

POLITECNICO DI TORINO
ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE
ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
ANNO 2010. SECONDA SESSIONE

Ramo: Ingegneria Nucleare.

Tema N.1

Obiettivi del tema:

A) *Studio preliminare di fattibilità per un esperimento, finalizzato a valutare l'efficienza di dispositivi pluristato, idonei a funzionare come valvole di non ritorno nei preamplificatori neutronici.*

B) *Collaborazione con l'Amministrazione statale, per fini di pubblica utilità.*

1 Premessa.

A seguito del cosiddetto "rinascimento nucleare", iniziato nel secondo decennio del 2000, contestualmente con l'installazione di reattori di potenza commerciali ben sperimentati, ed in versioni sempre più evolute, si stanno riattivando anche le ricerche su tipologie di reattori più innovativi, quali, ad es., quelle sulla "generation four" e sui "sottocritici di potenza", iniettati da idonei preamplificatori neutronici. Questi preamplificatori sono, in realtà, anch'essi dei piccoli sottocritici, capaci di amplificare considerevolmente i neutroni in essi immessi da una sorgente neutronica primaria, di basso costo e limitata emissività. E' previsto che tali preamplificatori vengano posizionati nelle regioni centrali dei grandi sottocritici di potenza, che essi dovranno attivare, al fine di produrre energia.

Tali preamplificatori, iniettati dalla loro sorgente primaria, daranno quindi luogo a sorgenti secondarie di ben più elevata intensità. Proprio sorgenti secondarie di questo tipo potrebbero proporsi in futuro come convenienti alternative, ad es., ai costosi ed inaffidabili acceleratori, che dovrebbero fornire neutroni di spallazione ai cosiddetti "amplificatori di energia".

Nell'ambito degli studi sulla sicurezza dei sottocritici di potenza, attivati da preamplificatori, è apparso però sempre più importante poter assicurare che nessun neutrone, comunque proveniente dal grande volume della regione di potenza, possa poi diffondere verso il preamplificatore stesso, dando così luogo ad un "feedback positivo", capace di indurre una pericolosa ed inaccettabile instabilità. Nella progettazione neutronica di queste macchine assai innovative si dovrà quindi affrontare una problematica tutt'altro che irrilevante: quella cioè della sicurezza di due sottocritici in interazione, il cui complesso, in assenza di idonee contromisure, potrebbe dar luogo ad una struttura essenzialmente sopracritica, del tutto ingovernabile e pericolosa. Ai fini della sicurezza sono state quindi avviate, ad es., ricerche per realizzare "sistemi a corrente neutronica unidirezionale", nei quali cioè i neutroni possano sì essere trasmessi dal preamplificatore al sottocritico di potenza, mentre però ai neutroni di qualsiasi energia, provenienti dalla regione di potenza stessa, debba risultare preclusa la diffusione verso la parte attiva del preamplificatore centrale.

Per fissare le idee, si assimili il preamplificatore ad una piccola sfera moltiplicante, posta al centro di una grande sfera sottocritica, nella quale dovrà essere prodotta

l'energia utile. Se la sfera del preamplificatore venisse circondata da una sottile shell sferica di U altamente arricchito, a sua volta circondata da un'ulteriore sottile shell di assorbitore nero per neutroni termici e se, inoltre, tra il preamplificatore così rivestito e la regione di potenza venisse interposto uno strato sferico di moderatore, avente uno spessore tale da riuscire a rallentare fino all'energia termica qualsiasi neutrone di fissione, nel suo tragitto tra la regione di potenza e la periferia del preamplificatore, incapsulato nel doppio strato di cui sopra, l'obiettivo della unidirezionalità della corrente neutronica netta sembrerebbe raggiunto. Ciò perché i neutroni termici, effluenti dalla zona moltiplicante del preamplificatore, verrebbero in gran parte assorbiti dall'U arricchito del doppio strato. Le fissioni ivi ricorrenti restituirebbero dei veloci, capaci, per loro natura, di scavalcare il contiguo strato di assorbitore termico, per poi propagarsi, con rallentamento e diffusione lungo il moderatore, fino a raggiungere, in parte almeno, il sottocritico di potenza ed attivarlo. Al contrario, come s'è già sopra evidenziato, a nessun neutrone, prodotto nella regione di potenza sembrerebbe concesso di perturbare il preamplificatore, dato che esso neutrone, rallentatosi nell'attraversamento dello strato moderante, verrebbe poi catturato nell'assorbitore nero che incapsula la regione attiva del preamplificatore stesso.

Per i dispositivi di questo tipo, consistenti nella doppia shell sottile, circondata dallo spesso strato sferico di moderatore è stato proposto il nome di valvole di non ritorno neutroniche. Esse non sono però immuni da pesanti controindicazioni.

E' proprio nello spirito della convalida sperimentale e del perfezionamento di dispositivi di non ritorno di questa natura che si colloca l'indagine teorico-sperimentale, costituente l'argomento del tema d'esame qui proposto.

2 Posizione del problema.

Ad un Laboratorio di Ricerca sulla *Fisica dei Reattori a Fissione* è stata commissionata un'indagine preliminare circa il dispositivo moltiplicante sperimentale, descritto qui appresso, col quale si potrebbe forse ragionevolmente **semplificare la simulazione** del comportamento di tipici *"preamplificatori a corrente unidirezionale"*, cioè dotati di valvole di non ritorno, di cui in premessa.

2.1 Descrizione del dispositivo.

Uno strato moltiplicante omogeneo, piano e indefinito, di spessore $2a$ [cm] è simmetricamente riflesso da due strati identici, di moderatore puro, ciascuno avente spessore $b-a$ [cm]. (Si scelga l'asse coordinato x ortogonale al piano di simmetria dello strato moltiplicante, e con l'origine sul piano stesso). Differentemente da quanto si verifica nel caso dei semplici reattori riflessi, sui due piani $x = \pm a$ di interfaccia core-riflettore vengono ora inseriti dei *sottili doppiestrati*, costituiti (a prescindere da materiali strutturali, neutronicamente irrilevanti) da una lamina di U altamente arricchito, accostata ad altra lamina di assorbitore nero per i neutroni termici. La faccia ad U di ciascun multistrato è sempre affacciata alla zona moltiplicante, mentre quella assorbente è sempre affacciata al contiguo riflettore.

Lo spessore del doppio strato è geometricamente assai sottile, anche se esso costituisce una barriera praticamente insormontabile per i termici che volessero in qualsiasi verso attraversarlo. Per questa ragione gli si potrà attribuire addirittura uno *spessore nullo*, e tener conto della sua presenza mediante particolari condizioni di raccordo tra flussi e correnti all'interfaccia core-riflettore.

Si ritiene adeguata una trattazione del problema nell'ambito di un modello a **due gruppi energetici**. Sono assegnate, sia per il core che per il riflettore tutte le costanti materiali, veloci e termiche. (Sarà opportuno che tutte le grandezze relative al riflettore vengano semplicemente caratterizzate da una tilde).

Il dispositivo sperimentale ora allo studio è previsto funzionare in condizioni critiche, anziché sottocritiche, come accade per i preamplificatori reali, che operano sotto l'azione di una debole sorgente primaria impressa. Questa circostanza non dovrebbe però inficiare sostanzialmente le conclusioni che nel seguito si potranno derivare circa le prestazioni delle valvole di non ritorno. Inoltre la simmetria della struttura proposta è tale da suggerire che nel suo studio si possa far riferimento alla sola semiregione $x \in]0, b]$, previa imposizione di condizioni di annullamento delle correnti neutroniche nette attraverso il piano di simmetria $x = 0$. Di conseguenza ci si riferirà nel seguito solo a questa regione delle x positive.

L'obiettivo della presente investigazione sarà limitato a determinare, **in forma analitica esplicita**, la **equazione critica** del dispositivo in esame e poi nel fornire una stima della sua efficienza come iniettore nutronico, insieme ad alcune considerazioni fisiche comparative, nei confronti dei più semplici reattori riflessi.

2.2 Chiarimenti e ipotesi semplificative.

Dato il considerevole (in termini di lunghezze di diffusione e/o di rallentamento) spessore da noi assunto per il riflettore, si potrà ammettere che al suo contorno esterno $x = b$ (regione di trascurabile importanza neutronica) si possa ipotizzare, ai fini della determinazione dell'eq. critica, uno stesso valore per le lunghezze estrapolate dei termici e dei veloci. D'ora in poi denomineremo, per semplicità, con $x = b$ il piano costituente *l'unica* superficie estrapolata verso il vuoto. Su di essa andrà imposto l'annullamento sia del flusso neutronico veloce che di quello termico.

Nella determinazione degli **integrali generali** per i flussi a due gruppi all'interno delle due regioni estese, sembra a priori utile:

i) quanto al core, utilizzare la forma stazionaria della teoria dei cosiddetti *"pseudopotenziali cinetici"*, denominando con μ e ν , rispettivamente, i due buckling materiali. L'imposizione della condizione di simmetria sul piano $x = 0$ permetterà di eliminare, fin dall'inizio, due delle quattro costanti arbitrarie presenti negli'integrali generali dei flussi;

ii) quanto al riflettore, osservare che, anche qui, due delle quattro costanti arbitrarie presenti negli'integrali generali, potranno essere facilmente eliminate, a patto di imporre, nell'ordine, l'annullamento del flusso veloce e poi di quello

termico in $x = b$.

Per la **simulazione matematica del doppio strato**, di spessore idealmente nullo, posto in $x = a$, sono ritenute accettabili le seguenti ipotesi:

A) Visto dai neutroni termici del core, il doppio strato, che contiene materiali per essi altamente assorbenti, appare come una parete nera: quindi del tutto assimilabile al vuoto, posta in $x = a$. Di conseguenza il suo effetto sul flusso termico del core potrà essere tenuto in conto, imponendo che sul piano $x = a + d_c \doteq a' > a$, (dove con d_c si è indicata la distanza estrapolata per il flusso termico al di fuori del materiale moltiplicante del core) si annulli la prosecuzione analitica (verso destra) del flusso termico vigente nel core.

B) La presenza del doppio strato, irrilevante ai fini della moderazione, non interrompe la continuità del flusso veloce, attraverso l'interfaccia core-riflettore.

C) Visto dai neutroni termici del riflettore, il doppio strato, che contiene materiali per essi altamente assorbenti, appare come una parete nera: quindi del tutto assimilabile al vuoto, posta in $x = a$. Di conseguenza il suo effetto sul flusso termico del riflettore potrà essere tenuto in conto, imponendo che sul piano $x = a - d_r \doteq a'' < a$, (dove con d_r si è indicata la distanza estrapolata per il flusso termico al di fuori del materiale moderante del riflettore) si annulli la prosecuzione analitica (verso sinistra) del flusso termico vigente nel riflettore stesso.

D) Infine, per tener conto del fatto che i neutroni termici emergenti dal core causeranno fissioni nella lamina di U arricchito, dalla quale essi verranno, nella quasi totalità, assorbiti, e che, per ogni termico si potranno così generare $\Gamma \leq 2.41$ veloci, si potrà imporre alla corrente veloce di avere, in $x = a$, un *salto*, di valore pari al prodotto della costante Γ per la corrente termica che fuoriesce dal core, proprio attraverso il piano $x = a$. Si noti che quest'ultimo asserto può essere considerato accettabile se e solo se a nessuno dei termici provenienti dal riflettore sarà data la possibilità di scavalcare lo straterello d'assorbitore nero che esso incontrerà per primo, per poi raggiungere la shell di U arricchito.

Le informazioni fornite sopra sono sufficienti per consentire lo svolgimento della prima parte del tema.

2.3 Quesiti ai Candidati/e.

D1) Si determini in forma analitica esplicita la equazione critica per il dispositivo in esame.

D2) Si descriva una procedura che consenta di valutare, in condizioni di esercizio stazionario della struttura, quanti neutroni (termici + veloci) sfuggono dalla parete esterna del riflettore, cioè quanto sia intensa la "**sorgente secondaria**", per ogni evento di fissione che ha luogo, *complessivamente*, nel dispositivo. (Nota: è evidente che non si potrà qui far riferimento ad un vero e proprio "*coefficiente di amplificazione*", parametro che nei preamplificatori sottocritici è inteso come rapporto tra le intensità delle sorgenti secondaria e primaria, rispettivamente).

D3) Si traccino, anche in modo puramente qualitativo, i grafici degli andamenti spaziali dei flussi, che sarebbe ragionevole attendersi in un dispositivo di questo tipo, una volta realizzata la criticità.

D4) Preso atto che sarà apparso relativamente semplice dedurre l'equazione critica per il dispositivo in esame, addirittura più semplice della deduzione della equazione critica per un reattore riflesso di analoga geometria, si individuino le ragioni fisiche che possono rendere conto di tale differenza.

3 Collaborazione con la Pubblica Amministrazione.

La neoistituita **Agenzia per la Sicurezza Nucleare**, al fine di aggiornare e meglio qualificare una parte delle risorse umane in essa confluite da altre Amministrazioni, ha bandito un concorso internazionale, per individuare ingegneri nucleari ed esperti di sicurezza, disponibili ed idonei a tenere brevi corsi su argomenti di *"Fisica dei Reattori Nucleari"*, *"Dinamica, Controllo e Sicurezza degli Impianti Nucleari"*, *"Gestione e Condizionamento dei Materiali Radioattivi"*, *"Tutela delle Popolazioni dalle Sovraesposizione alle Radiazioni Ionizzanti"*, *"....."*, per gruppi del proprio personale.

Gli esperti cui si rivolge il bando sono invitati a presentare, quali documenti di **prequalificazione**, dei sommari e dei programmi dei corsi e/o cicli di seminari specialistici, che essi si riterrebbero titolati a svolgere. Ogni sommario-programma dovrà essere contenuto in non più di una cartella. L'Agenzia per la Sicurezza Nucleare, dopo una prima selezione delle proposte, si riserva di contattare i proponenti ritenuti più idonei, al fine di meglio approfondire la loro qualificazione all'incarico e, se del caso, affidar loro i compiti di docenza.

3.1 Ulteriore quesito ai Candidati/e.

D5) A ciascun candidato/a al presente Esame di Stato viene richiesto di scegliere due tra i quattro settori disciplinari citati nel bando di cui sopra, in base alle proprie competenze e preferenze. Nell'ambito di ciascuno dei settori prescelti elabori poi un sommario-programma, per un corso intensivo di una settimana, (10 ore), da impartirsi a laureati tecnici molto qualificati, ma quasi del tutto privi di competenze specifiche. Naturalmente, in analogia col dettato del bando dell'Agenzia, ciascun sommario-programma andrà contenuto nell'ambito di una sola pagina manoscritta.

Nota. I Sigg. Candidati/e sono invitati a fornire ordinatamente le risposte R1, R2, ..., R5, ai quesiti D1, D2, ..., D5, esprimendole nella forma tipica di una relazione professionale a carattere scientifico.

Eventuali minute non potranno essere prese in considerazione dalla Commissione Esaminatrice.

P.S. Quanto alla sez. 3 del presente tema, ogni riferimento ad Istituzioni reali e/o a procedure da Esse messe in atto è da ritenersi puramente casuale.