



## Progetto 1.3 "Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare"

### *Reattori di IV Generazione*

### *Risultati Conseguiti*

*Mariano Tarantino e Pietro Agostini*

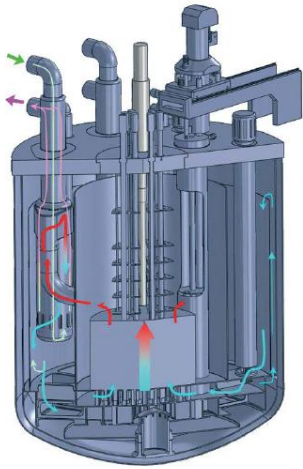
([mariano.tarantino@enea.it](mailto:mariano.tarantino@enea.it))

([pietro.agostini@enea.it](mailto:pietro.agostini@enea.it))

**ENEA ROMA – 23 Novembre 2011**



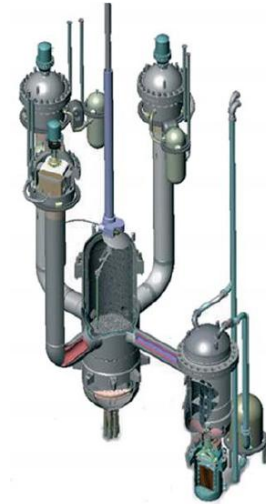
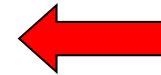
# Struttura Generale



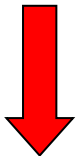
**SFR Prototype (ASTRID)**



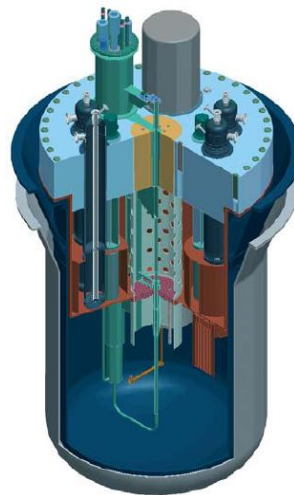
Ⓢ Sviluppo e validazione codici di calcolo, anche su base sperimentale, per la termoidraulica e la neutronica dei noccioli, come supporto alla progettazione dei sistemi nucleari LFR, SFR e GFR



**GFR Demonstrator (ALLEGRO)**



- Ⓢ Progettazione e implementazione di nuove infrastrutture e laboratori a supporto dello sviluppo di sistemi LFR e SFR
- Ⓢ Sviluppo e qualifica componenti e sistemi prototipici



**LFR Pilot Plant (MYRRHA)**

**LFR Demonstrator (ALFRED)**



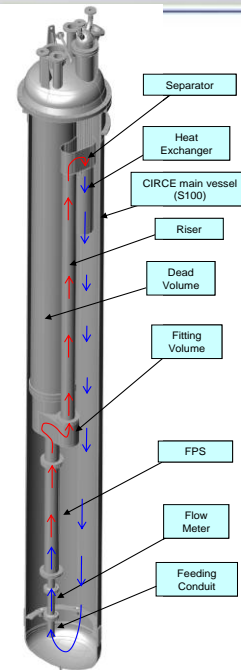
- Ⓢ Concettualizzazione DEMO-LFR
- Ⓢ Qualifica materiali strutturali



# Competenze dell'Unità UTIS

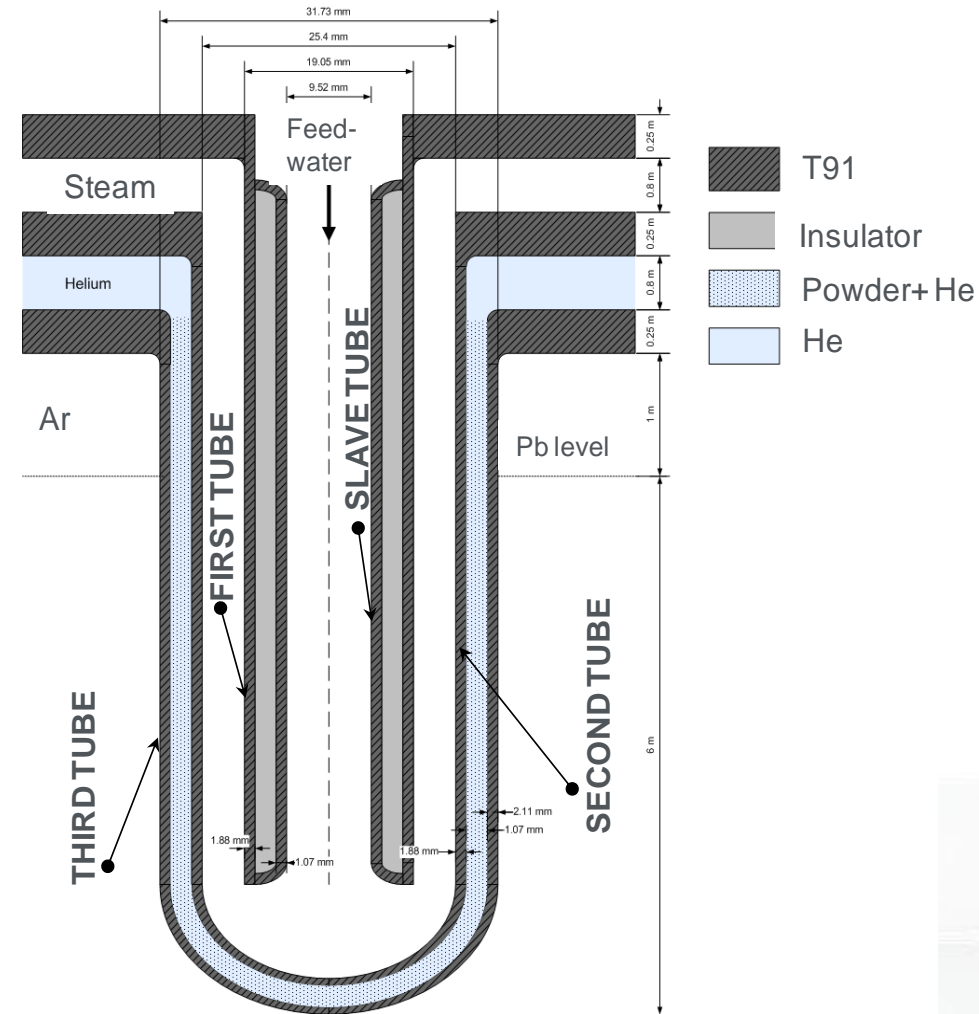
L'unità di Ingegneria Sperimentale possiede le risorse strumentali ed i software di analisi per condurre le attività tecnico-scientifiche del PAR 2008-2009 relative al nucleare sostenibile di IV generazione.

- ➔ Laboratorio per la termo-fluidodinamica dei metalli liquidi
- ➔ Sviluppo tecnologie per sistemi LFR e SFR
- ➔ Sviluppo di materiali innovativi per sistemi di IV generazione
- ➔ Tecnologie chimiche per sistemi LFR e SFR
- ➔ validazione di modelli avanzati per la progettazione di reattori di IV generazione



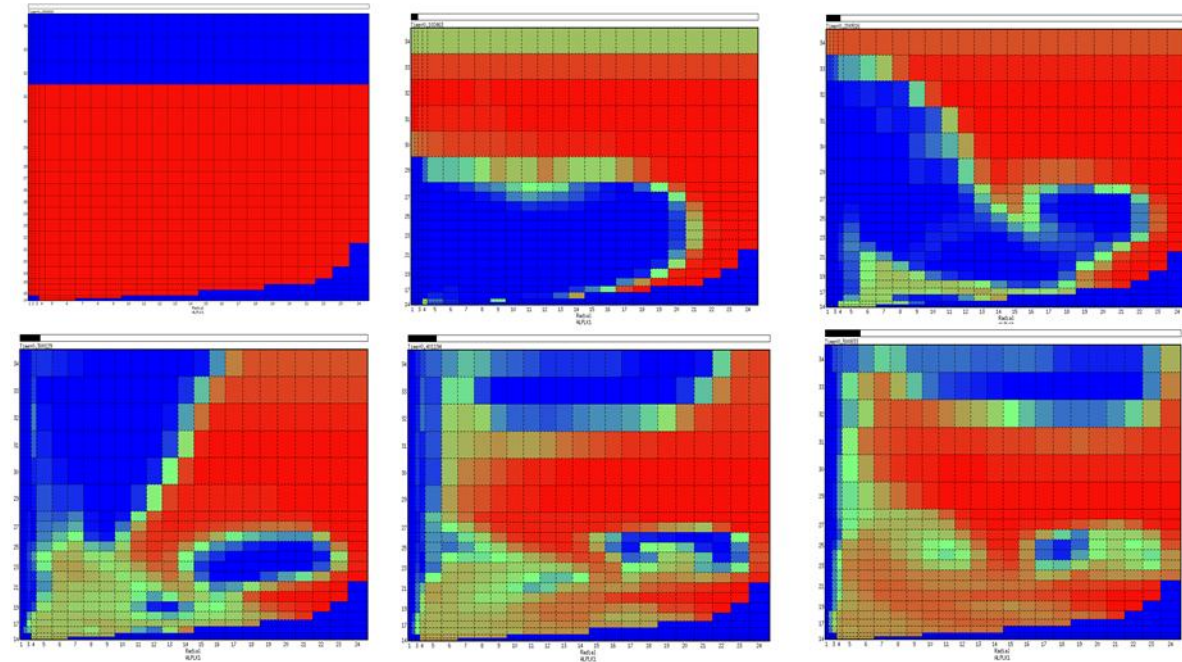
Definizione, progettazione e prima implementazione di un laboratorio di misura per la caratterizzazione termo-fluidodinamica dei metalli liquidi

- Collaborazione con HZDR per la definizione, progettazione, fornitura e installazione di un misuratore di portata ad induzione elettromagnetica, non intrusivo (contactless)
- Implementazione cluster di calcolo ad elevate prestazioni per esecuzione di simulazioni numeriche di fluidodinamica computazione.
- Studi relativi a GV prototipici per il DEMO-LFR (GV con tubi a baionetta a doppia parte con interposto gap in polvere conduttiva operante con acqua a 180 bar). Progettazione e realizzazione di una facility sperimentale (TxP) per la caratterizzazione termo-meccanica delle polveri proposte per il gap del GV.



Investigazione analitico - sperimentale dell'interazione piombo - acqua in supporto alla caratterizzazione di generatori di vapore per sistemi LFR.

- Implementazione di attività sperimentali e numeriche per comprendere i fenomeni fisici, prevedere le possibili conseguenze sull'impianto nucleare e progettare eventuali sistemi e/o contromisure che possano mitigare l'impatto sui sistemi coinvolti
- Upgrade impianto LIFUS5. Attualmente sono disponibili sensori veloci di temperatura (70), di pressione (6), ed estensimetri (15) ad elevata temperatura.
- Analisi numeriche di supporto alle prossime campagne sperimentali, (SIMMER-III)



0



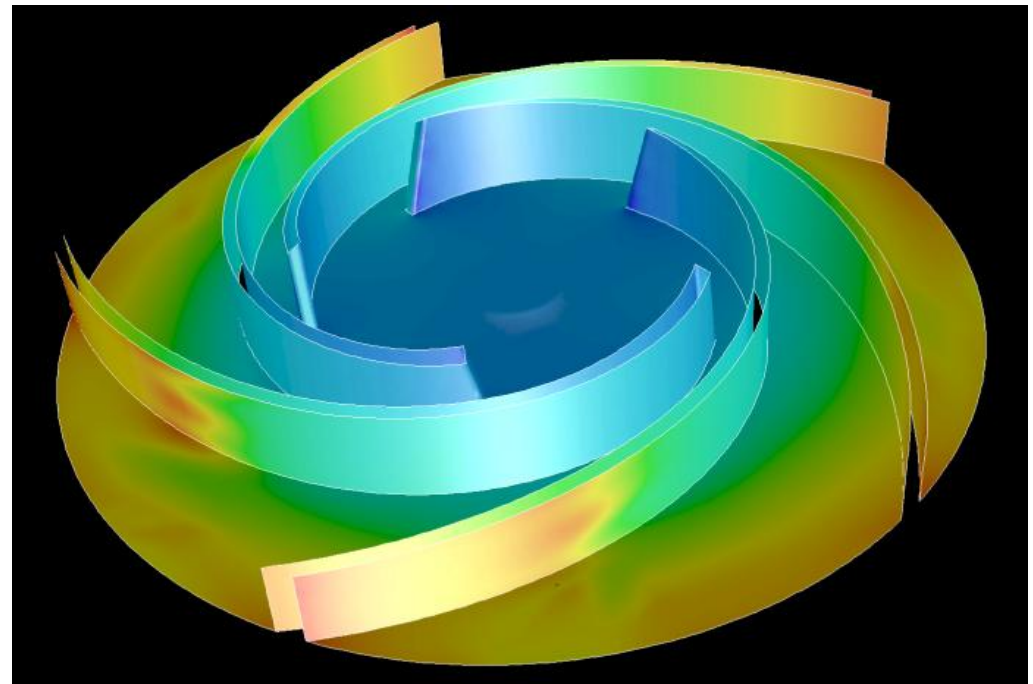
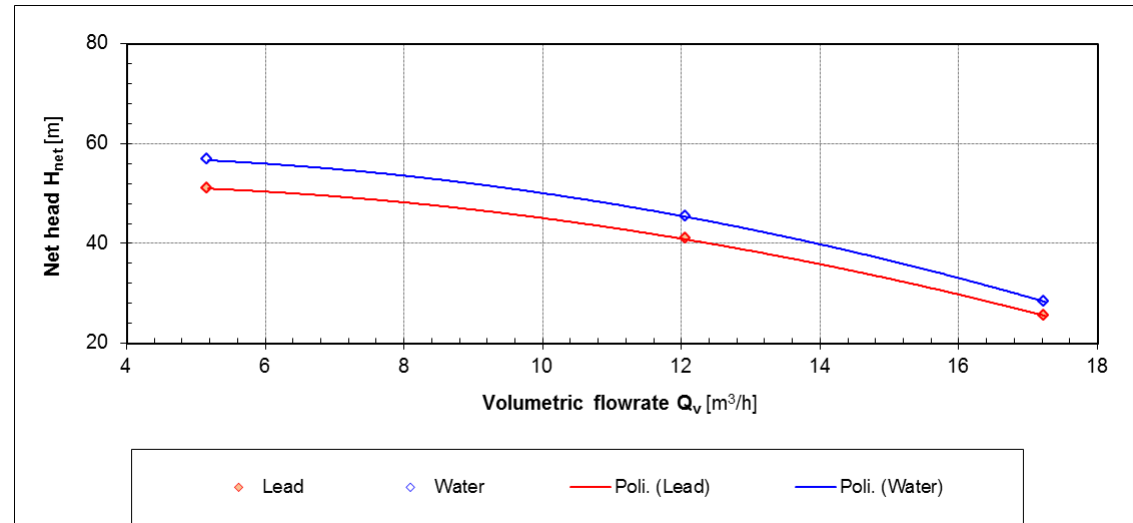
1

Contour-plot della frazione di volume di LBE per la valutazione dell'evoluzione della bolla nel caso di iniezione ad alta pressione

# Sviluppo tecnologie per sistemi LFR e SFR

Realizzazione di un circuito a metallo liquido per la qualifica componenti (Pompa Centrifuga) e materiali strutturali per sistemi LFR (HELENA)

- Revisione concettuale dell'impianto HELENA (HS, HX, Chemistry Control System).
- Riprogettazione del circuito secondario ad acqua in pressione (100 bar).
- Analisi termoidraulica del circuito primario e secondario, simulando i transitori operazionali e definendo le procedure di avvio ed esercizio dell'impianto.
- Acquisizione di componenti di impianto (aeroterma da 250 kW, strumentazione, serbatoio di stoccaggio) e pompa di circolazione.
- Pompa di circolazione di tipo centrifugo con girante in acciaio e ricoprimento in tantalio (CVD).



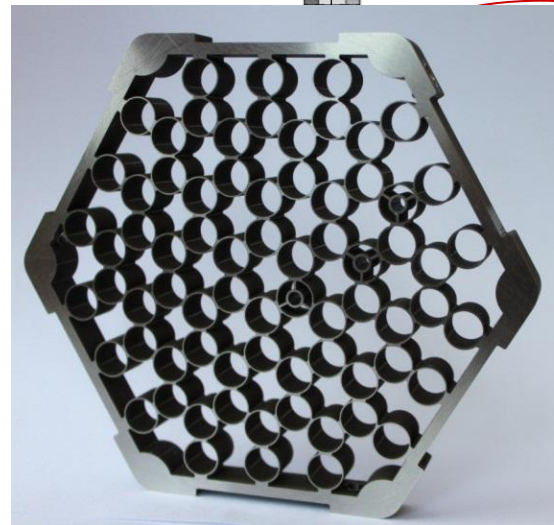
# Sviluppo tecnologie per sistemi LFR e SFR

Qualifica sperimentale di un prototipo di DHR da 800 kW, per sistemi LFR

- Upgrade sezione di prova ICE, impianto CIRCE (scambiatore ad aria 40 kW).
- Analisi numerica di pre-test per verificare il corretto accoppiamento fra DHR e scambiatore di calore di emergenza
- Analisi di post-test sui risultati sperimentali preliminari resi disponibili durante lo scorso PAR, supportando quindi la definizione e implementazione della nuova strumentazione da installare nella sezione di prova.
- Riparazione e upgrade sorgente termica da 800 kW, per la caratterizzazione del comportamento termoidraulico di un fuel bundle operante in un sistema a piscina refrigerato a metallo liquido, durante il normale esercizio e durante la simulazione dei transitori operazionali ed incidentali.



Upper



Lower sp



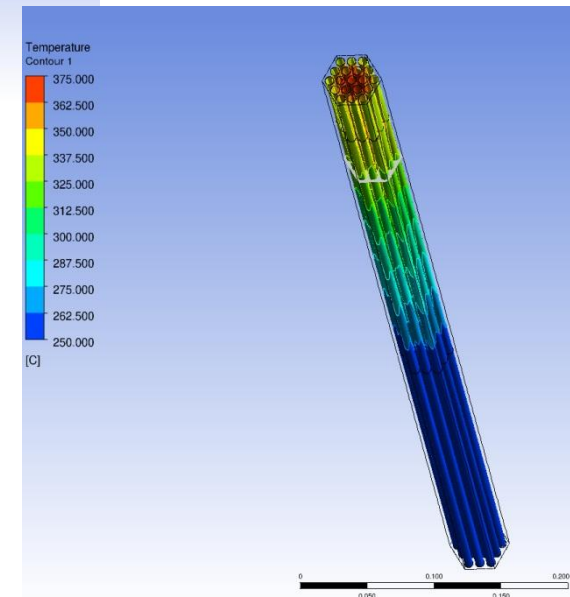
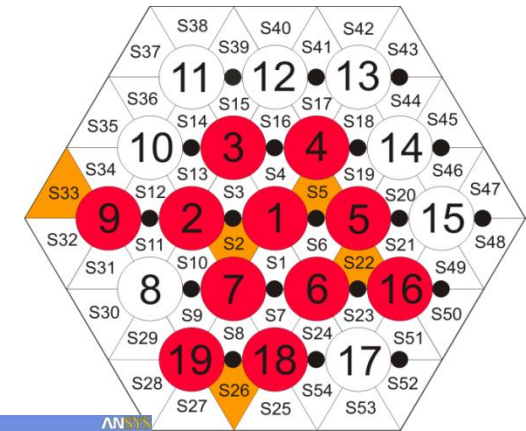
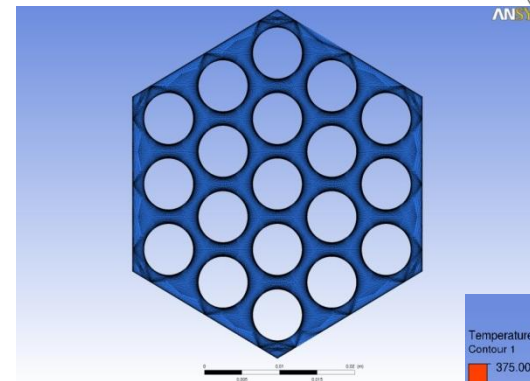
A  
B-B (1:2)



# Sviluppo tecnologie per sistemi LFR e SFR

Progettazione e realizzazione di un pin bundle per la caratterizzazione dello scambio termico in regime di convezione mista o circolazione naturale in sistemi LFR

- Progettazione di una sorgente termica da 250 kW da installare sull'impianto NACIE, per supportare l'analisi termoidraulica di un fuel pin bundle prototipico refrigerato a metallo liquido.
- Modellazione numerica del bundle al fine di valutare lo scambio termico convettivo nei sottocanali attraverso simulazioni CFD
- Progettazione di uno scambiatore di calore da 250 kW, alimentato ad acqua in pressione (16 bar).
- Rassegna di letteratura sulla termo-fluidodinamica di dettaglio dei bundle refrigerati a metallo liquido.
- Sviluppo modello termoidraulico semplificato dell'intero circuito NACIE con il nuovo bundle, modellando anche la circolazione assistita con iniezione di gas

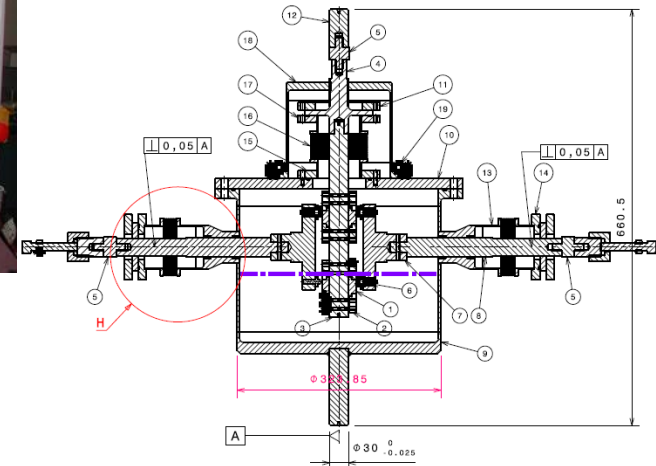






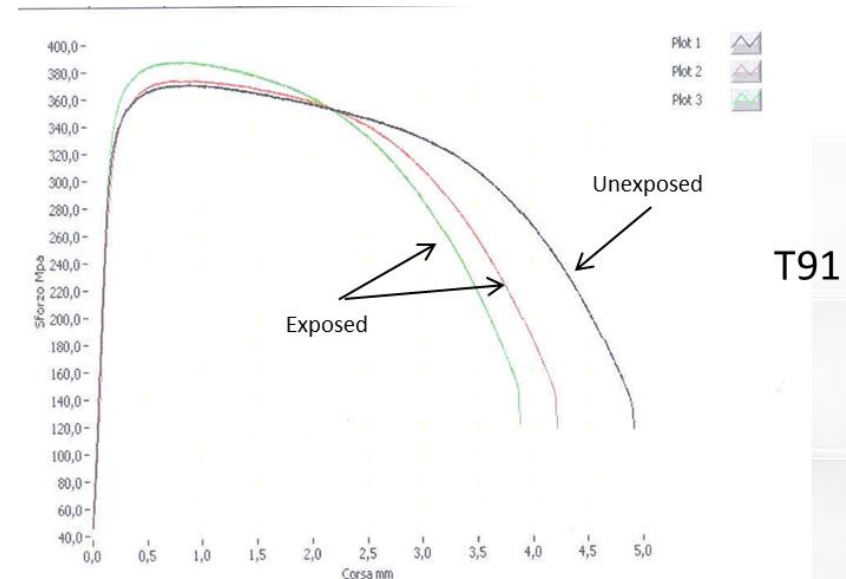
## Implementazione laboratori per prove termo-meccaniche su materiali innovativi

- Acquisizione di nuove attrezzature di laboratorio e certificazione di quelle già esistenti, in sinergia con quanto stabilito nella European Energy Research Alliance on Nuclear Materials (EERA), e a completano delle attività di ricerca e sviluppo inserite nei programmi di ricerca europei MATTER e GETMAT (facility sperimentale fretting)



## Caratterizzazione fuori pila di materiali strutturali

- Test su campioni non irraggiati, in sinergia con il progetto LEXUR II (GETMAT), che si ripropone di effettuare test di base (trazione, creep, corrosione) su materiali strutturali irraggiati.
- Prove “fuori pila” condotte su campioni pre-esposti in piombo fluente a 500 C e 1 m/s per circa 2000 ore.
- Materiali strutturali testati : AISI 316 LN, ODS 9Cr, ODS 12Cr. I test sono stati realizzati in un forno ad alta temperatura appositamente realizzato.



## Studio e sviluppo di materiali ceramici compositi

- Sviluppo di processi di fabbricazione per la messa a punto di compositi a matrice ceramica a fibra lunga per la realizzazione di componenti nucleari. Mediante tecnica CVI “Chemical Vapour Infiltration”, e PIP “Polymer Infiltration Pyrolysis”, si sono realizzati pannelli in composito a matrice ceramica, da cui sono stati ottenuti dei provini per la successiva caratterizzazione fisico-meccanica.



## Caratterizzazione di materiali e componenti mediante tecniche di diffusione neutronica

- Realizzazione di una campagna di prove diagnostiche neutroniche per caratterizzare la microstruttura di acciai ferritico/martensitici con e senza rinforzo ODS in funzione dei trattamenti termomeccanici e della composizione del materiale di partenza.
- Ottimizzazione dei metodi di analisi dei risultati ottenuti.

## Studio degli effetti strutturali caratteristici dei transitori termici in reattori SFR e LFR

- Trattazione sui criteri di danno tipici di reattori nucleari e dei modelli costitutivi.
- Simulazione agli elementi finiti (CAST3M) del comportamento strutturale di alcuni componenti (vessel). Le analisi condotte in campo non lineare mostrano un comportamento del tutto diverso a seconda degli acciai modellati (es. ratcheting per componenti in AISI 316).

Sviluppo e caratterizzazione di metodiche di cleaning per strutture operanti in metallo liquido pesante e gestione dei residui liquidi e solidi derivanti.

- Nell'ambito dell'attività sono state analizzate e confrontate le metodiche di cleaning per strutture operanti in metallo liquido pesante e in sodio (SFR/LFR).

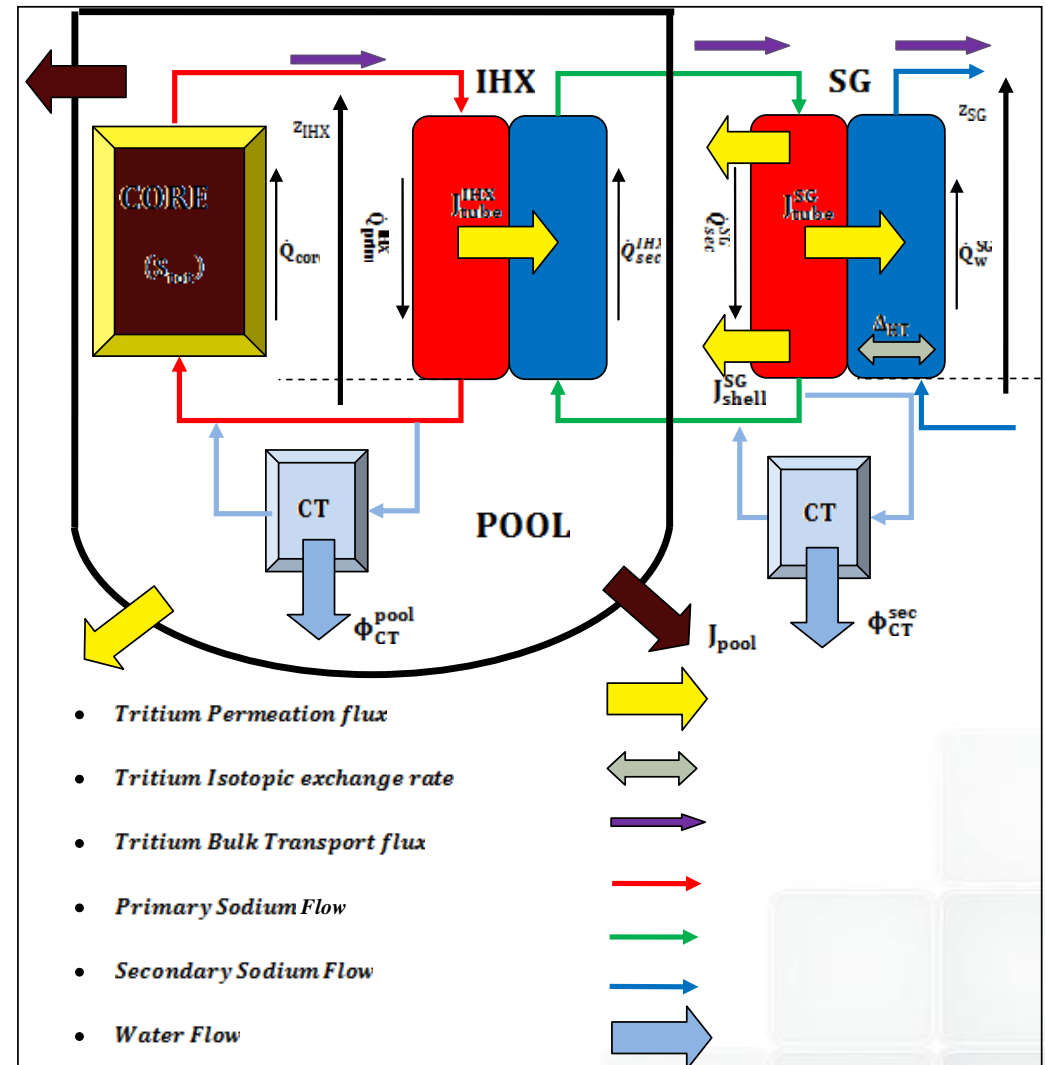
## Controllo della chimica dei metalli liquidi

- Progettazione del sistema di monitoraggio e controllo dell'ossigeno nell'impianto HELENA.
- Rispetto all'opzione ad elevato tenore di ossigeno ( $10^{-4} - 10^{-6}$  wt%) che permette la passivazione dei materiali strutturali operanti in piombo, si vuole studiare il comportamento a corrosione/erosione dei materiali strutturali senza alcuna passivazione ( $< 10^{-8}$  wt%), inibendo l'ossidazione e operando i materiali in condizione di dissoluzione in metallo liquido.

Step	Operation	Goal
HLM purification in the storage tank	Ar/H <sub>2</sub> bubbling, 3%	First O lowering
Mechanical filtering during loop filling	PORAL® 20mm mechanical filter	Eventual slags filtration
HLM purification-maintenance	Ar/H <sub>2</sub> bubbling, 3%, continuous, cold leg	Large pollution prevention
Oxygen gettinging	Adsorption trapping in bypass line, continuous	10 <sup>-8</sup> wt% reaching

Caratterizzazione delle barriere alla permeazione del trizio attraverso i materiali metallici

- Sviluppo di un codice di calcolo in linguaggio MATLAB (SFR-TPC), per valutare i rilasci di trizio in ambiente e gli inventari di trizio all'interno dei reattori SFR.
- Analisi delle tecniche di anti permeazione del trizio, mediante rivestimento (o coating) dei tubi degli scambiatori di calore (IHX e/o GV) e inserimento di trappole fredde (o cold traps) nei rami freddi dei circuiti primari e secondari.
- L'analisi condotta con l'utilizzo del codice SFR-TPC su un reattore di tipologia "a vasca" denominato PFBR (Prototype Fast Breeder Reactor), ha mostrato che il rilascio ottenuto non costituisce un elevato rischio radiologico purché si adotti un opportuno set di misure mitigative per il trasporto di trizio (cold traps e coating).

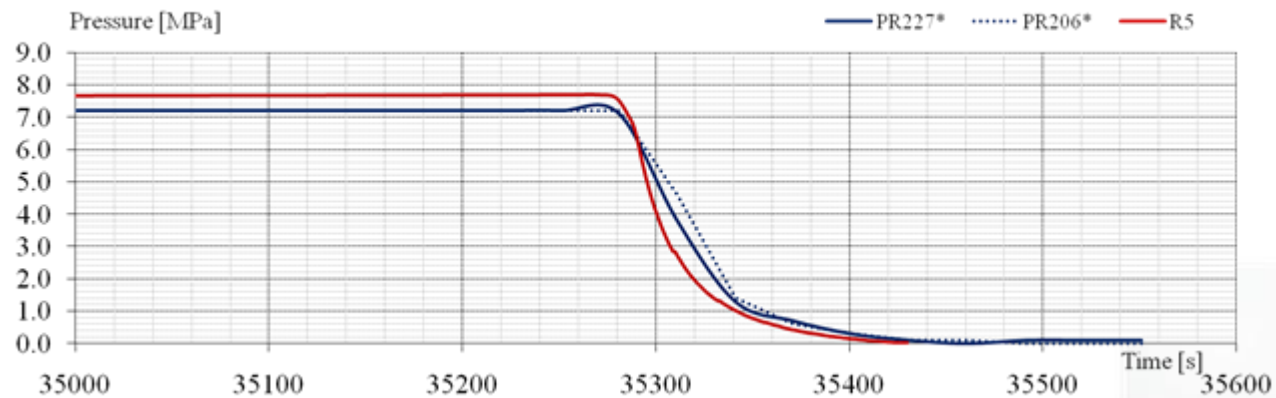
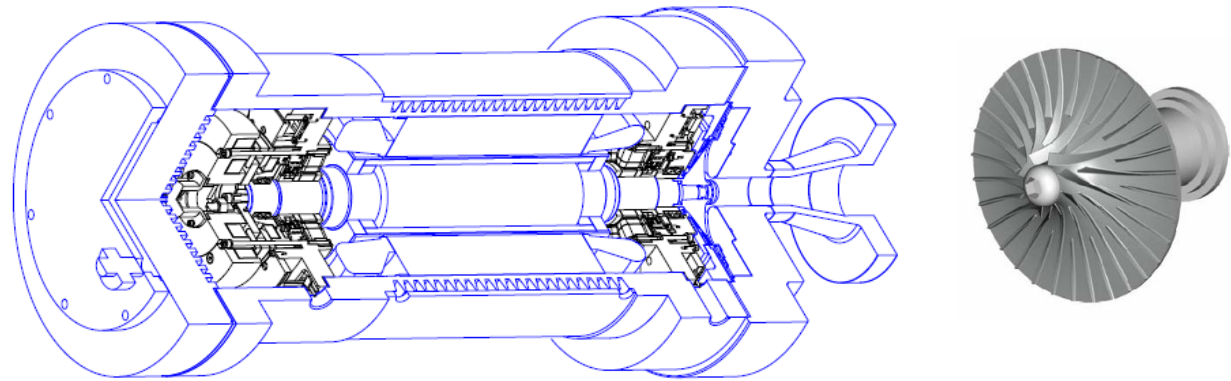


# Sviluppo e validazione di modelli avanzati per la progettazione di reattori di IV generazione

Validazione del codice RELAP5 mediante dati sperimentali dell'impianto HEFUS-3 (VHTR)

Collaborazione con UTFISSM

- Validazione su base sperimentale del codice RELAP5 per applicazioni in ambito GFR/VHTR, mediante campagna di prove sperimentali realizzate sull'impianto ad elio in pressione HEFUS-3.
- A seguito dell'upgrade di impianto, che permette di ottenere portate di elio fino a 1000g/s alla pressione di 70bar, ed una migliore mappatura dei parametri fisici si sono simulati i casi arresto del sistema di circolazione dell'elio e la perdita totale della porta dell'elio a causa della rottura di un componente.
- I risultati sperimentali sono stati utilizzati per l'implementazione del modello di calcolo ai fini di ampliare il database di validazione del RELAP5.



Risultati sperimentali e calcolo REALP5: pressione circuito (fase di depressurizzazione rapida).

## @ 5 linee di ricerca implementate in altrettanti macro-obiettivi

- ➔ Laboratorio per la termo-fluidodinamica dei metalli liquidi (THINS, LEADER)
- ➔ Sviluppo tecnologie per sistemi LFR e SFR (THINS, LEADER)
- ➔ Sviluppo di materiali innovativi per sistemi di IV generazione (EERA, GETMAT, MATTER)
- ➔ Tecnologie chimiche per sistemi LFR e SFR nell'ambito dell'Accordo ENEA-CEA
- ➔ Sviluppo e validazione di modelli avanzati per la progettazione di reattori di IV generazione (Accordo ENEA –CEA)

## @ Principali Collaboratori: CIRTEN, FN

## @ 56 ricercatori/tecnologi/tecnici ENEA coinvolti

## @ 26 Deliverable prodotti

## @ 23 Pubblicazioni su riviste/conferenze internazionali con proceedings