

# POLITECNICO DI TORINO

ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

I SESSIONE - ANNO 2001

Ramo: Ingegneria Nucleare

Tema N.1

## **Analisi di un incidente ad un apparato sottocritico sperimentale.**

In un laboratorio di ricerca è installato un **dispositivo sottocritico**, costituito da una matrice porosa di materiale moltiplicante omogeneo, avente forma sferica, di raggio estrapolato  $R=35$  cm. Il sistema sottocritico è schermato da uno spesso strato di assorbitore nero.

Attraverso misurazioni sperimentali, correlate nell'ambito di un modello diffusivo monocinetico, sono stati determinati dei valori di  $D$  e  $L^2$  appropriati per descrivere il mezzo moltiplicante in esame. E' noto inoltre che il valore del  $k_{\infty}$  del materiale è tale da produrre una reattività della struttura che vale  $\rho = -0.00200$ . Inoltre per il materiale considerato sono stati determinati anche degli opportuni valori delle *costanti cinetiche mediate*  $\lambda$  e  $\beta$ , relative ad un modello con sola famiglia di precursori, che si sono dimostrate idonee a permettere calcoli accettabilmente accurati dei transitori della struttura.

Per l'**errata manovra** di un tecnico, nel dispositivo inizialmente spento viene fatta affluire, in modo praticamente istantaneo, una sostanza radioattiva, inclusa in una polvere impalpabile, che è trascinata dalla violenta espansione di un gas compresso. Dato l'alto gradiente di pressione che si è venuto a creare attraverso il dispositivo, si può presumere che la matrice moltiplicante porosa si sia comportata come una massa filtrante e che tutte le sue porosità si siano riempite di polvere, in modo spazialmente omogeneo e praticamente istantaneo.

L'afflusso di gas e polvere viene interrotto dopo tempo brevissimo. Nonostante ciò, alla fine dell'incidente la concentrazione di sostanza radioattiva nel mezzo moltiplicante ha assunto il valore  $G_0$  (atomi/cm<sup>3</sup>).

Le proprietà degli atomi radioattivi inseriti nel core a causa dell'incidente sono note. Tali atomi decadono *emettendo neutroni*, con simultanea emissione di raggi  $\gamma$  e la costante di decadimento  $\tau$  [sec<sup>-1</sup>] per emissione neutronica è molto più piccola del  $\lambda$  definito sopra.

In conseguenza dell'errore di manovra, gli operatori della sala di controllo osservano un'inaspettata crescita di potenza del dispositivo. La potenza raggiunge un massimo e, dopo un intervallo di tempo dell'ordine di parecchi  $1/\tau$ , ritorna praticamente al valore zero.

Dopo l'incidente viene interdetto l'accesso al laboratorio. Gli operatori sono però in grado di stimare per differenza la concentrazione  $G_0$  in modo ragionevolmente accurato. Con i dati in loro possesso e *ipotizzando che la polvere che riempie le porosità costituisca una sorgente neutronica impressa, spazialmente uniforme, decrescente nel tempo*, essi calcolano *teoricamente* il transitorio di potenza, per confrontarlo col tracciato sperimentale. Viene scelto come origine dei tempi l'istante in cui è accaduto l'incidente e viene inoltre determinato teoricamente l'istante  $t = t_{\max}$  nel quale ci si sarebbe dovuti attendere il raggiungimento della massima potenza.

Il confronto tra la curva di previsione teorica del transitorio e quella osservata sperimentalmente mostra sostanziali discrepanze. In particolare si osserva che la potenza misurata si è mantenuta sistematicamente ad un livello inferiore a quello previsto dal modello teorico. E non si trova concordanza tra teoria ed esperimento neppure per i valori  $t_{\max}$ .

Preso visione dei risultati, il **Direttore** del laboratorio suggerisce di considerare come possibile causa del disaccordo il fatto che la polvere in cui è incluso il nuclide radioattivo può comportarsi anche come un *assorbitore neutronico*, così causando, con la sua stessa presenza, una riduzione della reattività del sistema, rispetto al valore di  $\rho$  sopra citato, che è stato assunto come dato di ingresso.

I calcoli teorici vengono ripetuti, tenendo conto di questa addizionale sezione d'urto di cattura parassita.

La previsione teorica risulta ora un pò migliore ma *non ancora soddisfacente*. In particolare, la curva di potenza prevista teoricamente sta ancora al di sopra di quella registrata e la previsione del valore di  $t_{\max}$  non è ancora adeguata, nonostante che essa si sia già avvicinata un pò di più al ritrovato sperimentale.

Prima di consentire l'accesso al laboratorio, viene consultato un **Esperto internazionale di alta qualificazione**. Egli fa preliminarmente notare che i nuclidi radioattivi inclusi nella polvere sono anche atti a catturare, con sezione d'urto microscopica  $\sigma_c$  degli eventuali neutroni con cui si trovino ad interagire e che, a seguito di un evento di cattura, ciascun nuclide radioattivo si muta in un emettitore di altro tipo, che *non potrà più rilasciare neutroni*. Egli chiarisce inoltre che la presenza di una capacità di cattura neutronica da parte dei nuclidi radioattivi inseriti per errore farà sì che la dinamica post-incidentale del sottocritico risulti **non più lineare**, nonostante che l'energia liberata nel transitorio sia stata modesta e comunque tale da far intervenire retroazioni termiche trascurabili. L'esperto invita a ripetere i calcoli del transitorio, previa adozione di un più appropriato modello analitico, che faccia ricorso, ad es., ad un metodo iterativo di successive approssimazioni nella stima dell'effettiva capacità di emissione neutronica da parte del complesso dei nuclidi radioattivi, introdotti e non trasmutati per interazione con i neutroni diffondenti nel sottocritico. In alternativa egli suggerisce di modificare un codice numerico standard di dinamica, in modo da renderlo idoneo a tener conto di questa particolare non linearità fisica del problema. Tutte le argomentazioni dell'esperto si sono rivelate pertinenti ed i suoi consigli utilissimi. Il transitorio ha potuto essere ricalcolato teoricamente, con quasi perfetta riproduzione del tracciato sperimentale.

#### **E' richiesto al candidato di formulare risposte ai seguenti quesiti.**

D1 Ripetere il primo calcolo dinamico fatto dagli operatori, accettando le loro ipotesi iniziali e indicare un metodo per la determinazione di  $t_{\max}$ .

D2 Ripetere il calcolo con il miglioramento del modello suggerito dal Direttore e verificare che il nuovo valore di  $t_{\max}$  che è possibile determinare differisce da quello valutato nell'ambito dell'approccio precedente.

D3 Chiarire perchè è corretta l'asserzione dell'Esperto che ha definito il problema dinamico effettivo come non lineare. Individuare un *modello matematico* appropriato a descrivere il sistema, almeno nell'ambito della teoria ad un solo gruppo energetico e a una sola famiglia di precursori.

D4 Proporre uno schema iterativo ad approssimazioni successive, per la valutazione del transitorio, fornendo indicazioni fisiche di massima a supporto della sua presumibile convergenza.

D5 Tenendo in conto che parte dei nuclei radioattivi destinati a creare la sorgente neutronica impressa potranno essere distrutti dalla presenza dei neutroni diffondenti nel sistema, evidenziare come il primo calcolo effettuato dagli operatori sia, tra tutti, quello che più sovrastima il rilascio energetico e, quindi, il danno dell'incidente.

D6 Durante l'incidente era rimasto aperto nello schermo uno dei canali sperimentali, la cui sezione cilindrica, all'interfaccia con il core è pari a circa un centesimo della superficie esterna del core stesso. E' richiesto di determinare l'estremo superiore della quantità di neutroni che possono essere sfuggiti dal core verso il laboratorio nel corso di *tutto* il transitorio.

D7 Quali suggerimenti si potrebbero dare per evitare che incidenti del tipo sopra descritto possano ripetersi?

**Note.** Non sono richieste in questo tema delle tipiche risposte numeriche. E' richiesto invece di sviluppare e riportare le formule analitiche dalle quali i valori numerici delle grandezze più importanti possano essere dedotti.

Si allega una formula generale, che potrebbe essere utile al Candidato.

Alle domande D1, D2, ...D7 si diano ordinatamente le risposte R1, R2, ...R7, curando che la forma dell'elaborato abbia la chiarezza e la precisione richieste in una **relazione tecnica professionale**.

Le minute non saranno prese in considerazione dalla Commissione esaminatrice.

ALLEGATO

$$\Phi(\vec{r}, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \sum_{j=1}^2 \left[ [(\Phi_0, \varphi_n) (\lambda + p_{(j)}^{(n)}) + v\lambda (C_0, \varphi_n)] \frac{e^{p_{(j)}^{(n)} t}}{(p_{(j)}^{(n)} - p_{(k \neq j)}^{(n)})} + \frac{v(\lambda + p_{(j)}^{(n)})}{(p_{(j)}^{(n)} - p_{(k \neq j)}^{(n)})} \int_0^t (S(\vec{r}', t'), \varphi_n(\vec{r}')) \cdot e^{p_{(j)}^{(n)}(t-t')} dt' \right] \right\} \varphi_n(\vec{r})$$