

Progetto di un elemento di combustibile innovativo per reattori nucleari ad acqua leggera

Introduzione

La tecnologia dei reattori nucleari a fissione riveste un ruolo fondamentale nel processo di decarbonizzazione del mix energetico globale [1], in virtù del suo basso costo, della sua affidabilità e della assenza di emissioni di gas serra. Nel 2019 circa il 10% del fabbisogno di energia elettrica mondiale è stata soddisfatta da questa fonte di energia [2]. In particolare, dei 441 reattori attualmente in esercizio, ben 300 sono ad acqua pressurizzata (PWR) [2]. Poiché estendere la vita di impianti esistenti conviene, nel breve termine, rispetto alla realizzazione di nuove centrali, le case costruttrici stanno dedicando parte dei propri sforzi di ricerca e sviluppo nel progetto di elementi di combustibile innovativi [3, 4], che permettano di estendere la durata del ciclo del combustibile, di ridurre il costo e di garantire un margine di operazione maggiore in situazioni incidentali, incrementando in tal modo la sicurezza e l'economicità dell'impianto.

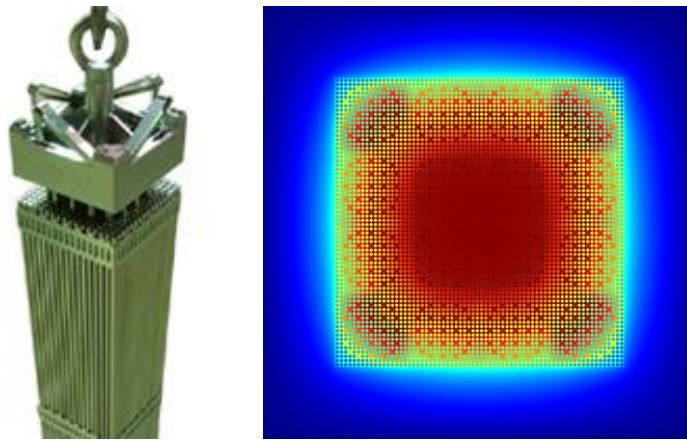


Figura 1: Elemento di combustibile di un PWR (sinistra, fonte: www.world-nuclear.org) ed esempio di calcolo 2D del flusso di neutroni termici in un insieme di elementi di combustibile (destra)

Obiettivo della tesi e organizzazione del lavoro

L'obiettivo della relazione finale proposta è la progettazione di un fascio di combustibile per reattori ad acqua pressurizzata.

Il fascio di barre di un PWR rappresenta un tipico esempio di sistema *multifisico*, cioè un sistema il cui comportamento è determinato dall'interazione fra più "fisiche" differenti. In particolare, in un fascio di barre lo studio della diffusione dei neutroni consente di determinare la distribuzione della densità di potenza termica depositata dalle reazioni di fissione. In base a tale distribuzione di potenza, note le caratteristiche del refrigerante in ingresso al fascio, è possibile determinare il campo di temperatura all'interno delle barrette di combustibile, così come la distribuzione nel refrigerante stesso. Infine, la distribuzione di temperatura all'interno delle barrette influisce sullo stato di deformazione della barretta. La natura "accoppiata" del problema deriva dal fatto che sia il campo di temperatura all'interno delle barrette sia la loro deformazione influiscono sulla diffusione dei neutroni. Il progetto di un fascio di barre deve quindi necessariamente tenere conto dell'interazione fra i suddetti fenomeni.

Il progetto di un fascio di barre si articola in due fasi:

- 1) **Dimensionamento di massima:** sulla base di modelli semplificati e correlazioni empiriche, si effettuano delle scelte relative ai materiali (materiale della guaina, arricchimento del combustibile, ...) e si stimano le dimensioni caratteristiche del sistema (lunghezza del fascio, diametro della pastiglia, spessore della guaina, passo fra le barrette, ...) che consentono di rispettare i limiti di progetto (temperatura massima del fascio, massima deformazione della barretta, potenza lineare..);
- 2) **Verifica:** mediante modelli più accurati (che quindi tipicamente richiedono una risoluzione numerica) si verifica il rispetto dei suddetti limiti.

Data la natura multifisica del problema, si propone di sfruttare per la fase 2) la flessibilità del software ad elementi finiti FreeFEM++. Si propone in particolare di realizzare dapprima tre moduli indipendenti (neutronico, termoidraulico e termomeccanico) per il calcolo delle principali grandezze di progetto. Dopo questa prima fase, verrà realizzato un calcolo multifisico che accoppi i tre moduli suddetti. Sarà in questo modo possibile la verifica dei limiti di progetto (nel caso di operazione stazionaria del reattore).

Gli studenti interessati sfrutterebbero pienamente il bagaglio di competenze ottenute nel corso di Laurea in Ingegneria Energetica, con particolare enfasi sulle conoscenze acquisite nei corsi di Termofluidodinamica, Fondamenti di Meccanica Strutturale, Laboratorio Computazionale di Scambio Termico ed Elementi di Ingegneria Nucleare.

La proposta si rivolge ad un gruppo di studenti (minimo tre, massimo sei) che si suddivida equamente il lavoro relativo al dimensionamento di massima, allo sviluppo dei tre moduli ed al loro accoppiamento multifisico.

Keywords: progettazione, accoppiamento multifisico, elementi finiti, neutronica, termoidraulica, termomeccanica,

Contatti

Docenti:

- S. Dulla: sandra.dulla@polito.it
- R. Bonifetto: roberto.bonifetto@polito.it
- P. Ravetto: piero.ravetto@polito.it

Dottorandi:

- N. Abrate: nicolo.abrate@polito.it
- G. F. Nallo: giuseppefrancesco.nallo@polito.it
- D. Valerio: domenico.valerio@polito.it

Bibliografia

[1] J. Buongiorno, M. Corradini, J. Parsons, and D. Petti, "The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World," 2018.

[2] <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclear-power-reactors.aspx>

[3] <https://world-nuclear-news.org/Articles/US-begins-first-commercial-testing-of-silicide-fue>

[4] <https://world-nuclear-news.org/Articles/GA-Framatome-team-up-on-fuel-channel-development>