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

I SESSIONE - ANNO 2004

Ramo: Ingegneria Nucleare

Tema N.1

Preliminari per la progettazione neutronica di sistemi sottocritici di potenza a carattere innovativo.

1 Premessa

Scenario: Mondo Occidentale, alla fine del corrente decennio.

Occorre fronteggiare la tensione dei prezzi degli idrocarburi, conseguente all'instabilità che si è propagata dal Medio Oriente a tutti i paesi produttori di petrolio e/o metano. Tale tensione dei prezzi, che già ha di fatto bloccato il progresso dei paesi in via di sviluppo, sta ormai mettendo in ginocchio anche il sistema industriale e lo stato di benessere dell'intero emisfero nord, con la sola eccezione della Francia. Da parte dell'Unione Europea vengono prese delle decisioni di grande rilevanza, tese ad un'urgente differenziazione delle fonti energetiche.

Nel settore del nucleare a fissione, viene esplorata la possibilità di costruire, oltre ai normali reattori, anche dei sistemi sottocritici di **potenza**, iniettati con neutroni prodotti attraverso sorgenti primarie, basate su reazioni di spallazione. Queste sorgenti richiedono l'impiego di costosi acceleratori, capaci di portare ad altissime energie dei fasci di ioni caratterizzati da un'elevata intensità di corrente.

Approfondite ricerche tecnico-economiche stanno purtroppo evidenziando un maggior *costo di impianto* dei sottocritici di potenza rispetto a quello degli altri reattori commerciali. Ciò è imputabile soprattutto alla complessa componente " *acceleratore* ", e sembra destinato ad avere una inaccettabile incidenza sul prezzo del kWh elettrico prodotto con la tecnologia sottocritica.

Vengono, di conseguenza, esaminate svariate alternative impiantistiche, tutte finalizzate a migliorare i progetti dei sottocritici. L'analisi di una di queste alternative, sia pure nell'ambito di una modellizzazione del tutto elementare, sarà oggetto del presente tema. Essa si basa sulla possibilità di ridurre, a parità di energia prodotta e di condizioni di sicurezza, l'intensità della sorgente neutronica primaria, e, quindi, il costo dell'acceleratore, sfruttando simultaneamente:

- i) un meccanismo che potremmo chiamare di **preamplificazione** dei neutroni immessi dalla sorgente primaria, nonché,
- ii) le caratteristiche di **sicurezza intrinseca**, che la presenza di una regione moltiplicante centrale, di tipo assai particolare, qual'è appunto quella costituente il dispositivo di preamplificazione qui proposto, potrebbe far assumere a tutto il sottocritico di potenza.

2 Posizione del problema.

2.1 A) Un sottocritico convenzionale.

Si consideri, per semplicità, una struttura moltiplicante sottocritica, sferica, omogenea, di raggio estrapolato R . Si può assumere che la sorgente primaria o impressa immetta in essa, uniformemente rispetto allo spazio e al tempo, $S(r) = S_0/(4\pi\rho^3/3)$ neutroni al centimetro cubo e al secondo, limitatamente però alla sola zona centrale $0 \leq r \leq \rho \sim 0.25R$ della struttura stessa. E' del tutto evidente che S_0 (neutroni al secondo) rappresenta la portata totale della sorgente impressa. Si suppongano ora note tutte le costanti nucleari, necessarie per

caratterizzare il mezzo, almeno in teoria diffusiva ad un solo gruppo energetico e considerando una sola famiglia di precursori di ritardati.

Dal valore di tali costanti e da quello di R discende che la struttura ha un $k_{eff} = 0,9750$.

2.1.1 I primi quesiti posti al Candidato sono i seguenti:

D1: Determinare il **livello di potenza** a cui opererà, sotto l'effetto della sorgente assegnata, la zona esterna $\rho \leq r \leq R$ della struttura sottocritica di cui sopra;

D2: Valutare, facendo ricorso alla "inhour equation", la **costante di tempo asintotica** α , ossia l'inverso del periodo stabile, che caratterizza l'evoluzione temporale per $t \rightarrow \infty$ della potenza nella struttura, a partire da qualsiasi stato iniziale e in assenza di sorgente impressa.

2.2 B) L'alternativa impiantistica da considerare.

Viene ora proposto di effettuare uno studio preliminare delle caratteristiche neutroniche e delle prevedibili prestazioni di una particolare variante del sottocritico di cui sopra. In essa il materiale della zona centrale $0 \leq r \leq \rho$, l'unica su cui opera la sorgente, verrà sostituito con un'altro, avente caratteristiche neutroniche del tutto diverse. Per fissare le idee, si supponga, di qui in poi, che, a seguito di specifiche modificazioni di composizione, arricchimento, passo reticolare e tecnica di raffreddamento, il materiale della zona centrale risulti dotato di **coefficienti di temperatura e di vuoto**, sia per il combustibile che per il moderatore, **tutti negativi, pressoché pronti e di valore molto grande**. Questo fatto, e la ben nota proprietà di **alta importanza specifica** di cui gode la zona centrale (proprietà valida in generale, ma anche, e soprattutto, per i sistemi iniettati attorno al centro), farà sì che **tutta** la struttura nel suo complesso, proprio a seguito della modifica della zona centrale, si debba comportare come un **sistema a sicurezza intrinseca**. La più importante conseguenza di ciò è che, d'ora in poi, potrà essere consentito di fare operare la struttura stessa (almeno per tutte le condizioni d'esercizio previste in regime lineare) con dei valori più elevati, cioè più prossimi ad 1 del suo K_{eff} sottocritico. E ciò, sempre ottemperando, beninteso, a tutte le prescrizioni di sicurezza.

Noi riguarderemo, inoltre, di qui in poi, la nuova regione centrale anche come una sorta di **preamplificatore** per i neutroni immessi dalla sorgente primaria. E ciò nonostante che, com'è ben noto, la reattività di qualsiasi sistema moltiplicante debba essere sempre considerata come una **proprietà integrale di tutta la struttura**.

2.2.1 Ulteriori quesiti posti al Candidato.

D3: Fornire una giustificazione intuitiva all'asserzione sopra riportata, secondo cui, a seguito di una modifica nella **sola** zona centrale si può trasformare il sottocritico di potenza in un sistema a sicurezza intrinseca.

Va ora tenuto in conto che il sottocritico modificato costituisce una struttura a **due** distinte **regioni moltiplicanti**, omogenee e concentriche, e che, in regime di transitorio (di spegnimento, nel nostro caso) asintotico, tutte le grandezze fisiche, come i flussi neutronici e le concentrazioni dei precursori risultano fattorizzabili, nelle diverse regioni, in prodotti di annunciate funzioni spaziali, ciascuna moltiplicata per un **unico** fattore evolutivo temporale.

D4: Determinare una procedura di valutazione della **costante di tempo asintotica del sottocritico a due regioni**, la quale possa generalizzare quella più elementare, basata sulla soluzione della "inhour equation", che è applicabile soltanto nel caso di strutture a singola regione omogenea.

D5: Spiegare in modo intuitivo per quale ragione si possa presumere che l'uso di un dispositivo sottocritico a due zone del tipo sopra descritto, consenta di **ridurre l'incidenza del costo dell'acceleratore** su quello del kWh elettrico, a parità di energia prodotta e di vincoli di sicurezza.

D6: Illustrare, in un breve promemoria (una cartella al massimo!) destinato al Ministro delle attività produttive, il fatto che con dispositivi sottocritici evoluti, ad es. del tipo sopra descritto, sarebbe possibile **convertire in energia utile anche il plutonio** dismesso col disarmo: a patto, naturalmente, di far fissionare tale combustibile, collocandolo esclusivamente nelle regioni periferiche dei sottocritici stessi.

Nota I Sigg. Candidati sono invitati a fornire **ordinatamente** le risposte R1, R2, ..., R6, ai quesiti D1, D2, ..., D6, esprimendole nella forma tipica di una relazione professionale a carattere tecnico-scientifico. Eventuali minute non potranno essere prese in considerazione dalla Commissione.