

Analisi numerica delle interazioni plasma-parete in presenza di un divertore a metallo liquido

Introduzione

L'obiettivo del tokamak "European DEMO" è dimostrare la fattibilità della produzione di energia elettrica da fusione nucleare. Al suo interno, è necessario smaltire dei flussi termici molto elevati, fino a qualche decina di MW/m^2 , durante lunghi periodi (e cioè quasi in condizioni stazionarie) ed in condizioni di elevata fluensa neutronica. Le attuali tecnologie non sono in grado di garantire una soluzione affidabile per il problema dello smaltimento di questi flussi termici, pertanto concetti innovativi sono attualmente in fase di studio. Uno dei più promettenti fra di essi è l'utilizzo di componenti affacciati al plasma rivestiti di metallo liquido, ed in particolare di un divertore a metallo liquido. Questa soluzione è ritenuta interessante perché (i) il metallo liquido evapora quando è esposto a flussi termici elevati, ed in tal modo il calore latente diventa disponibile per smaltire la potenza depositata; (ii) una superficie liquida non subisce un'erosione netta nel tempo, in quanto il materiale superficiale può essere continuamente rimpiazzato; (iii) il vapore di metallo interagisce con il plasma, da cui derivano gli elevati carichi termici, riuscendo parzialmente ad irraggiarne la potenza, distribuendola così su aree più elevate. È altrettanto importante evitare che il detto vapore contami il centro del plasma, dal momento che potrebbe portare la reazione di fusione a spegnersi. In Fig. 1 si mostra un possibile schema di un divertore a metallo liquido per DEMO.

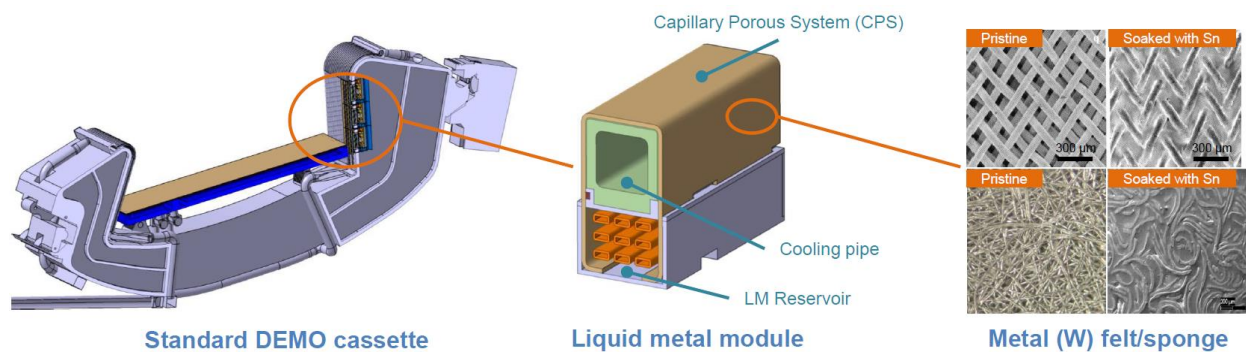


Figure 1: CAD of the standard DEMO divertor cassette (left), ENEA proposal for a liquid metal divertor module (center) and detail of possible capillary structures to be filled with liquid metal (right) **Error! Reference source not found.**

Uno degli aspetti chiave di un divertore a metallo liquido è lo stretto legame fra i processi che avvengono sulla parete e quelli all'interno del plasma. Infatti, la potenza depositata dal plasma induce l'evaporazione del metallo liquido sulla parete, mentre a sua volta il metallo liquido evaporato interagisce con il plasma, smaltendo una parte della potenza sotto forma di radiazione. Si rende quindi necessario un modello auto-consistente al fine di simulare correttamente il sistema [1].

Al PoliTo è in corso lo sviluppo di un insieme di strumenti di calcolo per simulare il comportamento di un divertore a metallo liquido, nell'ottica di supportare la progettazione di un tale sistema da inserire nel tokamak DTT, che verrà costruito in Italia nei prossimi anni, e più avanti in DEMO [1]. Al momento questi strumenti di calcolo comprendono un modello per la superficie evaporante, il trasporto del vapore di metallo liquido nel plasma, le interazioni con le particelle cariche provenienti dal plasma di centro e la sua ri-condensazione sulle pareti attivamente raffreddate. Lo sviluppo del modello attuale è particolarmente focalizzata sul dettaglio del calcolo stazionario, ma un calcolo transitorio sarebbe troppo oneroso. Un modello più semplice ma ancora auto-

consistente è quindi desiderabile, al fine di simulare in maniera efficace effetti transitori, come lo schermaggio oscillatorio dovuto all'evaporazione sopramenzionato [2].

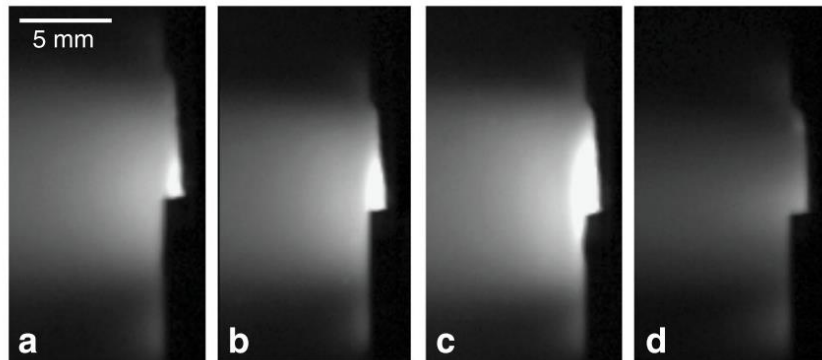


Figure 2: Series of pictures showing subsequent phases of the observed oscillatory vapor shielding in the magnum PSI plasma device [2].

Obiettivo del lavoro di tesi

Il presente lavoro, adatto per un lavoro di gruppo di studenti di laurea triennale, mira allo sviluppo di un modello di calcolo per analizzare il comportamento transitorio del divertore a metallo liquido e del plasma che va ad impattare sulla sua superficie. La descrizione del plasma e della parte devono essere accoppiate per poter affrontare con successo il problema.

Parete:

Si dovrà sviluppare un modello per determinare il campo di temperature ed il tasso di evaporazione in un divertore con geometria convenzionale, ma rivestito di metallo liquido: un modello tridimensionale basato sul Metodo agli Elementi Finiti per risolvere il problema di conduzione termica transitorio in un monoblocco rivestito di metallo liquido.

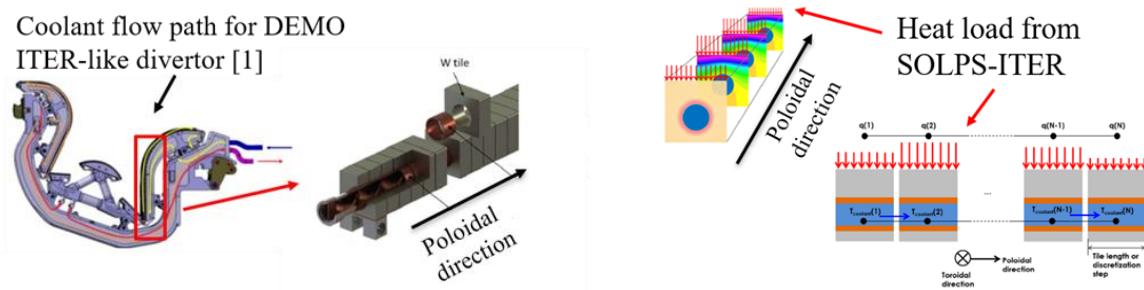


Figure 3: Schema di refrigerazione del divertore e possibile approccio per il trattamento del problema tridimensionale [3].

Plasma:

Si svilupperà un modello zerodimensionale (transitorio) del plasma nello "Scrape-Off Layer" (SOL) in presenza di impurezze (nuclei di Li evaporato), sulla base del modello riportato in [4].

Parole chiave: Divertore a metallo liquido, multifisica, elementi finiti, metodi computazionali

Persone di riferimento

- Ing. Giuseppe Francesco Nallo: giuseppefrancesco.nallo@polito.it
- Dr. Antonio Froio: antonio.froio@polito.it

Bibliografia

- [1] G. F. Nallo, G. Mazzitelli, L. Savoldi, F. Subba, and R. Zanino, "Self-consistent modelling of a liquid metal box-type divertor with application to the divertor tokamak test facility: Li versus Sn," *Nucl. Fusion*, vol. 59, no. 6, 2019.
- [2] G. G. Van Eden, V. Kvon, M. C. M. Van De Sanden, and T. W. Morgan, "Oscillatory vapour shielding of liquid metal walls in nuclear fusion devices," *Nat. Commun.*, vol. 8, no. 1, 2017.
- [3] S. Carli, R. A. Pitts, X. Bonnin, F. Subba, and R. Zanino, "Effect of strike point displacements on the ITER tungsten divertor heat loads," 2018.
- [4] E. D. Marenkov and A. A. Pshenov, "Vapor shielding of liquid lithium divertor target during steady-state and transient events," *Nucl. Fus.*, p. 22, 2020.