

Proposte di lavori singoli/di gruppo per la prova finale (Elementi di ingegneria nucleare)

S. Dulla, R. Bonifetto, N. Abrate
per il NEMO group @ DENERG

http://www.nemo.polito.it/teaching/thesis_proposals/bachelor_thesis

6 maggio 2021, EIN



Progetto di un reattore omogeneo per la produzione di radionuclidi per uso medico o industriale



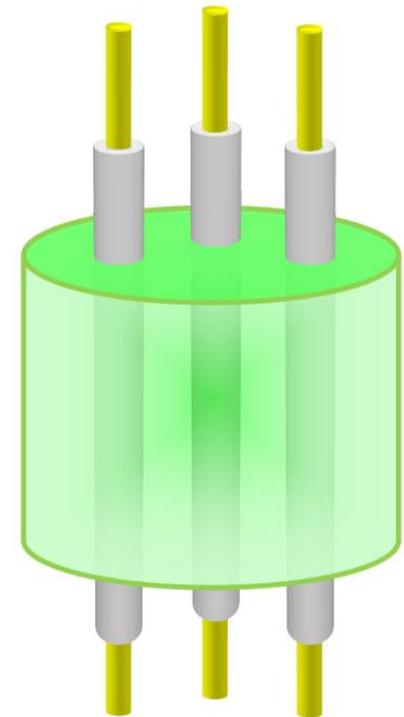
- **Obiettivo:** sviluppare il progetto di un reattore omogeneo critico (sottocritico) per la produzione di radionuclidi

Geometria:

- Cilindro
- sfera

Configurazione

- Critico
- Sottocritico con sorgente



S. Dulla, N. Abrate
Tesi di calcolo

Fasi del lavoro

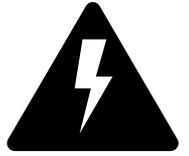
A. Definire le dimensioni e la composizione di un reattore omogeneo; determinare il rapporto di moderazione e l'arricchimento del combustibile; scegliere la potenza e la temperatura di funzionamento;

B. Determinare la sovracriticità iniziale, la concentrazione di veleno per il controllo e il tempo di funzionamento a piena potenza senza necessità di ricambio del combustibile;

C. Definire il sistema di rimozione del calore generato dalle fissioni (dimensionare il circuito e lo scambiatore di calore);

D. Valutare la produzione di diversi radionuclidi, studiarne l'evoluzione e determinare il tempo di permanenza del bersaglio nel reattore.

Studio di reattori di potenza con combustibili con uranio e con torio



- **Obiettivo:** confrontare le prestazioni di un reattore nucleare di potenza alimentato a uranio (uranio-plutonio) e di un reattore alimentato a uranio-torio (U-233-torio)

S. Dulla, N. Abrate
Tesi di calcolo

Fasi del lavoro

A. Definire le dimensioni e la composizione di un reattore cilindrico omogeneo ad acqua; determinare il rapporto di moderazione e la composizione isotopica del combustibile;

B. Determinare la sovracriticità iniziale, la concentrazione di veleno per il controllo e la sua evoluzione durante il ciclo; studiare l'evoluzione dei parametri integrali del sistema;

C. Determinare la produzione di fissile (U-233 e Pu-239);

D. Valutare la produzione di nuclidi pesanti, studiarne l'evoluzione.



Studio di trasmutazione di attinidi minori in un reattore dedicato



- **Obiettivo:** progettare un reattore omogeneo per la trasmutazione degli attinidi minori contenuti in un target sottoposto ad irraggiamento neutronico

Fasi del lavoro

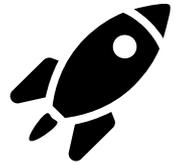
A. Definire le dimensioni e la composizione del reattore (geometria: cilindrico o sferico; configurazione; critico o sottocritico)

B. Determinare la composizione di un target di attinidi minori provenienti da combustibile esausto di un PWR

C. Valutare l'evoluzione dei nuclidi nel target in varie configurazioni di irraggiamento (posizione, potenza del reattore, spettro)

D. Valutare evoluzione della attività del target

Applicazioni spaziali - propulsione

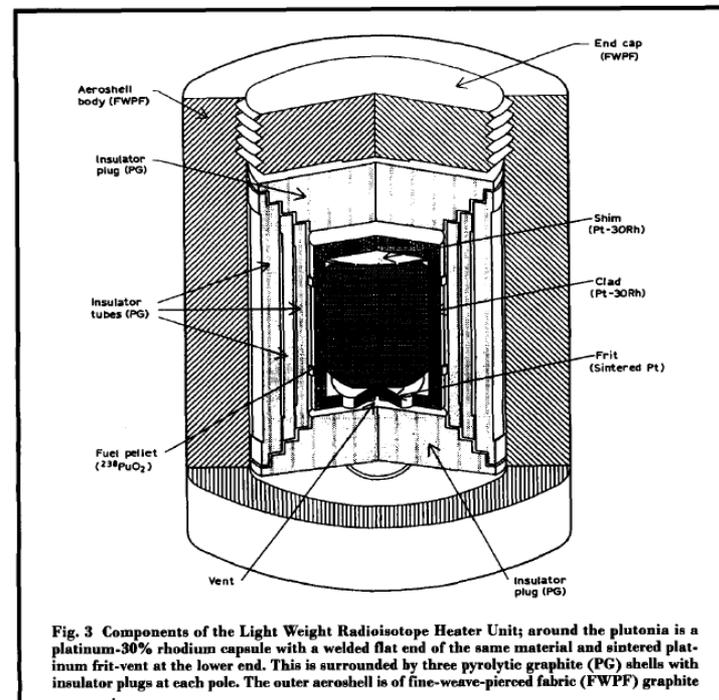


- Design reattore omogeneo per propulsione spaziale
- Procedimento analogo a proposta precedente:
 - Reattore critico (fuel+coolant)
 - Necessità controllo
 - Calcolo evoluzione combustibile
- Differenze:
 - Caratteristiche del fuel (e.g. CERMET)
 - profilo temporale di potenza (NON potenza continua per lungo tempo ...)

Applicazioni spaziali - Radioactive Heating Unit

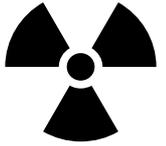


- RHU: capsule contenenti un nuclide radioattivi a vita «medio lunga», l'energia associata alle radiazioni emesse nel decadimento serve come sorgente termica passiva
- Caratterizzazione delle diverse sorgenti a partire da letteratura:
 - Attività specifica
 - Tipo di decadimento
 - Potenza utilizzabile vs potenza «persa»
- Studio dell'andamento della attività e della potenza nel tempo
 - Dati di partenza da letteratura
 - Analisi catene di decadimento
- Studio termico della capsula data potenza della pellet
 - Problema radiale in geometria cilindrica



Platinum Metals Rev., 1997, **41**, 154-163

Studio dell'attivazione di componenti sotto irraggiamento neutronico



- **Obiettivo:** studiare l'attività residua di un componente sottoposto ad irraggiamento neutronico, con riferimento a diverse tipologie di reattore (termici e veloci)

S. Dulla, S. Bleynat, N. Abrate

Tesi di calcolo

Fasi del lavoro

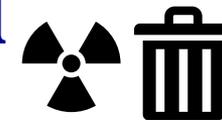
A. Definire le sezioni d'urto di cattura per i nuclidi presenti nel componente, stimare la vita del componente, definire i nuclidi prodotti dal decadimento dei nuclidi attivati

B. Valutare l'evoluzione dell'attività del componente

C. Determinare i nuclidi più rilevanti dal punto di vista dell'attivazione, risolvendo le equazioni di decadimento

D. Stimare l'attività residua di Co-60 e calcolare la dose per un lavoratore esposto al componente attivato per un certo periodo di tempo

Studio della produzione di rifiuti radioattivi in Italia in relazione al Deposito Nazionale



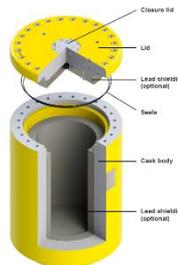
- Ambito di ricerca nazionale: Deposito Nazionale
- Contesto: smaltimento sicuro dei rifiuti radioattivi presenti sul suolo italiano

• Problemi:

- Accettabilità sociale
- Ritardi nella realizzazione dell'infrastruttura

• Obiettivi:

- Valutare la quantità, la provenienza e la classificazione dei rifiuti radioattivi presenti sul territorio nazionale e l'andamento della produzione futura sulla base della letteratura disponibile
- Analizzare le strategie adottate dagli altri paesi UE
- Valutare l'importanza relativa alla costruzione di questo deposito



S. Dulla, S. Bleynat, N. Abrate

Tesi compilativa

Studio dello smaltimento dell'acqua contaminata della centrale di Fukushima

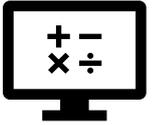
- Ambito di ricerca internazionale: Disastro nucleare di Fukushima Daiichi
- Contesto: smaltimento sicuro dell'acqua radioattiva nel Pacifico
- Problemi:
 - Accettabilità sociale
 - Possibili impatti ambientali
- Obiettivi:
 - stimare la contaminazione dell'acqua sulla base della letteratura di riferimento, con enfasi sui nuclidi radioattivi con emivita medio-lunga
 - stimare il possibile impatto sull'ambiente
 - proporre strategie alternative valutandone i vantaggi e gli svantaggi



S. Dulla, S. Bleynat,
N. Abrate

Tesi compilativa

Benchmark analitico del codice multi-fisico FRENETIC



- **Obiettivo:** svolgere calcoli analitici relativi alla deposizione di potenza neutronica e fotonica in uno slab ai fini di verificare le prestazioni del codice FRENETIC (sviluppato @ PoliTo), che risolve numericamente le equazioni di diffusione accoppiate per neutroni e fotoni

S. Dulla, N. Abrate,
D. Valerio

Tesi di calcolo adatta
a 2-3 persone

Fasi del lavoro

A. Determinare le sezioni d'urto neutroniche, i coefficienti di attenuazione fotonici e i coefficienti di diffusione per U-235 e H₂O.

B. Calcolare analiticamente la deposizione di energia per uno slab dotato di riflettore in condizioni stazionarie

C. Valutare, mediante sviluppo in autofunzioni di Helmholtz, il calore di decadimento in uno slab omogeneo dopo lo spegnimento del sistema

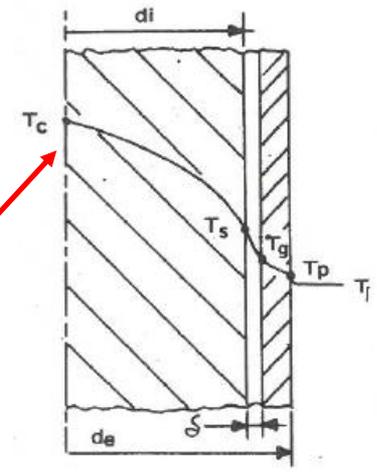
D. Verificare, mediante il codice FRENETIC, la consistenza dei risultati ottenuti

Studio della dinamica di un sistema moltiplicante



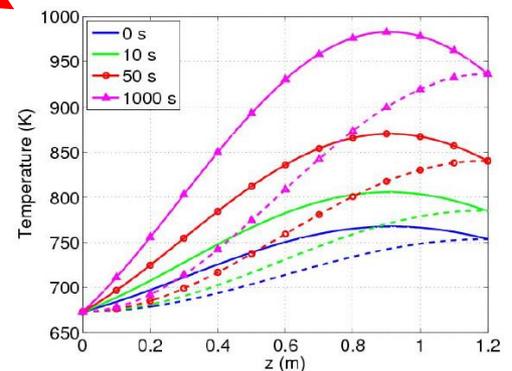
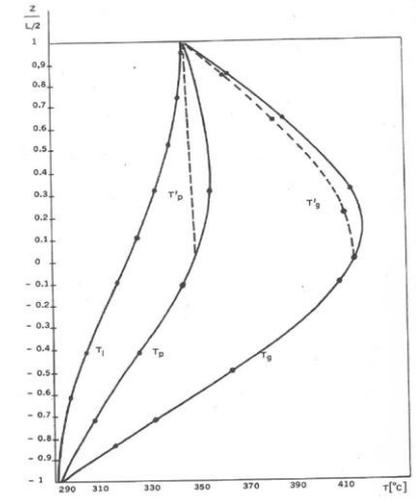
- **Obiettivo:** analizzare l'impatto di alcuni parametri sulla evoluzione della potenza generata in un sistema moltiplicante (per applicazioni di controllo e sicurezza)
- **Fasi del lavoro:** studiare, mediante sviluppo in autofunzioni di Helmholtz, la sensitività della potenza generata nel sistema al variare dei parametri di input
 - β_{eff}
 - vita effettiva
 - forma geometrica (slab, sfera, cilindro infinito)
 - dimensioni geometriche
 - reattività

Analisi impiantistica



Analisi del “canale caldo” di un PWR:

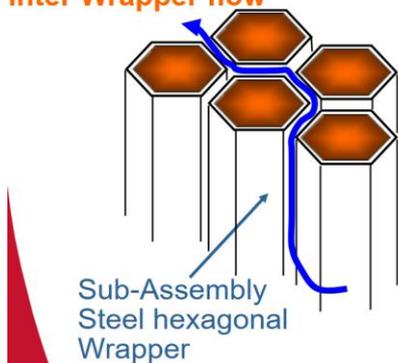
- Analisi della temperature assiale nel nocciolo
- Determinazione della temperatura di picco nella pastiglia di combustibile (analisi parametriche di ottimizzazione)
- Possibilità di effettuare confronti tra calcoli analitici e numerici
- Analisi che tiene conto di ebollizione sottoraffreddata
- Calcoli parametrici su spessore di guaina, diametro della barretta, rapporto passo/diametro...



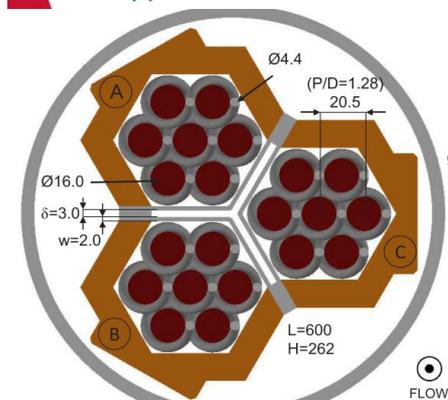
Analisi di dati sperimentali relativi alla portata di bypass in un LFR

- Ambito di ricerca: reattori a fissione di IV generazione
- Contesto: refrigerazione del nocciolo mediante metalli liquidi

Inter Wrapper flow



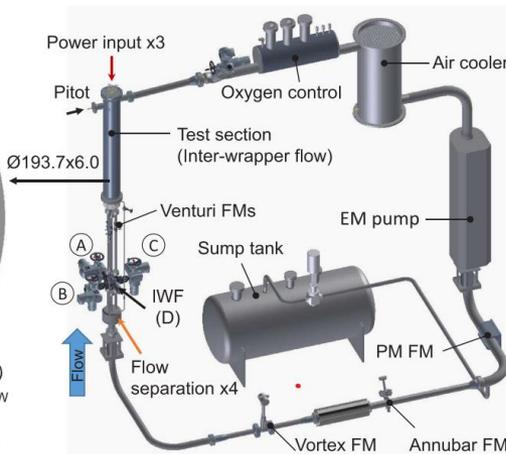
- Problema: determinazione del calore asportato dalla portata di by-pass fra gli elementi di combustibile (chiusi ed esagonali) di un LFR, importante per design del nocciolo.



MYRRHA-127 → 3xMYRRHA-7 → KALLA-IWF

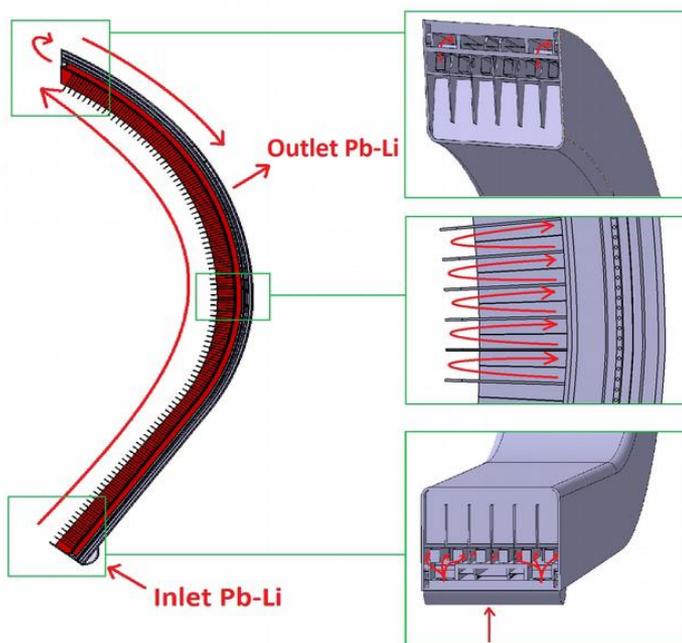
- Obiettivo: utilizzare un set di dati sperimentali raccolti presso la facility KALLA (Karlsruhe), per:

- Quantificare effetto della portata di bypass, confrontando i dati sperimentali con calcoli preliminari;
- Contribuire alla convalida del codice TIFONE (recentemente sviluppato @PoliTo).



Analisi del trasporto dei prodotti di corrosione attivati nel metallo liquido

- Ambito di ricerca internazionale: reattore a fusione EU DEMO



- Contesto: autoproduzione del trizio necessario alla reazione di fusione mediante (piombo-)litio liquido
- Problemi:
 - corrosione del materiale strutturale da parte del metallo liquido
 - prodotti di corrosione *attivati* → sicurezza radiologica
- Obiettivi:
 - identificare informazioni sul trasporto dei prodotti di corrosione attivati nel metallo liquido
 - identificare i parametri rilevanti e i modelli o dati esistenti

A. Froio, R. Bonifetto
Tesi compilativa

Confronto tra fluidi diversi per la refrigerazione dei magneti HTS per fusione

- Ambito di ricerca internazionale: futuri reattori a fusione (ARC)
 - Contesto: produzione di alti campi magnetici per il confinamento del plasma
 - Problemi:
 - utilizzo di superconduttori ad alta temperatura
 - maggiore flessibilità nella scelta dei fluidi refrigeranti
 - Obiettivi:
 - identificare informazioni su vantaggi/svantaggi di diversi fluidi *dal punto di vista chimico*
 - analizzare i costi energetici ed exergetici in funzione del fluido scelto

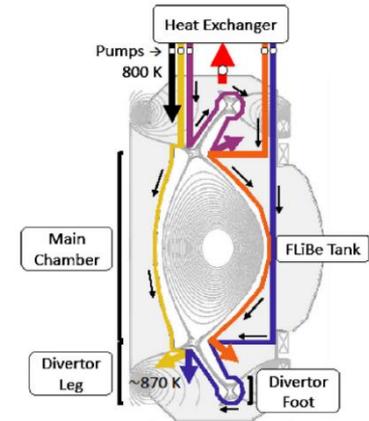


R. Bonifetto, A. Zappatore

Tesi compilativa → calcolo

Calcolo delle cadute di pressione nel reattore a fusione ARC

- Ambito di ricerca internazionale: futuro reattore a fusione ARC
- Contesto: Effetti dei campi magnetici sulle cadute di pressione nel flusso di un sale fuso.
- Problema:
Il sale fuso (FLiBe), utilizzato per la produzione del trizio e per il raffreddamento, è un liquido conduttore di corrente, che subisce cadute di pressione aggiuntive dovute a effetti magnetoidrodinamici (MHD), dovuti alla generazione di correnti parassite
- Obiettivo:
 - Calcolare la potenza depositata nel reattore dai neutroni e fotoni, generati dalla sorgente nel plasma, attraverso un modello di tipo diffusivo semplificato (in geometria slab o cilindrica multistrato)
 - Utilizzare la potenza ottenuta come input dell'analisi idraulica per il dimensionamento dei canali in cui scorre il FLiBe, tenendo conto della presenza del campo magnetico e delle cadute di pressione aggiuntive



A. Froio, A. Aimetta,
N. Abrate,

Tesi di calcolo

Fasi del lavoro

A. Definire le dimensioni e la composizione del reattore ARC, approssimandolo a una geometria slab/cilindrica multistrato

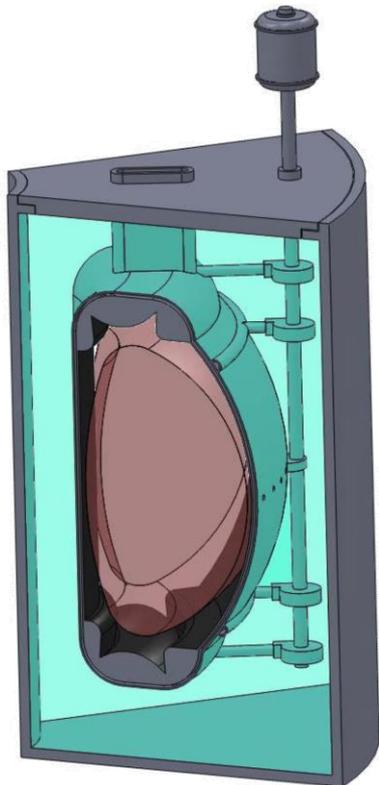
B. Definire la sorgente di neutroni per determinare il flusso neutronico nei diversi strati di ARC. Il flusso neutronico viene utilizzato per valutare la potenza depositata dai neutroni e i fotoni prodotti dalle interazioni neutroni-materia.

C. Nota la potenza depositata, valutare la distribuzione di temperatura nei canali di FLiBe e nel blanket e ricavare iterativamente la portata in massa necessaria per la refrigerazione.

D. Valutare le perdite di pressione (distribuite e localizzate), a cui aggiungere le cadute di pressione dovute ai fenomeni MHD. Valutare infine la potenza di pompaggio necessaria per mantenere il flusso di FLiBe

Calcolo della produzione di trizio in un blanket a sale fuso

- Ambito di ricerca internazionale: futuro reattore a fusione ARC

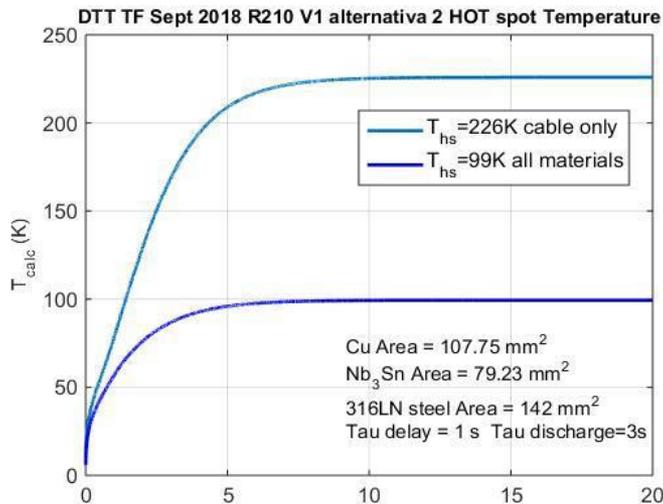


- Contesto: autoproduzione del trizio necessario alla reazione di fusione mediante sale fuso
- Problema:
 - Il sale fuso (FLiBe), contenente sia il fertilizzante (Li) che il moltiplicatore neutronico (Be) viene movimentato modificando la concentrazione locale di trizio
- Obiettivo:
 - Calcolo della produzione di trizio a diversi istanti di tempo mediante un modello semplice di diffusione
 - Stima dell'incertezza sul risultato, determinata dall'incertezza sui dati

S. Dulla, A. Froio
Tesi compilativa

Dimensionamento di massima di cavi superconduttori per fusione

- Ambito di ricerca internazionale: futuri reattori a fusione (DTT, EU DEMO)

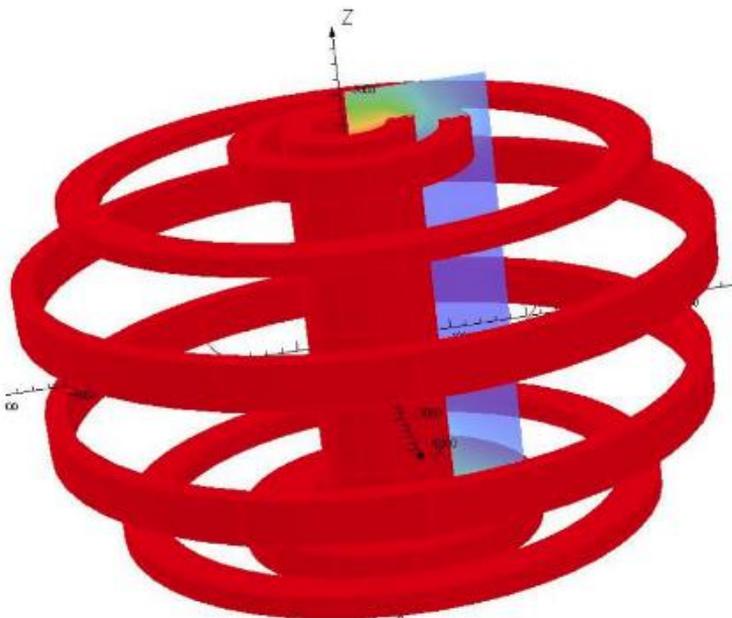


R. Bonifetto, A. Zappatore
Tesi di calcolo

- Contesto: produzione di cavi superconduttori per magneti per il confinamento del plasma
- Problema:
 - quando il superconduttore perde le proprietà superconduttive, la corrente deve attraversare il rame
- Obiettivo:
 - Sviluppare un modello 0D adiabatico (tipo corso di termodinamica) in Matlab che calcoli l'evoluzione della temperatura massima («hot spot temperature») nel conduttore durante un quench

Confronto tra diversi modelli per le AC losses nei cavi superconduttori per fusione

- Ambito di ricerca internazionale: futuri reattori a fusione (DTT, EU DEMO)
 - Contesto: produzione di magneti per il confinamento del plasma
 - Problemi:
 - alcuni magneti operano con corrente (\rightarrow campo magnetico) variabile
 - le variazioni di campo magnetico causano generazione di potenza (“AC losses”)
 - Obiettivo:
 - Implementare in Matlab modelli diversi (disponibili) di AC losses e confrontarne i risultati



R. Bonifetto, A. Zappatore
Tesi di calcolo

Modello numerico "fast-running" per il cooldown del Central Solenoid

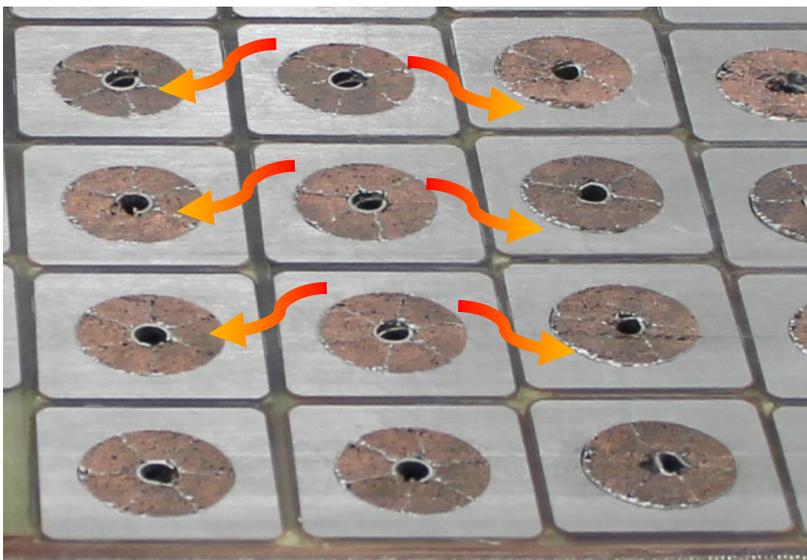
- Ambito di ricerca internazionale: futuri reattori a fusione (ITER)
 - Contesto: controllo e operazione dei magneti di ITER
 - Problemi:
 - I modelli numerici oggi utilizzati per modellare questi magneti sono molto dettagliati, ma molto lenti a girare (giorni!)
 - Il controllo e l'operazione di questi magneti richiedono strumenti veloci (secondi!)
 - Obiettivo:
 - Implementare in Matlab e/o FreeFEM++ 0D e/o 1D per il cooldown di un modulo CS
 - Confronto con esperimenti sull'oggetto reale!



R. Bonifetto, A. Zappatore
Tesi di calcolo

Modello numerico 2D dello scambio termico tra conduttori

- Ambito di ricerca internazionale: futuri reattori a fusione (ITER, DTT, ...)



- Contesto: operazione di magneti superconduttori

Problemi:

- I modelli numerici utilizzati per la simulazione di transitori in magneti superconduttori per fusione approssimano in maniera semplice (0D-stazionario) lo scambio di calore tra i conduttori

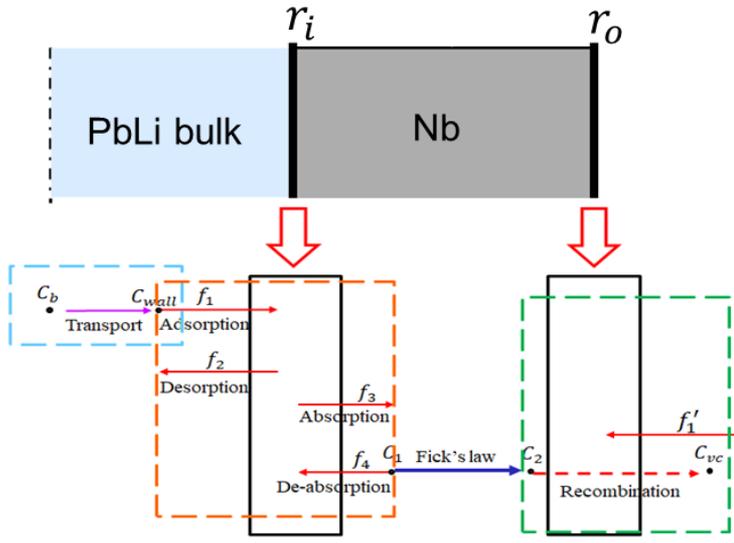
Obiettivo:

- Implementare in FreeFEM++ un modello 2D transitorio del materiale tra conduttori adiacenti in un avvolgimento di un magnete da fusione

R. Bonifetto, A. Zappatore
Tesi di calcolo

Verifica di un nuovo modello di permeazione del trizio per l'estrattore di DEMO

- Ambito di ricerca internazionale: futuro reattore a fusione EU DEMO



$$\begin{cases}
 \frac{dC_{T,b}(z)}{dz} = -\frac{2}{r_i v} J_T(r_i, z) \\
 J_T = h_T(C_{T,b} - C_{T,wall}) \\
 J_T = \frac{1}{2} K_{dNb} \sqrt{p_{T,wall}} \\
 C_{T,b} = K_{sPbLi} \sqrt{p_{T,b}} \\
 C_{T,wall} = K_{sPbLi} \sqrt{p_{T,wall}}
 \end{cases}$$

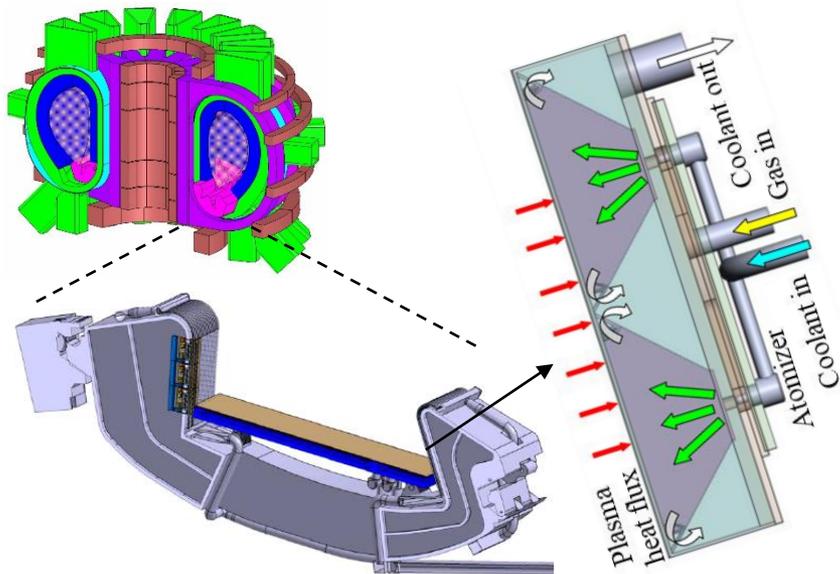
- Contesto: estrazione del trizio dal PbLi facendolo permeare attraverso una membrana di Nb
- Problemi:
 - nuovo modello sviluppato di recente a PoliTo
 - assenza di dati sperimentali per validarlo
- Obiettivo:
 - verificare le equazioni del modello transitorio col metodo della «manufactured solution»
 - applicare il modello a casi semplici

R. Bonifetto, D. Valerio

NB: Tesi «di ricerca»

Modellazione termica semplificata del target di un divertore a metallo liquido

- Ambito di ricerca: futuri reattori a fusione (DTT, EU DEMO)
- Contesto: rimozione di *elevati* flussi termici tramite metalli liquidi



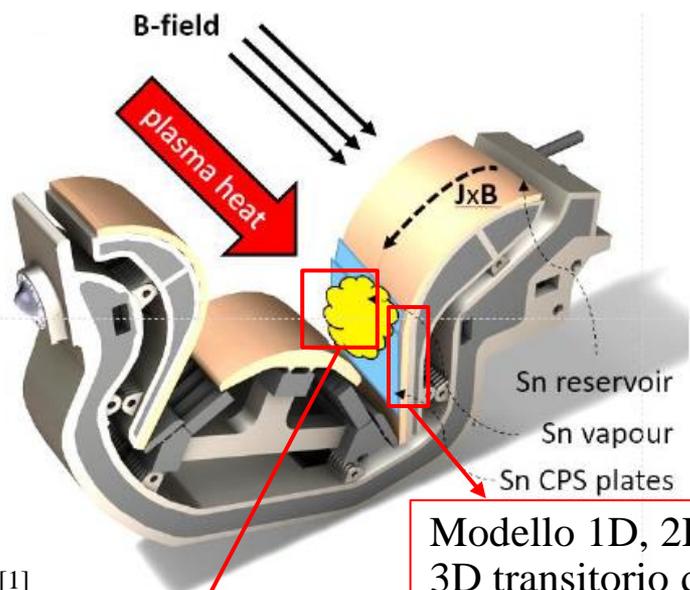
- Problema: conoscere la temperatura superficiale del divertore è importante per determinarne l'evaporazione (che può causare contaminazione del plasma)
- Obiettivo: sviluppare un modello termico per determinare la temperatura superficiale, tenendo conto del flusso termico incidente (da plasma), della refrigerazione attiva, del moto del metallo liquido.

G. F. Nallo

Tesi di calcolo

Modello multifisico di un divertore a metallo liquido

- Ambito di ricerca internazionale: futuri reattori a fusione (DTT, DEMO...)



[1]

Modello 0D transitorio della nube di vapore interagente con il plasma (MATLAB)

Modello 1D, 2D o 3D transitorio della struttura del divertore soggetta a carico termico da plasma (MATLAB o FreeFem++)

- Contesto: **smaltimento della potenza** da fusione nel divertore
- Oggetto dello studio: interazioni plasma-parete per **divertore a metallo liquido**
- Obiettivo: sviluppare un modello semplificato che tenga conto di:

1. Interazioni fra nube di metallo evaporato e plasma;
2. Risposta in temperatura del divertore.

I fenomeni 1 e 2 si influenzano mutuamente (problema **multifisico**) → occorre risolvere i due modelli accoppiati per riprodurre comportamento oscillatorio osservato sperimentalmente.

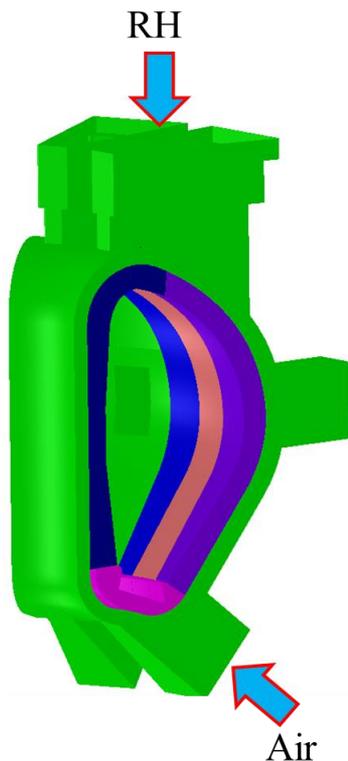
G. F. Nallo, F. Subba

Tesi di ricerca consigliata per 3-4 persone

[1] G. G. van Eden et al., "Power handling and vapour shielding of Sn and Li CPS targets in PILOT-PSI/Magnum-PSI" presented at ISLA-5, – International Symposium on Liquid Metal Applications for Fusion, Moscow 2017

Stima del tempo di raffreddamento del blanket in convezione naturale e forzata

- Ambito di ricerca internazionale: futuro reattore a fusione EU DEMO
 - Contesto: manutenzione remota del Breeding Blanket (BB)
 - Problemi:
 - I materiali nel BB si attivano sotto irraggiamento neutronico e devono essere maneggiati mediante robot
 - Tali robot possono operare solo al di sotto di una certa temperatura
 - Obiettivo:
 - Implementazione di un modello 0D transitorio per stimare il tempo necessario a raggiungere la temperatura soglia, in convezione forzata e naturale, in presenza di generazione interna e irraggiamento



A. Froio, A. Zappatore
Tesi di calcolo

Cosa fare se sono interessato?

- Scrivere un'e-mail sola con 4 destinatari:
 - sandra.dulla@polito.it
 - roberto.bonifetto@polito.it
 - nicolo.abrate@polito.it
- Nel testo dell'e-mail specificare:
 - Periodo atteso per la laurea (luglio, settembre/ottobre, dicembre, marzo 2022, ...)
 - Tematica (il titolo della slide in questa presentazione)
 - Se siete in gruppo: uno solo scrive l'e-mail e mette gli altri in copia
 - Se siete soli: specificare se volete fare il lavoro da soli, o se siete disposti ad accettare un compagno di avventura (qualora altri manifestassero interesse per lo stesso argomento e fossero soli)