

POLITECNICO DI TORINO
ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE
ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
ANNO 2009 - PRIMA SESSIONE

Ramo: Ingegneria Nucleare.

Tema N.1

Oggetto del tema: censimento, su base nazionale, delle residue risorse umane qualificate, in previsione del riavvio di un serio programma italiano per l'energetica da fissione.

1 Premessa.

Il trauma dei 150 \$ al barile è stato solo blandamente mitigato dai "recessionisti" 70 \$ della primavera 2009. S'è fatta strada anche da noi la consapevolezza dell'estrema vulnerabilità, sia fisica che politica, delle linee di approvvigionamento del gas naturale e dei ben prevedibili aumenti di prezzo di tale fonte. In questa situazione, *incredibilmente*, persino **l'Italia s'è desta**. E ha capito, sia pure con colpevole ritardo, che, per tentare di prevenire il collasso socioeconomico e prepararsi, in modo non velleitario ma costruttivo e durevole, alla sospirata ripresa, le teste che dovranno cingersi **dell'elmo di Scipio** non potranno più essere né quelle dei nostri soliti cialtroni, velleitari e incompetenti, né quelle dei potenti speculatori del mercato degli idrocarburi. Questi speculatori, da sempre avversari irriducibili della fissione, stanno ora diventando ferventi vaticinatori dell'avvento miracoloso della fusione. E ove mai potrebbero trovare un'altra fonte energetica che risulti sicuramente innocua ai loro pingui bilanci per almeno cinquant'anni?

E' diventato evidente che dell'elmo di Scipio dovranno cingersi le teste di una specie lungamente perseguitata e in via di estinzione: quella degli **Ingegneri Nucleari**. Da questa salutare presa di coscienza ha tratto origine un **programma strategico**, varato congiuntamente dal Ministero dello Sviluppo Economico e da Confindustria. Esso tende a censire tutte le residue competenze scientifico-tecnologiche, nei due settori chiave della **Fisica dei Reattori Nucleari** e **dell'Impiantistica per i sistemi a Fissione**, su cui ancora potrebbe contare il nostro Paese, ove si decidesse di invertire il corso della disastrosa politica energetica intrapresa dopo il referendum. Tutti i tecnici e ricercatori italiani, ivi compresi quelli in servizio all'estero che intendessero tornare, saranno invitati a partecipare a precisi "**test di qualificazione**", tendenti non solo ad accertare la loro cultura di base, ma anche a valutare le loro attitudini didattiche: le quali, nella presente situazione di emergenza, potrebbero rivelarsi essenziali per far crescere in fretta l'ormai senescente e sparuto drappello dei competenti in energetica da fissione.

Confindustria e Ministero, all'atto di presentazione del programma ai media, hanno chiarito che un eventuale superamento di qualcuno dei test non fornisce titolo per qualsivoglia assunzione. Ma hanno anche contestualmente enunciato di aver sottoscritto un **impegno solenne**, che vincolerà per il futuro tutte le aziende private, quelle pubbliche e gli enti di ricerca operanti nel settore dell'energetica, a non procedere ad alcuna assunzione e/o promozione di personale, se non attraverso un **accertamento obiettivo e severo delle competenze**, da effettuarsi tramite organi indipendenti, con *referee* internazionali.

I test di qualificazione di cui sopra sembrano costituire il primo gradino di tale processo. Questo inatteso e, per l'Italia, incredibile impegno solenne, è stato rilanciato dai media con lo slogan "**morte della raccomandazione, viva l'efficienza**". Esso, associato alla decisa sterzata nella politica energetica, e alla speranza che analoghe procedure di reclutamento meritocratico possano essere adottate in altri settori, ha avuto uno sbalorditivo impatto sull'opinione pubblica. Il famoso "*indice globale di fiducia nelle istituzioni*" è balzato, nel giro di 40 giorni, dal 24 al 59%, valore mai più raggiunto dopo l'ultimo governo Cavour (1861) del Risorgimento.

La Commissione Esaminatrice della presente sessione di Esami di Stato è venuta fortuitamente a conoscenza di uno dei test di qualificazione sopra citati, attinente alla Fisica dei Reattori Nucleari: test probabilmente elaborato presso una qualificata Istituzione sovranazionale. La Commissione, avendo apprezzato la precisione e la validità del test stesso, ha quindi chiesto l'autorizzazione a proporlo, in via sperimentale, come tema d'esame di stato 2009, per i Candidati Nucleari del vecchio ordinamento.

Le posizioni dei problemi e i quesiti **D1, D2,...D7**, che compongono il test sono riportati qui appresso.

2 Quesiti ai Candidati

2.1 Problema I

Si faccia riferimento al più semplice modello di reattore a fissione: una struttura moltiplicante omogenea, non riflessa, occupante un volume V di contorno ∂V , convesso e semplicemente connesso, da trattarsi in teoria della *diffusione monocinetica*, ed operante in stato di criticità. È ben noto dalla teoria che, se si considera all'interno di V una sua *qualsiasi* sottoregione $V' \subseteq V$, di contorno $\partial V'$, deve valere, in condizione di criticità stazionaria e *soltanto* in essa, il seguente asserto: "*il flusso uscente del vettore corrente neutronica netta attraverso tutto il contorno $\partial V'$ deve eguagliare l'integrale di volume della sovrapproduzione neutronica (differenza tra il numero di neutroni emessi dalle fissioni e quelli assorbiti, sia in catture parassite, sia per provocare le fissioni stesse) esteso a tutta la sottoregione V'* ". È richiesto ai Candidati di:

D1 verificare esplicitamente che l'asserto di cui sopra risulta valido, in particolare, quando V si identifica con un cilindrico omogeneo, nudo, critico, di

raggio estrapolato R ed altezza estrapolata H (coordinate cilindriche: $r \in [0, R]$; $z \in [-H/2, +H/2]$), nel caso, ad es., che le sottoregioni V' di V da prendere in esame siano individuate nel modo seguente. Si introduce un parametro reale positivo $\alpha \in]0, 1[$ e si considerano le infinite (una per ciascun valore di α) sottoregioni cilindriche V' di raggio αR ed altezza αH , coassialmente e simmetricamente contenute nel cilindro critico. I punti interni di ciascuna V' saranno individuabili con le coordinate $r' \in [0, \alpha R]$; $z' \in [-\alpha H/2, +\alpha H/2]$. La verifica dell'asserto di bilancio integrale di cui sopra richiede che siano esplicitati il flusso scalare e il vettore corrente neutronica netta all'interno di tutto il cilindro critico e che sia tenuto in conto il fatto che l'equazione di criticità deve risultare soddisfatta. Andranno anche tenute presenti le segg. utili relazioni tra funzioni di Bessel, certamente valide $\forall x$ reale e positivo:

$$\frac{dJ_0(x)}{dx} = -J_1(x); \quad \int J_0(x) x dx = x J_1(x).$$

Si potrà osservare poi che, per $\alpha = 0.7937\dots$, il corrispondente cilindro interno V' ha un volume pari alla metà di quello critico, mentre la sovrapproduzione neutronica, integrata su tale V' , *supera di molto la metà* di quella che ha luogo complessivamente nel reattore critico.

Al fine di poter interpretare correttamente quest'ultimo risultato e di approfondire la portata concettuale, si richiede ai Candidati di

D2 fornire una giustificazione *intuitiva*, (cioè che non faccia ricorso a formule) dell'apparente anomalia, secondo cui, entro porzioni d'ugual volume, tutte intagliate all'interno dello stesso core critico e, almeno parzialmente, non sovrappoventisi, possono aver luogo, in regime stazionario, delle sovrapproduzioni neutroniche anche assai diverse tra loro.

2.2 Problema II

Si consideri un sistema moltiplicante costituito da tre "slabs" omogenei, affiancati ed a contatto tra loro. Quello centrale, di spessore $2a$ [cm] è costituito da un puro moderatore, mentre i due periferici sono moltiplicanti, identici tra di loro e hanno la loro parete esterna affacciata al vuoto; ciascuno degli slabs moltiplicanti ha spessore b [cm], (comprensivo della distanza estrapolata verso il vuoto, che, per semplicità, sarà qui assunta identica per i neutroni di qualsiasi energia). E' ovvio che, nel suo insieme, questo sistema costituisce un particolare **reattore a slab, dotato di riflettore centrale**. Esso risulta perfettamente simmetrico rispetto al piano mediano dello slab interno riflettente. Per semplificarne lo studio sarà opportuno: i) assumere che il piano di simmetria coincida con il piano $x = 0$ del sistema di riferimento unidimensionale che sarà adottato, ii) tener conto della simmetria, che consente di limitare lo studio all'intervallo $x \in [0, (a + b)]$ e iii) far ricorso alla versione stazionaria della teoria dei cosiddetti "pseudopotenziali cinetici" per la determinazione dei flussi neutronici nelle regioni moltiplicanti.

Si richiede ai Candidati di:

D3 determinare, nell'ambito di una teoria diffusiva a **due gruppi** energetici, l'*equazione critica* di questo reattore;

D4 fornire delle indicazioni *intuitive*, atte a prevenire che un giovane ingegnere, ancora inesperto, possa giungere alla determinazione dello stato di criticità di cui sopra in modo formalmente corretto dal punto di vista matematico, ma fisicamente inaccettabile e, addirittura, pericolosissimo. Ciò che potrebbe accadere, ad es., nel caso che il giovane ingegnere, pur avendo risolto correttamente l'equazione critica, avesse casualmente individuato non il *fondamentale*, ma uno qualsiasi degli infiniti autostati di criticità di ordine superiore. In corrispondenza di ciascuno di essi, infatti, il reattore non potrebbe che risultare *altamente sopracritico* sull'autostato fondamentale. E per valutare appieno la potenziale pericolosità di questa situazione va tenuto conto del fatto che, nell'effettivo esercizio, a potenza non nulla, di qualsiasi sistema moltiplicante tecnologicamente realizzabile, risulta *fisicamente impossibile* prescindere dall'eccitazione del suo autostato fondamentale, quale che sia il meccanismo di innesco della reazione a catena. Quindi, nella situazione sopra ipotizzata, l'autostato fondamentale risulterebbe sicuramente eccitato, e, purtroppo, anche destinato a divergere in modo asintoticamente rapidissimo. Si commenti brevemente il significato e la portata pratica di quest'ultimo asserto ai fini della sicurezza.

2.3 Problema III

Durante le operazioni di ricarica di una struttura sperimentale moltiplicante ben termalizzata, omogenea, di forma cilindrica non riflessa ed inizialmente critica, sarà necessario estrarre una barra, contenente un *debole* assorbitore di neutroni termici, che era inizialmente posizionata lungo l'asse del dispositivo. Al fine di compensare l'incremento di reattività che tale estrazione comporta, si prendono in considerazione le due seguenti alternative:

i) inserire assialmente quattro barre identiche a quella estratta, parallelamente all'asse e simmetricamente disposte rispetto ad esso (le loro tracce su un piano sezione perpendicolare all'asse dovranno stare ai vertici del quadrato le cui diagonali si incrociano sull'asse stesso);

ii) apportare, entro un insieme di volumi del tipo di quelli destinati alle 4 barre di cui sopra, una perturbazione positiva δD al coefficiente di diffusione D .

Si richiede ai Candidati di

D5 i) determinare, anche solo con metodi elementari e di prima approssimazione, a quale distanza dall'asse vadano inserite le quattro barre, al fine di compensare l'effetto dell'estrazione di quella centrale;

D6 ii) determinare, anche solo con metodi elementari e di prima approssimazione, con quale valore di δD si possa compensare l'inserimento di reattività di cui sopra, nel caso che la perturbazione sul D del mezzo moltiplicante venga apportata proprio nelle quattro regioni destinate alle barre compensatrici. Spiegare, *intuitivamente e senza calcoli*, qual'è la ragione fisica per cui si verifica che, a parità di volume totale in cui è apportata la perturbazione di D ,

la necessaria compensazione della reattività immessa dall'estrazione della barra centrale può essere ottenuta con valori sempre minori di $\delta D > 0$, nel caso che le quattro regioni perturbate siano spostate, conservando la simmetria, dalla zona centrale verso quella periferica del reattore.

2.4 Valutazione delle capacità didattiche

Si suppone ora che il partecipante al test di qualificazione sia stato incaricato di tenere un corso di 20 ore su "**La Dinamica dei Reattori a Fissione**" ad un pubblico di giovani Ingegneri e Fisici, tutti assai qualificati, ma privi di specifiche competenze in Fisica dei Reattori. Considerato il tipo di uditorio e il tempo disponibile, il docente si sarà limitato a presentare, dopo alcune nozioni di base, un modello di dinamica assai semplificato: ad es., quello per una struttura moltiplicante omogenea, convessa e non riflessa, trattato in diffusione monocinetica per i neutroni, per la quale si tenga conto di una o due famiglie di precursori di ritardati.

Alla fine delle lezioni alcuni dell'uditorio, che pure hanno attentamente seguito ed apprezzato la trattazione svolta, chiedono che vengano meglio chiariti i seguenti punti:

D7 i) Come mai la dinamica di sistemi contenenti plutonio, a parità di altre condizioni, risulta necessariamente "*più rapida*" di quella dei sistemi a uranio 235?

ii) Se è vero che l'autovalore temporale fondamentale ha un ruolo dominante in dinamica, quale interesse, teorico e/o pratico, dovremmo avere ad occuparci anche delle radici negative *dell'inhour equation*?

iii) Come si può dettagliatamente definire il concetto di "*autostato dinamico fondamentale*" per un reattore omogeneo, non riflesso, convesso e semplicemente connesso, nell'ambito di un modello di diffusione monocinetica, con almeno 2 famiglie di precursori di neutroni ritardati?

Sono qui ammesse risposte anche assai sintetiche ai tre sottoquesiti di **D7**, in quanto si ipotizza che l'uditorio sia già in possesso di una adeguata conoscenza della teoria.

Nota I Candidati sono invitati a fornire *ordinatamente* le risposte **R1, R2, ..., R7**, ai quesiti **D1, D2, ..., D7**, esprimendole nella forma tipica di una relazione professionale a carattere scientifico. Eventuali minute non potranno essere prese in considerazione dalla Commissione esaminatrice.

Postfazione Chi fosse proprio tormentato dalla curiosità di conoscere i risultati di tutti i tests di qualificazione di cui in Premessa, eseguiti in Italia nel periodo 1/10/2009-1/10/2011, potrebbe consultare, ma non prima del 31 dic. 2011, e previa assunzione di forti dosi di antidepressivi, il sito del "*Ministero delle Attività Innovative*". Questo Ministero, sempre auspicato in passato, ma denominato per troppo tempo *Ministero in pectore*, è quello di più recente (estate 2009) e felice istituzione. Gli è stata però affidata la missione impossibile di riportare l'Italia nel novero dei paesi a tecnologia avanzata.