



## WORKSHOP

# ***“REATTORI DI IV GENERAZIONE E SICUREZZA NUCLEARE”***

## **Sistemi Nucleari di IV Generazione. Contributo Universitario Italiano**

**G. Forasassi**

**Centro Ricerche ENEA, Roma, 11 Settembre, 2015**



# CONTENUTI

**Cos'è il CIRTEN**

**Temi di Ricerca**

**Attività tecnico-scientifiche**

# Cos'è il CIRTEN



## Scopi Principali:

1. Promozione della ricerca scientifica e tecnologica nelle università;
2. Mantenimento e aggiornamento delle conoscenze nel settore nucleare
3. Partecipazione a programmi di ricerca a livello internazionale e nazionale (EURATOM ; EU Framework Programs; AdP, ecc.)
4. Collaborazione con Enti di Ricerca e Industria per le attività di R&D



# Attività tecnico-scientifiche



Fra le principali attività e progetti di ricerca svolti in ambito Nazionale ed Internazionale ed attinenti allo sviluppo tecnologico e lo sviluppo delle competenze/E&T dei reattori a metalli liquidi refrigerati a piombo, si ricordano:

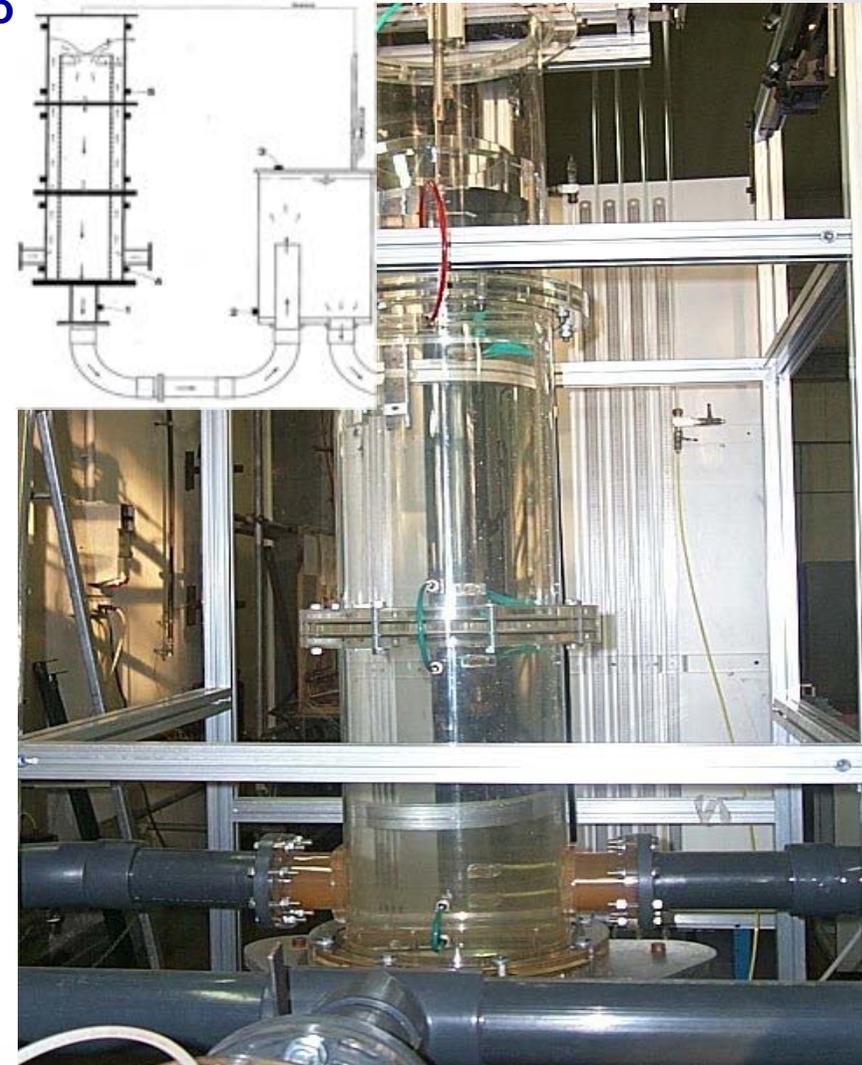
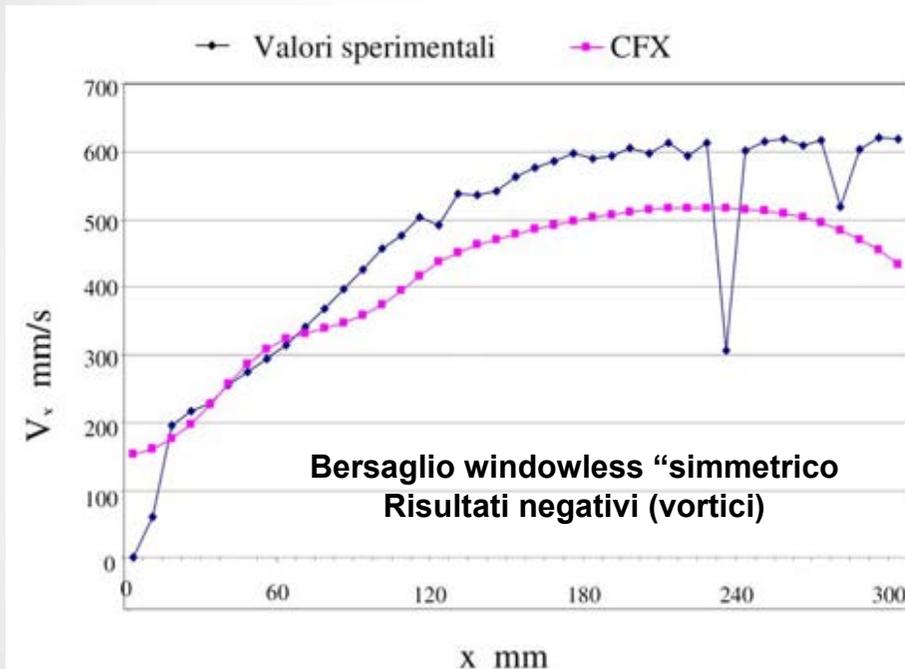
- ✚ 6th FP “ELSY”
- ✚ 7th FP “LEADER”
- ✚ 7th FP “ESNII+”
- ✚ PRIN 2007
- ✚ AdP MSE - ENEA 2007-2008
- ✚ AdP MSE - ENEA 2008-2009 (1° e 2° annualità)
- ✚ PAR 2011
- ✚ PAR 2012
- ✚ PAR 2013
- ✚ PAR 2014

# Attività tecnico-scientifiche



Studio fluidodinamico del bersaglio di spallazione windowless del reattore ADS

Attività svolta da Polito



Misurazione dei profili di velocità (tecnica agli ultrasuoni): i risultati sono stati confrontati con quelli numerici CFD (Fluent e CFX). Attività sviluppata in collaborazione con Ansaldo Nucleare

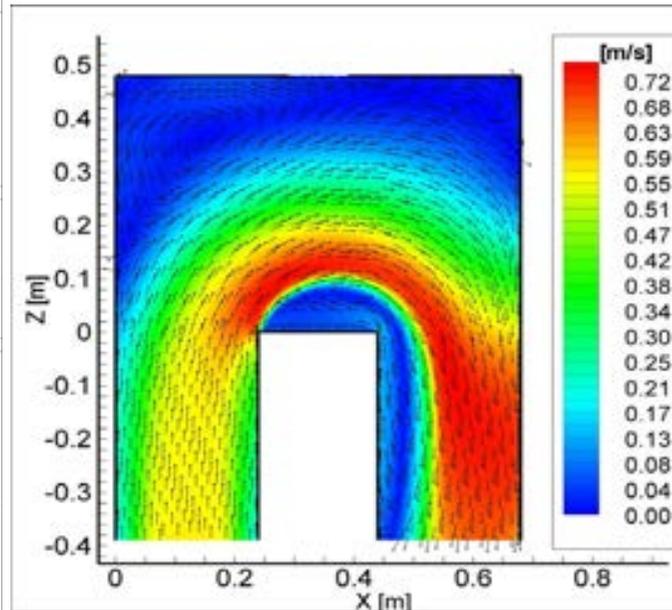
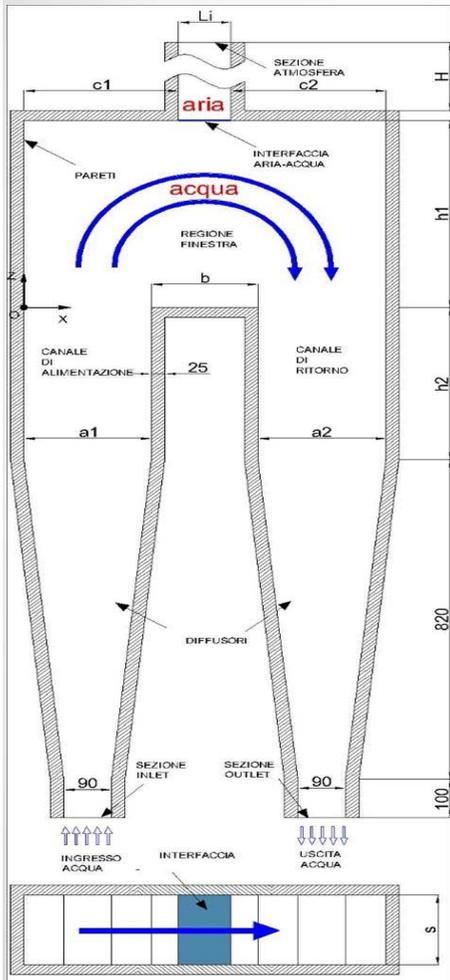
Circuito sperimentale con acqua ( scala 1:1)

# Attività tecnico-scientifiche

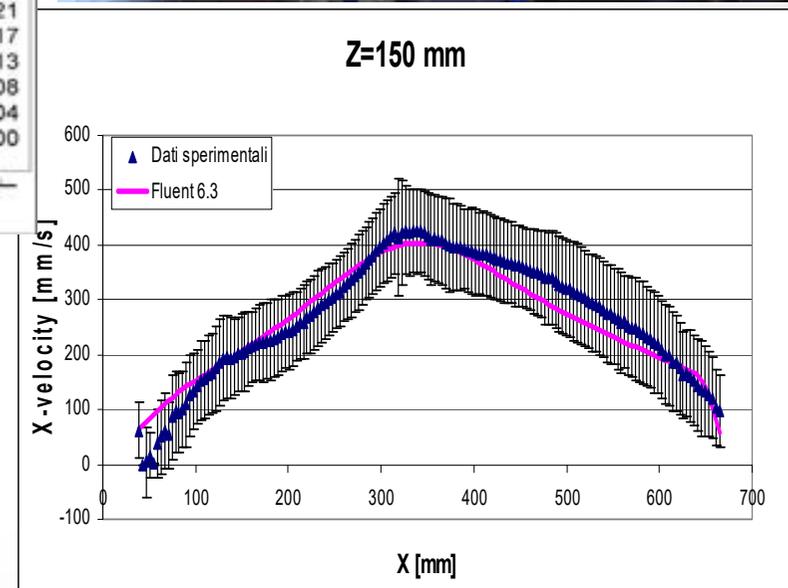


## Studio fluidodinamico del bersaglio di spallazione windowless del reattore ADS

Attività svolta da Polito



“asimmetrico”



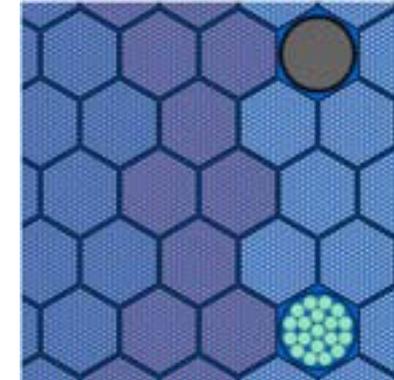
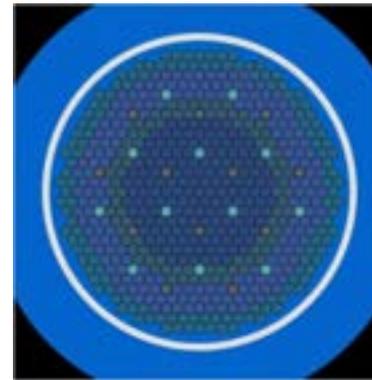
- Campo di velocità con Fluent e confronto con i risultati sperimentali

# Attività tecnico-scientifiche

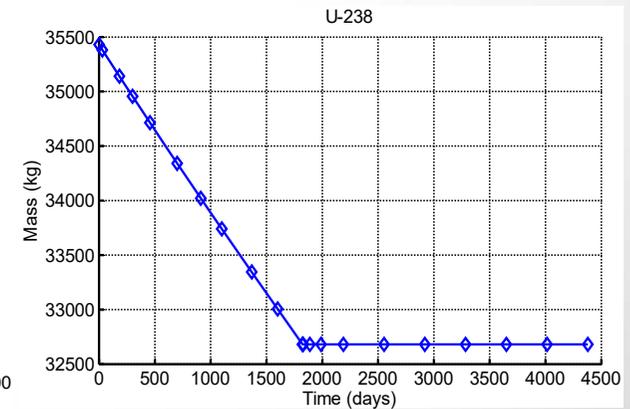
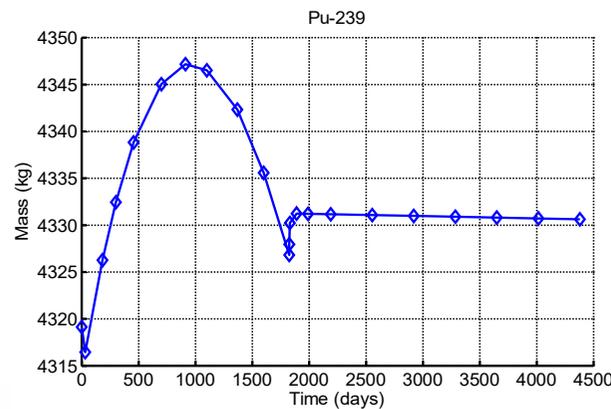
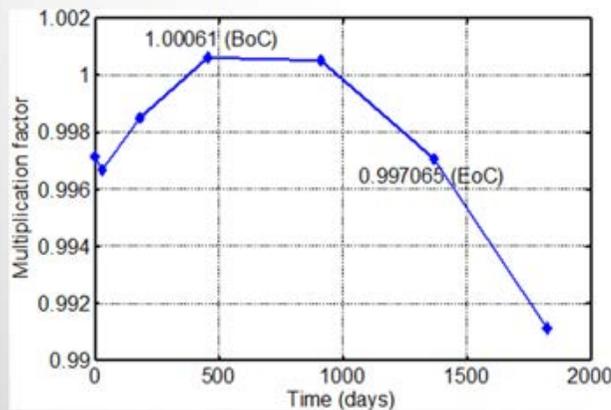


Studi di sostenibilità volti a massimizzare l'uso del combustibile e a minimizzare le scorie nucleari con i sistemi veloci refrigerati a piombo

**Attività POLIMI:** studi di neutronica e di bruciamento del combustibile nucleare del reattore adiabatico ELFR. I risultati riguardano l'evoluzione dei parametri principali del reattore (fattore di moltiplicazione, flusso, spettro energetico e massa dei maggiori nuclidi di interesse) in diversi scenari (5 anni – 10 anni di bruciamento).



Modellazione del nocciolo (codice Monte Carlo SERPENT)



**Evoluzione temporale del coefficiente di moltiplicazione e di alcuni nuclidi durante l'irraggiamento nel nocciolo e il raffreddamento nell'impianto di riprocessamento.**

# Attività tecnico-scientifiche



Modellazione e analisi del comportamento integrale di barretta di combustibile per il progetto di reattori a piombo innovativi

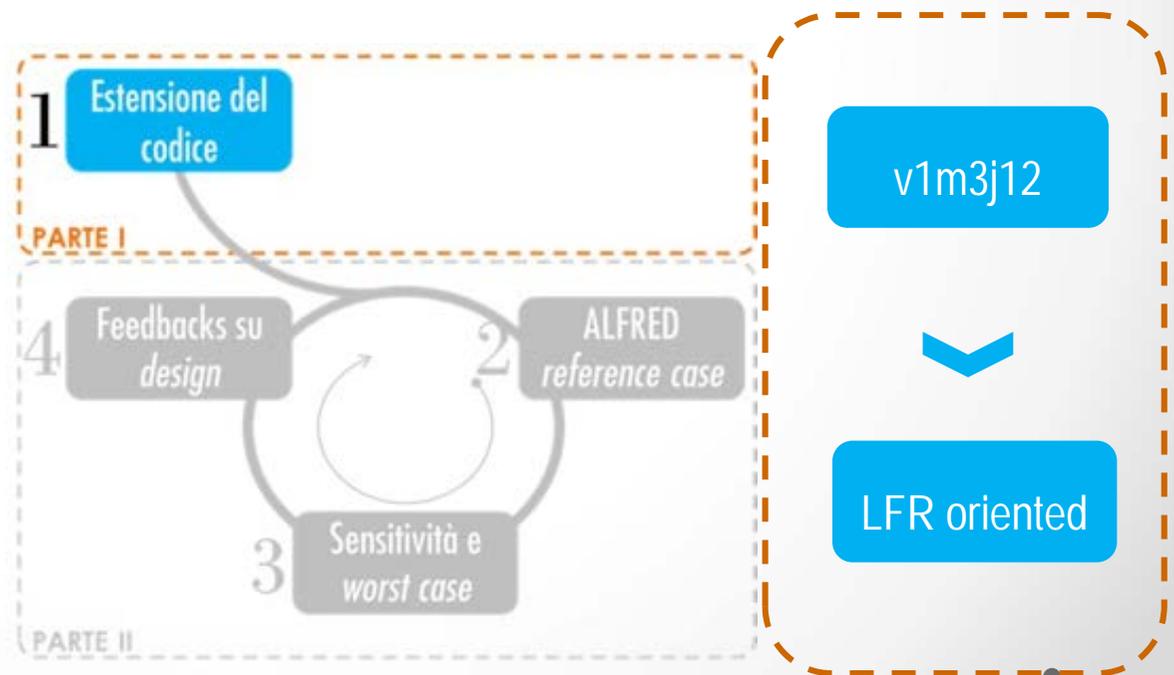
Supporto alla progettazione del combustibile nucleare per reattori veloci



## Attività POLIMI:

Revisione critica dei principali modelli fenomenologici (piombo e AIM1)

Estensione del codice di fuel pin performance TRANSURANUS per l'analisi dei reattori veloci a piombo (es. ALFRED)



# Attività tecnico-scientifiche



Modellazione e analisi del comportamento integrale di barretta di combustibile per il progetto di reattori a piombo innovativi



1. Modello di **ridistribuzione del plutonio**
2. Modello per il rilascio di gas di fissione in transitori di potenza (**burst release**)

1. Modellazione della barretta di combustibile di ALFRED



2. **Verifica** del rispetto dei limiti di *design* preliminari

3. **Analisi di sensitività** su alcuni aspetti significativi

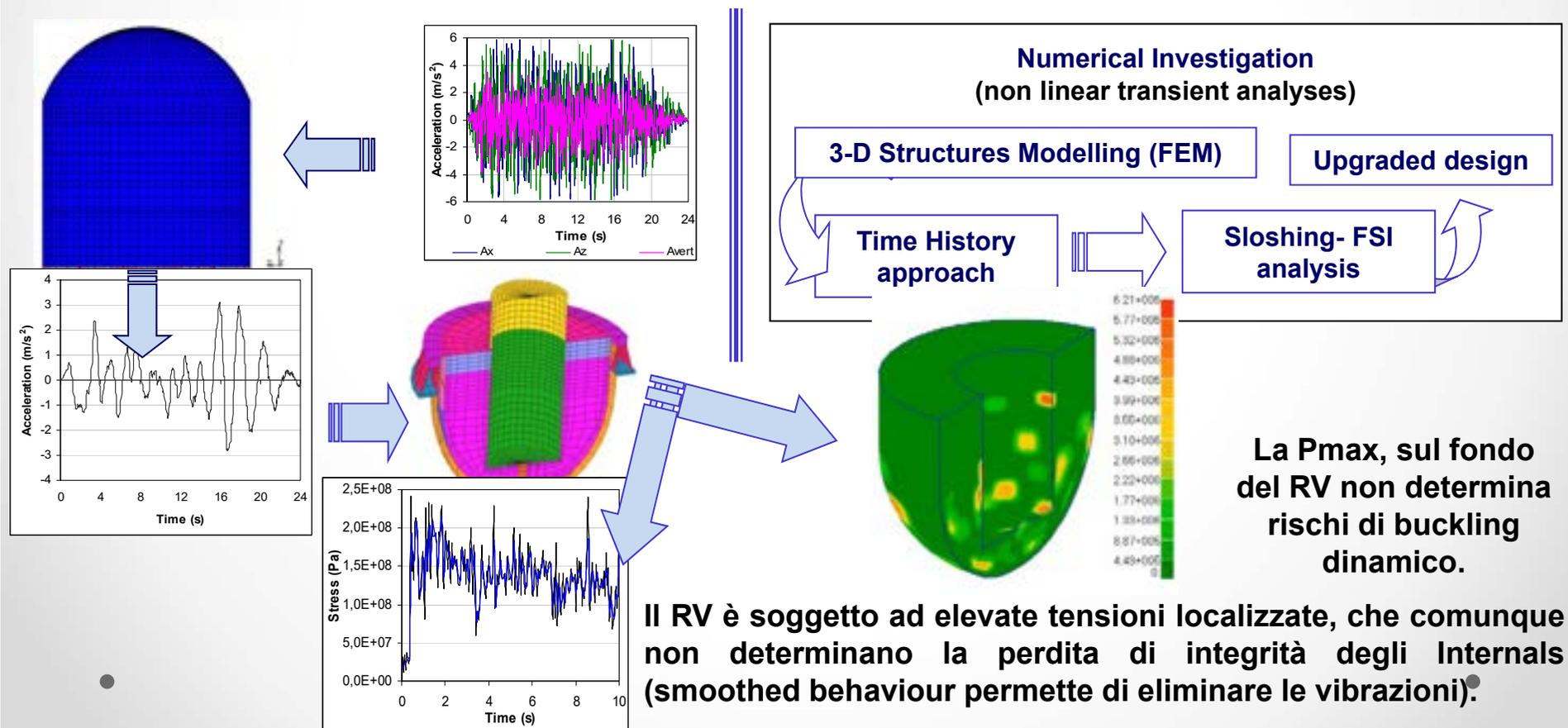
4. **Ottimizzazione** di alcuni parametri di progetto della barretta di combustibile

# Attività tecnico-scientifiche



Analisi di interazione fluido-struttura nei reattori LFR-UniPi

La propagazione delle sollecitazioni dinamiche dal contenimento esterno al RV, sebbene isolato (riduzione delle accelerazioni fino al 40%), determina tensioni localizzati di Von Mises ( $\sigma_{max}$ ) che eccedono il limite massimo ammissibile: si propongono modifiche del progetto o layout.



# Attività tecnico-scientifiche

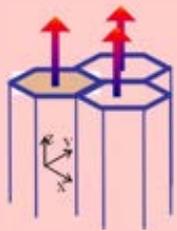


Il codice FRENETIC

Attività svolta da Polito

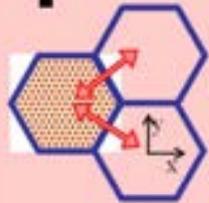
## Thermal Hydraulic model

Full core molten Pb  
TH analysis



1D axial analysis  
along each closed  
assembly (z)

+



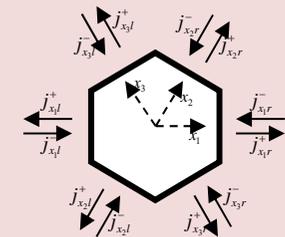
2D inter-assembly  
(xy) coupling  
(weak)

**coupled**

## NEutronic model

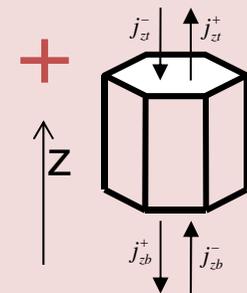
3D fast neutron dynamics

2D conformal  
mapping applied to  
hexagonal  
geometry in **xy**



**New**

Extension of the nodal  
scheme in **z** direction



**New**

Transient:

- prompt neutron (theta method)
- delayed neutron precursors (direct integration)



**3D coupled analysis of the reactor core dynamics**

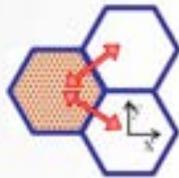
# Attività tecnico-scientifiche



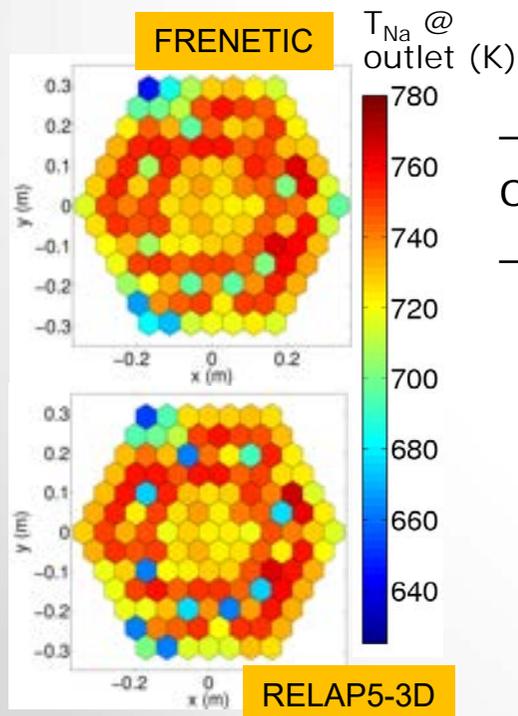
## TH module validation

Attività svolta da Polito

1D axial analysis: validation against data from ICE test section @ Brasimone (2012)



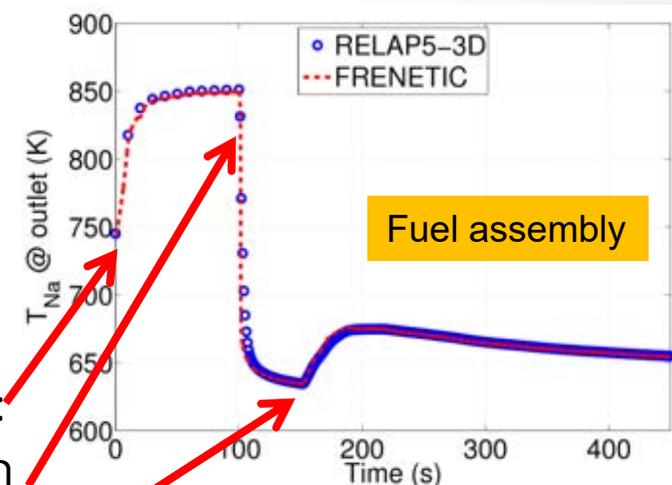
2D inter-assembly coupling: benchmark against RELAP5-3D on EBR-II simplified geometry (2013)



- Steady state nominal operating conditions
- Coupled assemblies

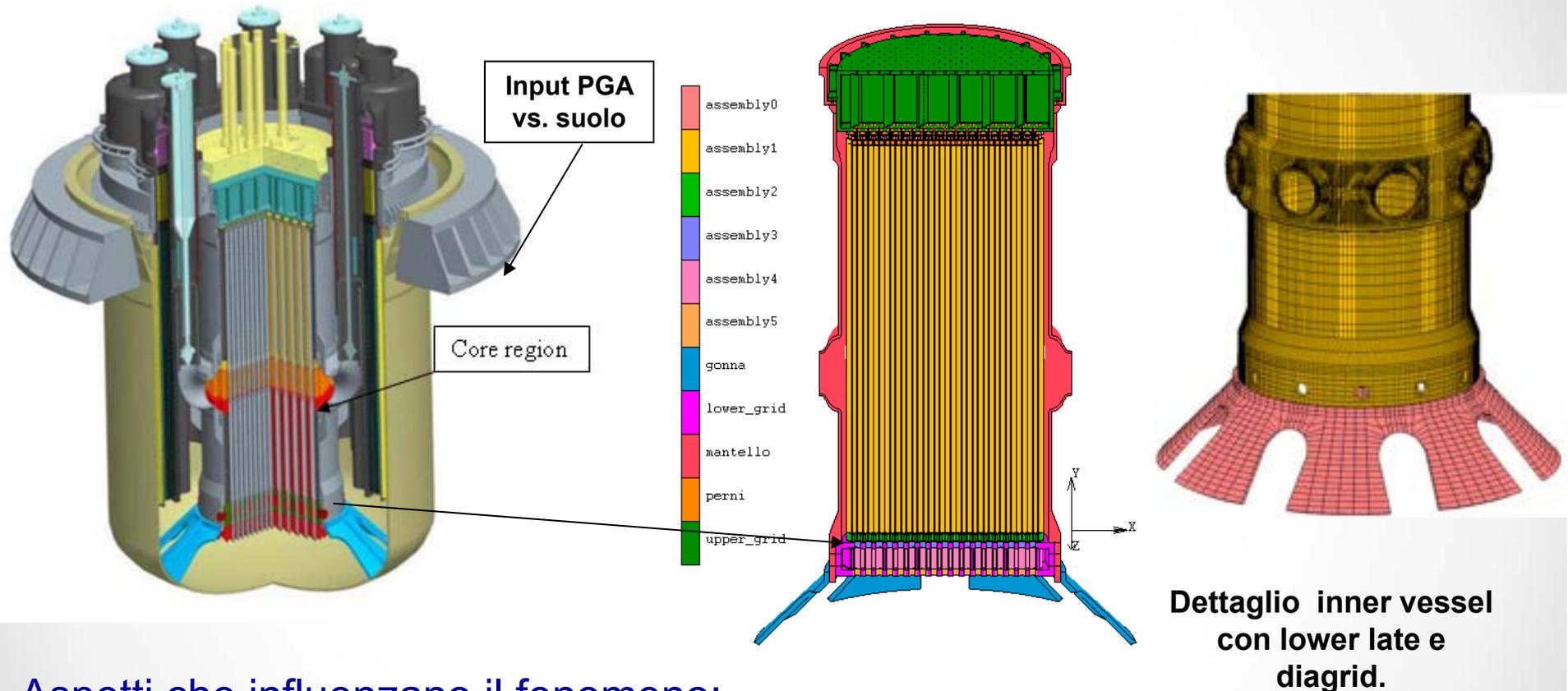
Loss of flow transient:

- Pump#1 coastdown
- SCRAM
- Pump#2 coastdown



# Attività tecnico-scientifiche

## Fenomeno del Core Compaction UniPi



Aspetti che influenzano il fenomeno:

Geometria del reattore;

Deformazione e allineamento assembly;

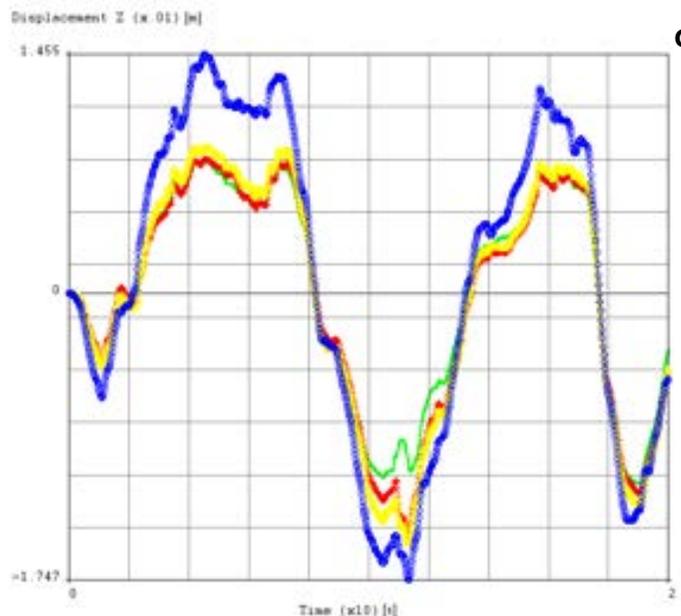
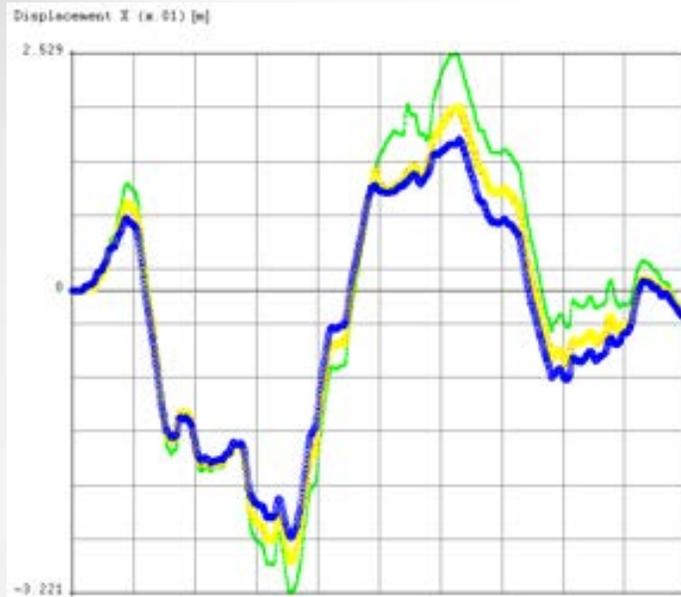
Cond. contorno ed iniziali (es. influenza forze di contatto);

Input PGA .

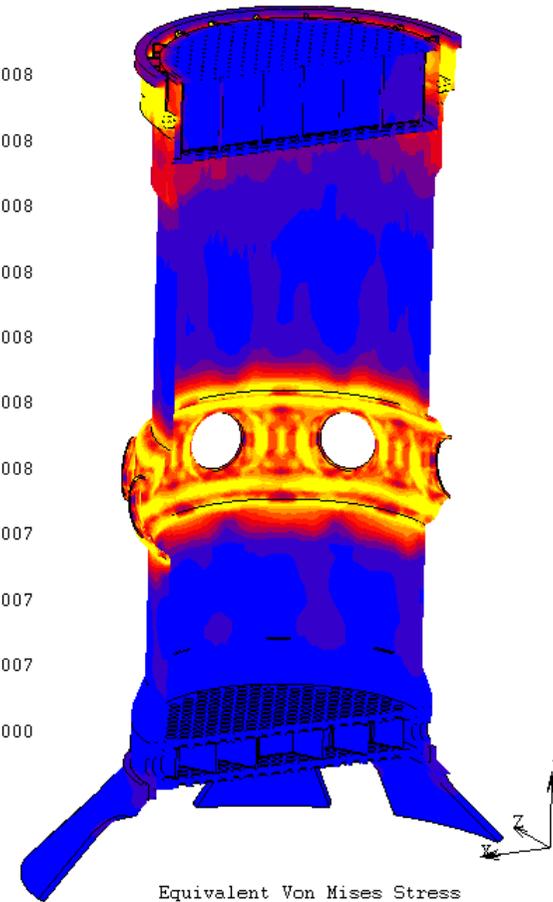
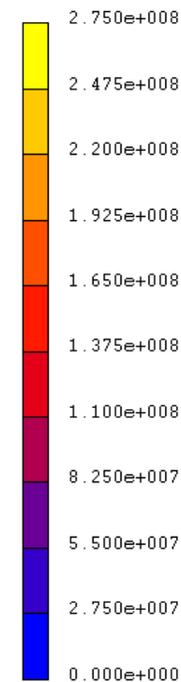
# Attività tecnico-scientifiche



## Fenomeno del Core Compaction - UniPi



**Spostamenti  
orizzontali nel FA**



Le distribuzioni di tensione e spostamenti indicano una deformazione locale nella zona centrale dell'inner vessel.

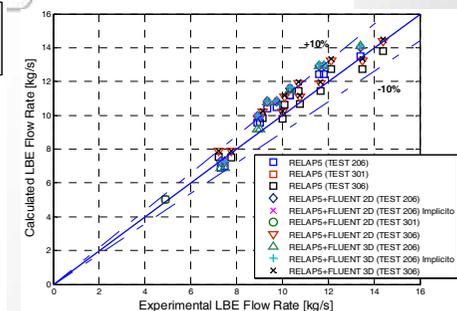
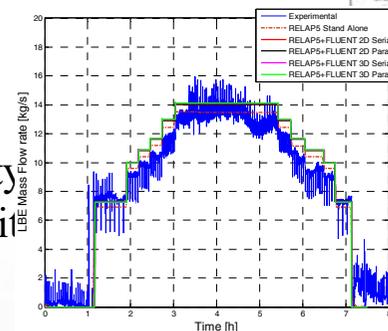
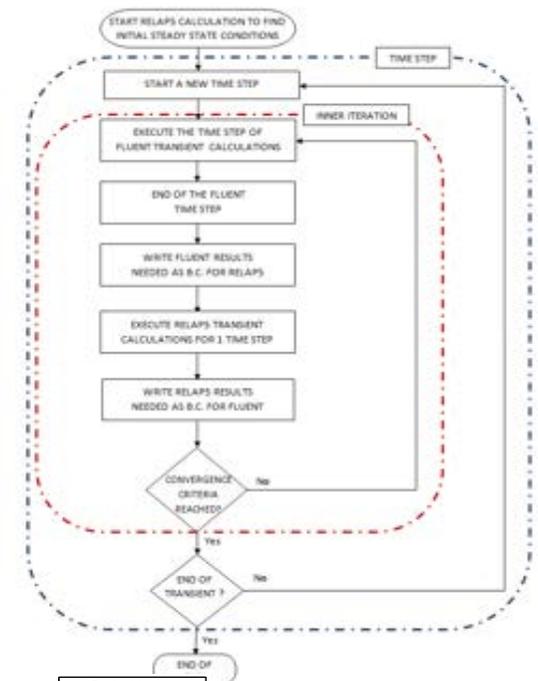
# Attività tecnico-scientifiche



## Validation of the Coupled Calculation between RELAP5 STH Code and Ansys FLUENT CFD Code

- A coupled STH/CFD tool is developed at DICI-UniPi since 2012 in the framework of the cooperation CIRTEN/ENEA. In the report **CERSE-UNIPI RL 1536/2014** the last developments of the coupling methodology are exposed:

- Coupled simulation (Explicit coupling scheme) of **NC test** and **comparison with experimental data** on test performed on the NACIE facility;
- **Optimization of the coupling scheme** in order to improve the stability of the model. To achieve this aim an implicit coupling scheme was developed and implemented in the developed tool → **reduced CPU time** (larger time step), **increased stability**.
- Parallelization of the User Defined Function (UDF) realized for the Fluent code to receive b.c. data from RELAP5 and to send b.c. data to RELAP5 for each CFD time step → allows the use of **FLUENT parallel solver** reducing the CPU time.
- Coupled simulations (Implicit coupling scheme + Fluent parallel solver) of **FC test** and **comparison with experimental data** on test performed on the NACIE facility and with **previous simulations** performed using the explicit coupling scheme and the Fluent serial solver.

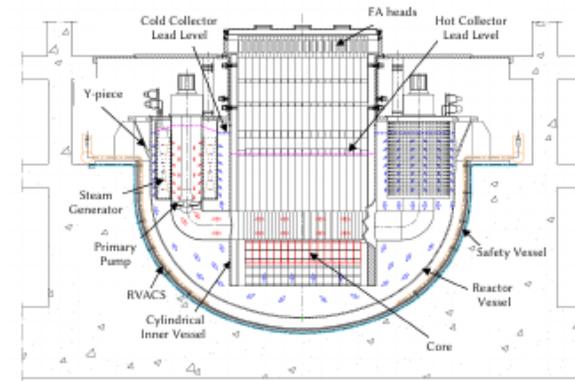
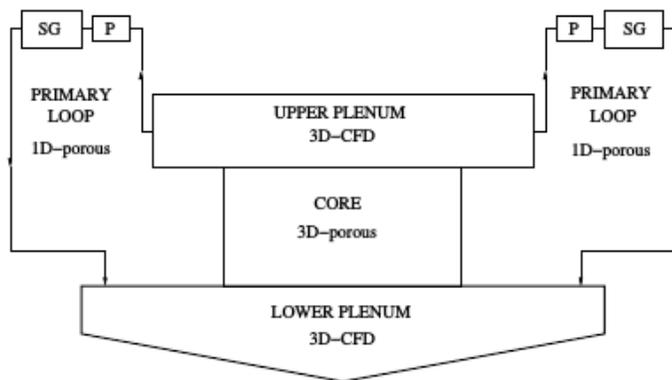


# Attività tecnico-scientifiche



## Sviluppo Piattaforma SALOME LFR

### Piattaforma di calcolo ENEA-UNIBO (per LFR)



nascita -> SALOME + FEMLCORE + integrazione + codice di sistema  
sviluppo -> SALOME +

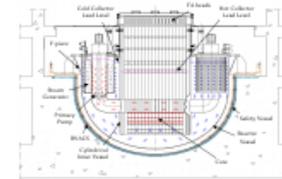
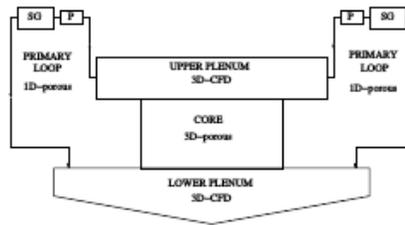
	scala 1	scala 2
multifisica	CFD 3D	sistema 1D
termoidraulica	fluido-struttura	modello due fluidi
strutturale	interfaccia	reticolo assembly
multifase (VOF)	sez urto medie	
neutronica (DRAGON-DONJON)		

# Attività tecnico-scientifiche



## Sviluppo Piattaforma SALOME LFR

### Piattaforma termoidraulica 3D (scala 1)



### PIATTAFORMA SALOME termoidraulica 3D

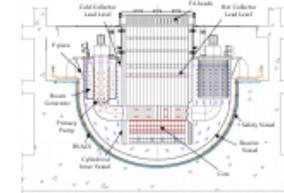
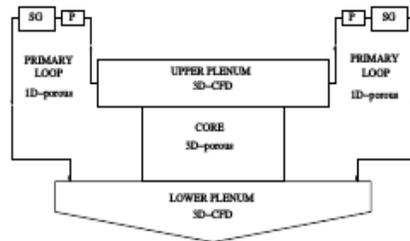
moduli	SOFTW	i/o format	Integrazione
SALOME-GEOM	CAD	MED, UNV	LIBMED
SALOME-SMESH	MESH GEN	MED, UNV	LIBMED
FEMLCORE 3D-CFD	fluidi	MED, HDF5	LIBMED
FEMLCORE 3D-porous	fluidi (core)	MED, HDF5	LIBMED
SATURNE	CFD	CEA-EDF, VARI	LIBMED
LIBMESH	CFD	VARI	LIBMED
PARAVIEW	VIS	VARI	LIBMED
TRIO_U	CFD	CEA-EDF VARI	LIBMED
NEPTUNE	BIFASE	CEA-EDF VARI	LIBMED

# Attività tecnico-scientifiche



## Sviluppo Piattaforma SALOME LFR

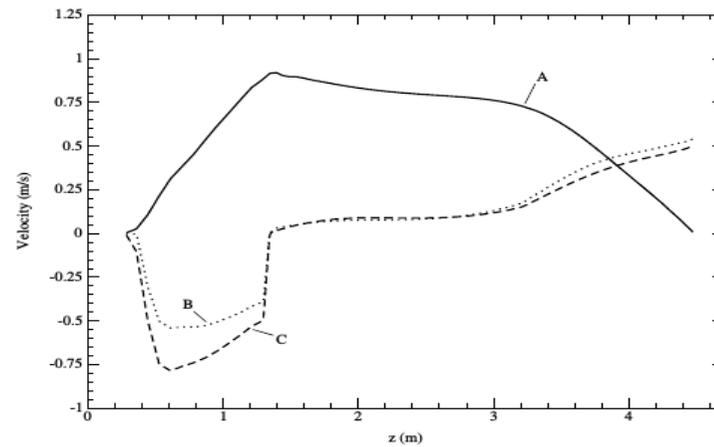
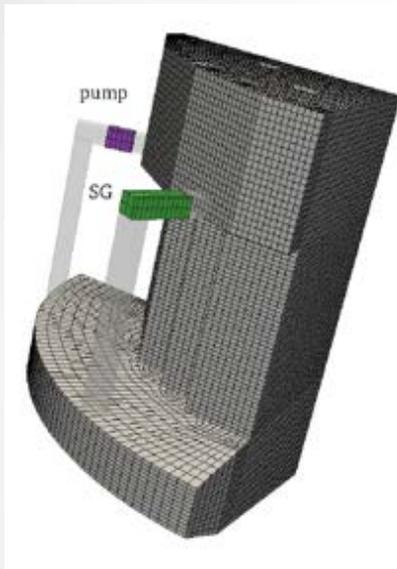
### Piattaforma termoidraulica 1D (sistema)



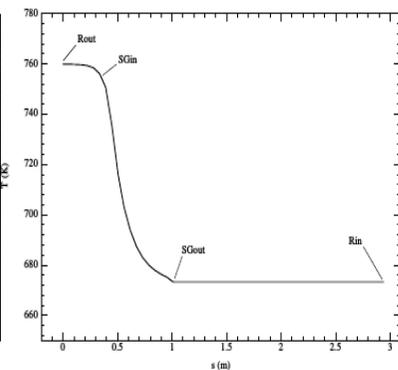
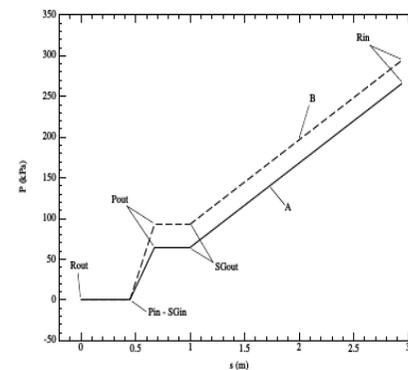
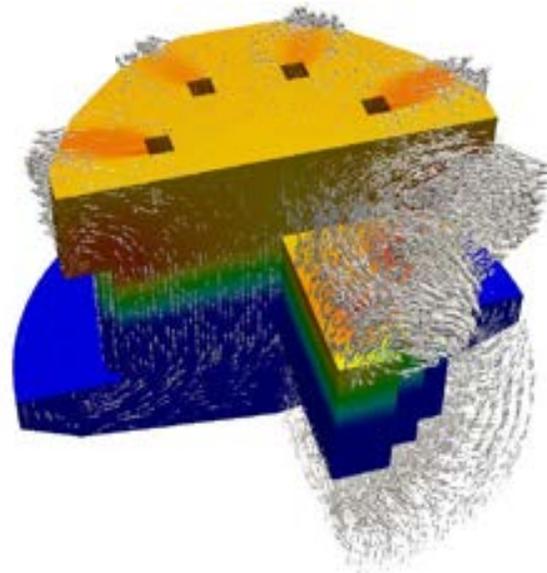
### PIATTAFORMA SALOME termoidraulica 1D

moduli	SOFTW	i/o format	Integrazione
SATURNE 1D	fluidi	CEA-EDF, VARI	LIBMED
SALOME-YACS	sistema	VARI	python
FEMLCORE 1D-CFD	fluidi	MED,HDF5	LIBMED
FEMLCORE 1D-porous	fluidi (core)	MED,HDF5	LIBMED
LIBMESH 1D-poroso	fluidi (primario)	VARI	LIBMED
PARAVIEW	VIS	VARI	LIBMED
SALOME-GUITHARE	CAD	CEA-EDF VARI	L-CALCIUM
CATHARE	sistema	CEA-EDF VARI	L-CALCIUM

# Integrazione FEMLCORE(3D)- LIBMESH (1D) in SALOME



reattore



primario

# Attività tecnico-scientifiche



## ALFRED assembly optimization study with the subchannel code ANTEO- UniBo

### ANTEO

From the Italian ANalisi Termoidraulica Ottimizzata

It is a subchannel code, originally developed by ENEA, for liquid metal cooled fuel pin bundles

Achieved Objectives:

- 1 enhanced geometric description capabilities (hexagonal, square, guide tubes, etc ..)
- 2 improved modeling for pressure drops and thermal mixing calculation
- 3 capabilities for predicting clad circumferential temperature distributions and bypass flow
- 4 definition of an optimized assembly configuration for ALFRED

Results for  
pressure drops  
for bare,  
gridded and  
wired bundles

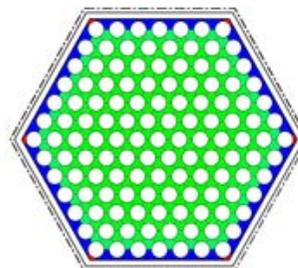
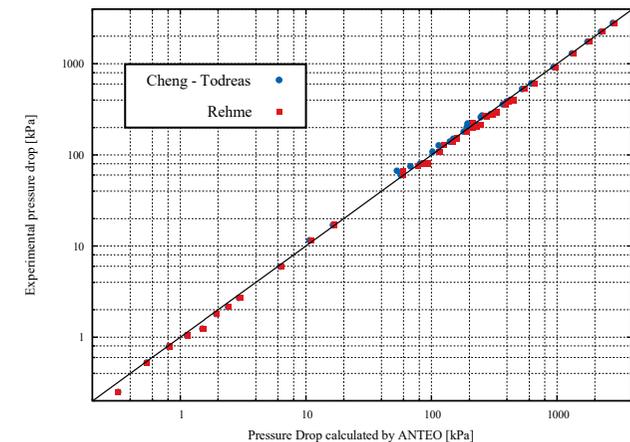


Figure : Old configuration

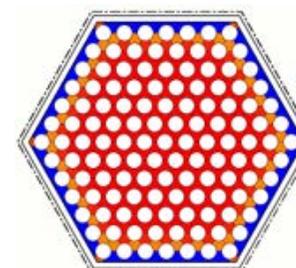


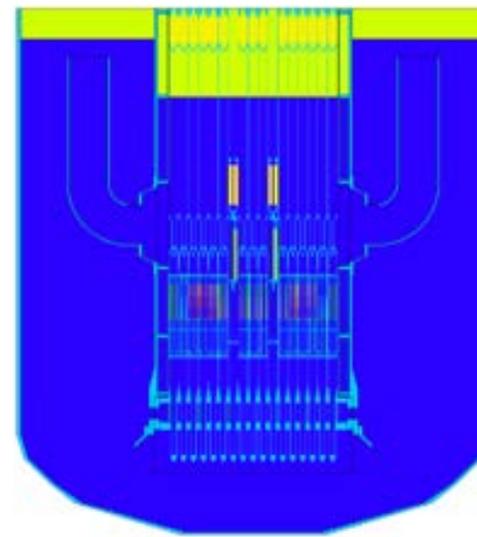
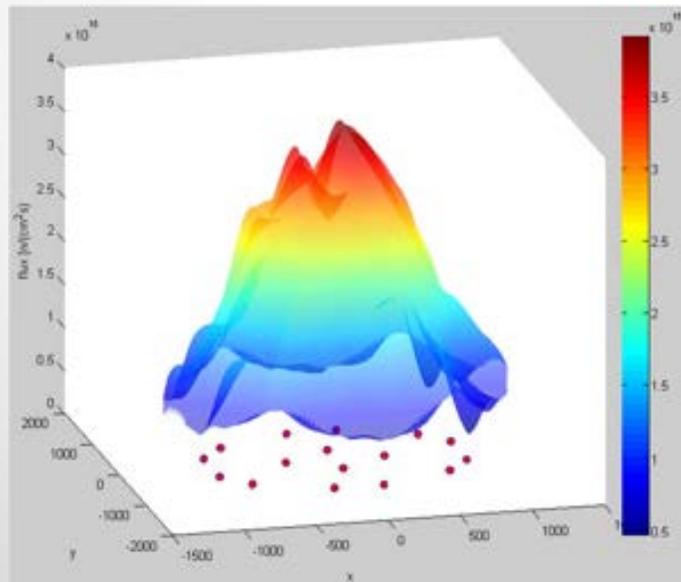
Figure : New configuration

# Attività tecnico-scientifiche



## Studio di fattibilità di sonde per la misura dei flussi neutronici di un reattore LFR. Concettualizzazione di test sperimentali preliminari sul reattore TAPIRO- UniRoma

Come prevedibile, spostandosi radialmente ed assialmente dal centro del reattore, il flusso neutronico si riduce in entità producendo una riduzione della popolazione neutronica che potrebbe potenzialmente interagire con il rivelatore, causando quindi una riduzione del segnale elettrico potenzialmente ottenibile. **Sul piano mediano di nocciolo si ha un andamento ‘a cupola’, con riduzione del valore medio del flusso, dal centro verso la periferia, di un ordine di grandezza.**

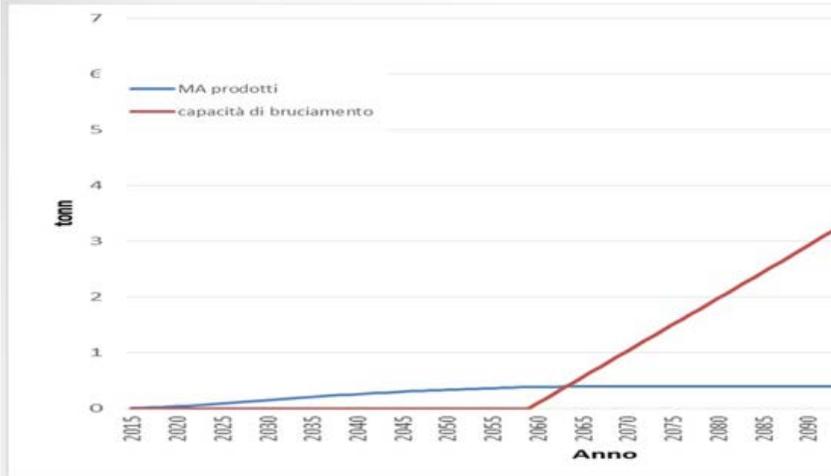


Vista in sezione,  
piano xz, del  
reattore ALFRED in  
MCNPX



# Attività tecnico-scientifiche

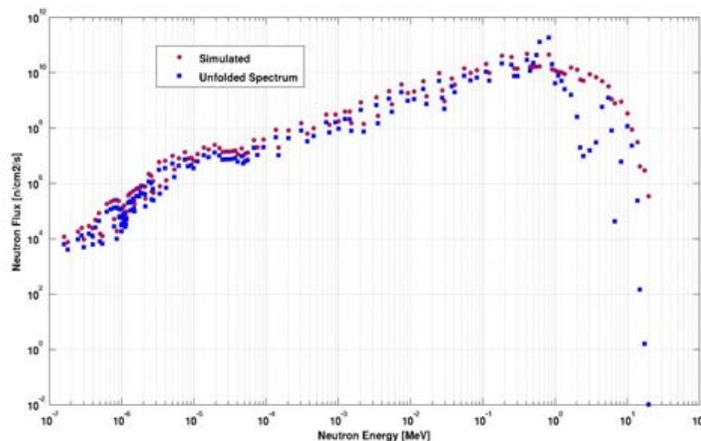
## Studi di sostenibilità volti a massimizzare l'uso del combustibile e a minimizzare le scorie nucleari con i sistemi veloci refrigerati a piombo



Hp: installazione ADS tipo EFIT in Romania tra 2060 e 2120.

La Romania potrebbe importare MA diventando centro di riferimento per lo smaltimento di MA prodotti anche in regioni limitrofe al costo di 1.3 M€/kg di MA.

## Progettazione di una facility in Pb per misure di trasporto neutronico nel reattore TAPIRO



**confronto** tra lo spettro ottenuto dai **dati sperimentali** e da simulazione **MCNPX**.

Flusso totale per 2 kW di potenza alla distanza data:

$$\text{MCNPX} = 5\text{E}+11 \text{ n/cm}^2/\text{s}$$

$$\text{da procedura di unfolding} = 5.8\text{E}+11 \text{ n/cm}^2/\text{s}.$$

Buon accordo tra dati simulati e sperimentali



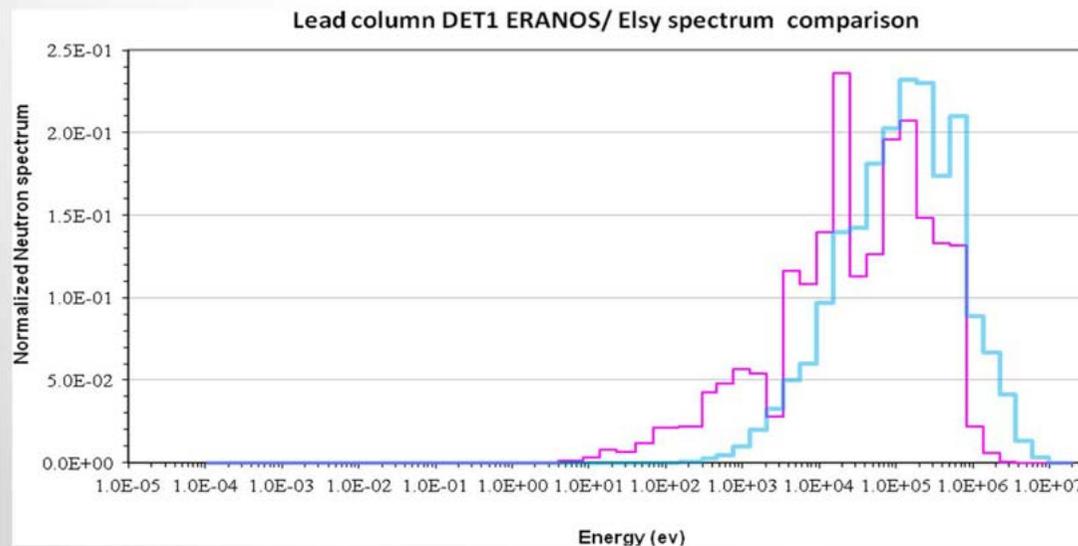
# Attività tecnico-scientifiche



## Valutazione della rappresentatività di esperimenti di trasporto neutronico in piombo in una facility collocata nel vano colonna termica del reattore TAPIRO

Il presente lavoro è incentrato sull'analisi di sensitività e correlazione effettuata secondo le procedure di calcolo ERANOS GPT in relazione al reattore di riferimento LFR ELSY ed all'impianto sperimentale (colonna di piombo) del TAPIRO (TLF).

**I risultati ottenuti in questo studio preliminare sono incoraggianti poiché indicano un significativo grado di correlazione tra le quantità integrali considerate in questi due sistemi.**



confronto tra spettri neutronici nei sistemi TAPIRO (DET1) ed ELSY in corrispondenza delle posizioni considerate per il calcolo dei coefficienti di correlazione. Si possono notare notevoli differenze tra i due profili, anche se nella zona veloce si riscontrano delle analogie.