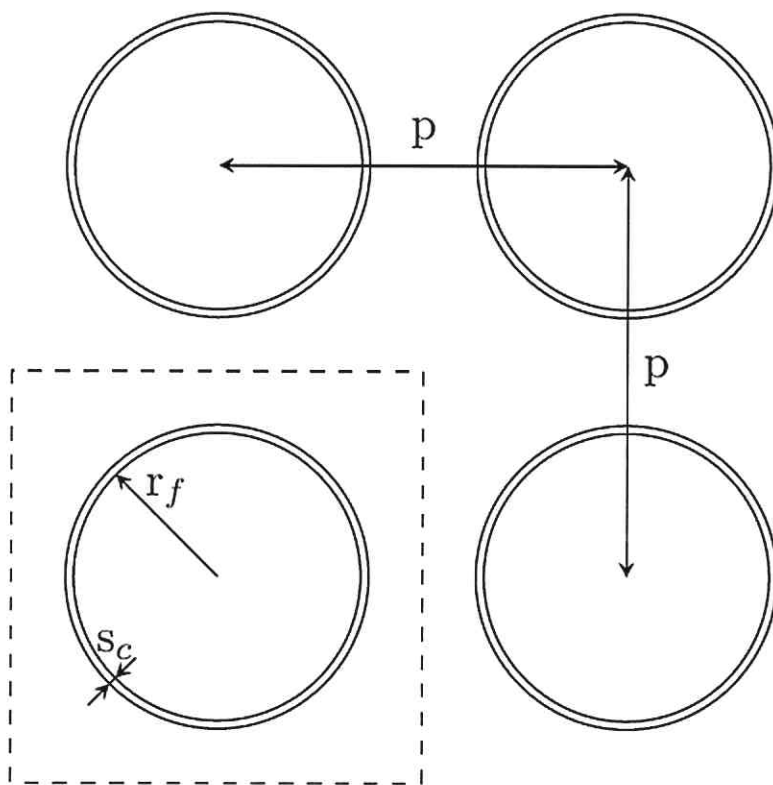


Figura 1: Rappresentazione schematica della disposizione delle barre di combustibile.

7
ll
R

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SECONDA SESSIONE 2017 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 5: TEMA DI ENERGETICA - NUCLEARE

vincolo.

Calcolo della portata di fluido refrigerante Il refrigerante utilizzato per raffreddare il reattore è mantenuto ad una pressione di 150

Raggio combustibile	r_f	0.00535	m
Spessore cladding	s_c	0.0006	m
Passo reticolo	p	0.0153	m
Conducibilità termica combustibile	k_f	$1.903 \cdot 10^{-6}$	MW/mK
Conducibilità termica cladding	k_c	$1.73 \cdot 10^{-5}$	MW/mK
Altezza barrette	h_{barr}	3.66	m

Tabella 1: Grandezze di riferimento per le barre di combustibile ed il relativo reticolo.

bar, entra nel reattore con una temperatura uniforme pari a 290° C ed esce dal reattore con una temperatura media di 330° C. Utilizzando i valori riportati in Tabella 2, il Candidato calcoli la portata di fluido refrigerante.

Studio del canale caldo Si consideri il sottocanale relativo alla barra posta al centro del reattore. Il Candidato calcoli il numero di Reynolds per il canale e, utilizzando la correlazione di Dittus-Boelter per il calcolo del numero di Nusselt

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4},$$

si calcoli il valore del coefficiente h di scambio termico fra la superficie esterna del cladding ed il fluido refrigerante. Dopo aver calcolato le resistenze termiche per lo strato di cladding e per il combustibile, il Candidato ricavi le espressioni descrittive del campo di temperatura di bulk del fluido, del cladding e del combustibile, in funzione della coordinata assiale z , dove con $z = 0$ si indica la quota del centro del reattore. Si calcolino la temperatura di bulk del fluido, la temperatura del cladding sulla superficie esterna della barra, la temperatura sull'interfaccia combustibile-cladding e la temperatura al centro della barra, alle quote $z = -h_{barr}/4$, $z = 0$ e $z = h_{barr}/4$.

Calore specifico	$c_{p,m}$	$5.76 \cdot 10^{-3}$	MJ/kgK
Densità	ρ_m	703	kg/m ³
Viscosità cinematica	ν_m	$1.199 \cdot 10^{-7}$	m ² /s
Conducibilità termica	k_m	$5.416 \cdot 10^{-7}$	MW/mK

Tabella 2: Proprietà fisiche del moderatore.

Handwritten signature and initials.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SECONDA SESSIONE 2017 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 5: TEMA DI ENERGETICA - NUCLEARE

Il Candidato calcoli inoltre le perdite di carico subite dal fluido refrigerante durante l'attraversamento del canale.

Calcolo delle temperature medie nel reattore Le formule ricavate nel punto precedente possono essere estese allo studio dei campi di temperatura relativi ad una generica barretta il cui asse si trovi ad una distanza r calcolata rispetto al centro del reattore. Nell'ipotesi che gli assembly di combustibile siano disposti in modo da formare un cilindro perfetto, la potenza termica volumetrica generata nelle barre di combustibile varia, all'interno del reattore, come $q'''(r, z) = q'''_{max} J_0(2.405 r/R) \cos(\pi z/H)$, dove q'''_{max} è la potenza termica volumetrica massima ottenibile nella barretta centrale, $J_0(x)$ è una funzione di Bessel di prima specie e R è il raggio estrapolato del reattore. La potenza $q'''(r, z)$ è da considerarsi uniforme nella sezione della barretta. Sfruttando la relazione

$$\int r' J_0(2.405 r') dr' = 0.215846,$$

il Candidato calcoli le temperature medie di combustibile e di cladding nell'intero reattore ed il valore medio della temperatura di bulk del fluido nella sezione di uscita. Si commenti il risultato ottenuto.

9
M