

POLITECNICO DI TORINO  
ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE  
ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

ANNO 2011. PRIMA SESSIONE

Ramo: Ingegneria Nucleare.

Tema N.1

Oggetto del tema.

A) **Parte tecnica:** esame della possibilità di indurre trasferimenti di neutroni termici anche attraverso superfici interne a mezzi moltiplicanti, sulle quali si sia riscontrato preventivamente un annullamento del vettore corrente neutronica termica.

B) **Parte di consulenza alla Pubblica Amministrazione:** suggerimenti di strategie per gestire il dopo Fukushima.

A) **Parte tecnica**

Il sistema cui faremo qui riferimento è quello che offre la massima semplicità di trattazione, sia per la sua configurazione geometrica unidimensionale, sia per la schematizzazione fisico-matematica che verrà scelta per la neutronica.

Esamineremo cioè un dispositivo moltiplicante spazialmente omogeneo, foggato a strato indefinito ("reattore a slab"), compreso tra i piani paralleli  $x = -H/2$  e  $x = +H/2$ . Quanto alla modellizzazione matematica del dispositivo, sarà ritenuta adeguata la *teoria diffusiva a due soli gruppi energetici*, ammettendo una *identica distanza estrapolata* per ciascuno dei gruppi, alle due interfacce col vuoto.

Del materiale in esame si assumono note tutte le costanti nucleari per entrambi i gruppi. (Grandezze del gruppo veloce-epitermico: caratterizzate dall'apice  $F$ ; di quello termico, dall'apice  $T$ ).

E' noto inoltre che, con lo spessore (estrapolato)  $H$  [cm] il sistema verrà a trovarsi in stato di criticità.

Primi quesiti ai candidati:

**D1)** scrivere l'equazione critica del reattore. Determinare lo spettro energetico  $\Phi^F(x)/\Phi^T(x)$  e verificare che, in condizioni *critiche e stazionarie*, tale spettro risulta non dipendente dal posto, in quanto i flussi di ciascun gruppo hanno entrambi l'andamento spaziale dell'armonica fondamentale del problema di Helmholtz nella geometria considerata.

Si supponga ora di apportare, in modo spazialmente uniforme, una perturbazione a qualcuna delle costanti fisiche del sistema, ad es., al numero di neutroni secondari  $\nu$ , emessi da ogni fissione termica, (anche se una simile scelta *non è fisicamente realizzabile*). Si introduca la variazione  $\nu \rightarrow \nu + \delta\nu$ , all'istante  $t = 0$ . In conseguenza di ciò, il reattore inizierà un transitorio: divergente, se è  $\delta\nu > 0$ , come qui assumiamo.

**D2)** Descrivere una procedura idonea a determinare, con la teoria della diffusione temporale a due gruppi, e in presenza di un numero trascurabile di fissioni indotte da neutroni veloci, la *costante di tempo principale o asintotica* (cioè l'inverso del periodo stabile del reattore così perturbato). Ciò nell'ipotesi semplificativa che esista *una sola famiglia di precursori di ritardati*, (di yield  $\beta$  e costante di decadimento  $\lambda$ ), la cui concentrazione sarà indicata con  $C(x, t)$ .

Naturalmente è qui essenziale tener conto che la parte asintotica ( $t \rightarrow \infty$ ) dell'evoluzione dovrà avvenire, per tutte le incognite in gioco, secondo l'armonica spaziale fondamentale, oltre che con un fattore temporale esponenziale unico per tutte.

Tornando ora all'**obiettivo principale del tema**, si osservi che il piano mediano di simmetria  $x = 0$  del reattore critico a slab dianzi considerato è una superficie su cui si annullano i moduli di entrambi i vettori *corrente neutronica netta*  $J^F(x)$  e  $J^T(x)$ . Qualora si

volesse provocare artificialmente un trasferimento di neutroni termici dal semislab con le  $x$  negative (cioè quello di sinistra) verso quello con le  $x$  positive (o di destra) sarebbe indispensabile quindi apportare delle modifiche alla distribuzione spaziale dei materiali. Per semplificare la nostra analisi, supporremo di aumentare uniformemente la sezione macroscopica di cattura parassita nel semislab destro di un assegnato  $\Delta\Sigma_c^T \ll \Sigma_c^T$  e di incrementare, simultaneamente, la sezione macroscopica di fissione termica del semislab sinistro di un valore  $\Delta\Sigma_f^T$ , tale da assicurare il mantenimento della criticità, con lo stesso spessore totale  $H$  del **reattore a due regioni omogenee** che così saremo venuti a creare.

Per facilitare i successivi calcoli si suggerisce di:

i) contrassegnare d'ora in poi *tutte* le costanti materiali, anche quelle non modificate, e tutte le grandezze da esse derivate, con un ulteriore apice  $-$ , se sono relative al semislab di sinistra; con un apice  $+$ , se relative a quello di destra;

ii) fare uso della versione stazionaria della teoria degli pseudopotenziali cinetici, introducendo le funzioni ausiliarie  $f_1(x)$  e  $f_2(x)$ .

Ulteriori quesiti ai Candidati.

**D3)** Dedurre l'equazione di criticità per il reattore a due zone di cui sopra.

**D4)** Descrivere una procedura atta a valutare  $J^T(0)$ , grandezza che misura l'entità del trasferimento di neutroni termici dal semireattore sinistro a quello destro.

**D5)** (Questo quesito è opzionale. Evidenzia però l'interesse dell'indagine qui svolta). Nel caso (molto idealizzato) che si potessero alimentare ciascuno dei due semislabs con tipi di combustibile diversi, contenenti, rispettivamente, l'uno solo U235 e l'altro ossidi misti U-Pu, senza che ciò comportasse apprezzabili alterazioni delle sezioni d'urto macroscopiche che hanno assicurato il conseguimento della criticità, è richiesto di stabilire, con considerazioni intuitive, se il controllo del reattore a due regioni possa poi risultare più facile collocando gli ossidi misti nel semislab di sinistra o in quello di destra.

## **B) Parte di consulenza alla Pubblica Amministrazione.**

Il neoistituito **Ministero delle Attività Innovative** (è il famoso **MAI**, conosciuto anche come "*Ministero in pectore*", vanamente preconizzato da almeno dieci legislature!), pur non dotato ancora di proprio personale tecnico, è già pressato da richieste dell'U. E., tese a **chiarire la nuova politica energetica dell'Italia**. Il MAI ha bandito un concorso tra gli esperti di fisica dei reattori, impiantistica e sicurezza nucleare, al fine di raccogliere informazioni circa le strategie da adottare per gestire il dopo Fukushima. I partecipanti al concorso dovranno però fornire un "*documento di prequalificazione*", di non più di 2 cartelle, nella quali: i) venga sommariamente descritto l'incidente del marzo 2011, ii) vengano evidenziate le differenze tra i vari reattori del Daiichi plant e i moderni PWR di prevista adozione in U.E; iii) si sommarizzino i principali insegnamenti da trarre dall'incidente e se ne anticipino le conseguenze tecnico-economiche.

**D6)** E' richiesto ai Candidati a questo Esame di Stato di redigere il *documento di prequalificazione di cui sopra*.

**Nota.** I/Le Candidati/e sono invitati/e a fornire ordinatamente le risposte R1, R2, ..., R6, ai quesiti D1, D2, ..., D6, esprimendole nella forma di una relazione professionale a carattere scientifico.