

# CIRTEN



**Consorzio Interuniversitario per la Ricerca Tecnologica Nucleare**

**AdP MSE-ENEA “Ricerca di Sistema Elettrico” PAR 2011**

**Progetto 1.3.1: Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare.**

**G. Forasassi**

**Presidente del Consorzio Interuniversitario CIRTEN**

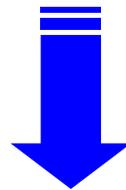
**ENEA sede 28-29 Novembre 2012, Roma.**

# Accordo di Programma MSE-ENEA



## *Il ruolo del CIRTEN:*

**Principale Collaboratore nelle attività di programmazione tecnico-scientifica del PAR 2011-Progetto 1.3.1.**



**LP 1- Studi sul nuovo nucleare in ambito internazionale: 9 doc.**

**LP 2- Studi di sicurezza sugli impianti nucleari: 20 doc.**

**LP 3- Reattori di IV Generazione: 16 doc.**

# Attività tecnico-scientifiche LP 1



**LP1.A2: Studi di Scenario**

**LP1.B1: Analisi incidentali deterministiche e utilizzo di simulatori di impianto a supporto delle verifiche di sicurezza**

**LP1.B2: Accordo con CEA- Prosecuzione collab. nel campo della progettazione impiantistica nucleare**

**LP1.B3: Collaborazioni Internazionali per studi su SMR**

**LP1.C2: Prosecuzione partecipazione a comitati e gruppi internazionali (AIEA , OECD-NEA, GIF, IFNEC ecc.)**

**LP1.C3: Partecipazione allo OECD-Halden Reactor Project**

**LP1.D2: Dati nucleari per la chiusura ciclo del combustibile (NEA, CERN)**

**10 documenti prodotti**

# Attività tecnico-scientifiche LP 2



<b>LP2.A.2: Metodi e codici per analisi di neutronica</b>
<b>LP2.A.3: Piattaforme di calcolo avanzate per la termoidraulica</b>
<b>LP2.A.4: Metodi e codici per l'analisi di incidenti severi</b>
<b>LP2.B.1: Ident. ed analisi di possibili sequenze incidentali severe con possibile rilascio all'ambiente esterno</b>
<b>LP2.B.2: Valutaz. risposta sistemi attivi e passivi a fronte di sequenze incidentali rilevanti ai fini della sicurezza</b>
<b>LP2.B.3: Valutazione del comportamento incidentale di impianti evolutivi (SMR)</b>
<b>LP2.C.1: Proget. simulatori incidentali per sistemi integrati di gestione incidenti nucleari</b>
<b>LP2.C.2: Progettazione di simulatori ingegneristici avanzati per reattori LWR evolutivi</b>
<b>LP2.D.2: Prove sperim. e verifiche analitiche su componenti critici per la simulazione di SMR</b>
<b>LP2.D.3: Sviluppo strumentazione speciale per impianti sperimentali</b>
<b>LP2.D.4: Adeguamento dello SPES2 per prove di sicurezza</b>
<b>LP2.E.1: Performance Assessment di depositi superficiali e geologici per il confinamento di rifiuti radioattivi</b>
<b>LP2.E.2: Monitoraggio dei depositi di rifiuti radioattivi nella fase di sorveglianza istituzionale.</b>
<b>LP2.E.3: Caratterizzazione dei rifiuti radioattivi</b>
<b>LP2.E.4: Tecniche innovative di trattamento, condizionamento e stoccaggio dei rifiuti radioattivi</b>

**20 documenti prodotti**

# Attività tecnico-scientifiche LP 3



**LP3.A1: Sviluppo e validazione modelli di calcolo per la neutronica e la cinetica di nocciolo LFR**

**LP3.A2: Sviluppo e validazione di codici per la termoidraulica di sistemi LFR**

**LP3.A3: Concettualizzazione del DEMO LFR**

**LP3.A4: Reinterpretazione campagne sperimentali TAPIRO in appoggio alla progettazione dei sistemi LFR**

**LP3.C1: Implementazione laboratorio termoidraulica dei metalli liquidi**

**LP3.C3: Qualifica sistema DHR per impianti LFR**

**LP3.C4: Prove e calcoli di scambio termico in regime di circolazione mista: up-grade impianto NACIE**

**LP3.D2: Fuel – Cladding - Coolant Interaction**

**LP3.D3: Rilascio e migrazione dei prodotti di fissione nei sistemi LFR**

**LP3.D4: Analisi scenari incidentali su sistemi LFR**

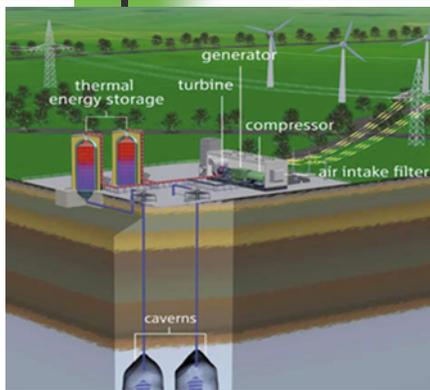
**16 documenti prodotti**

# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011

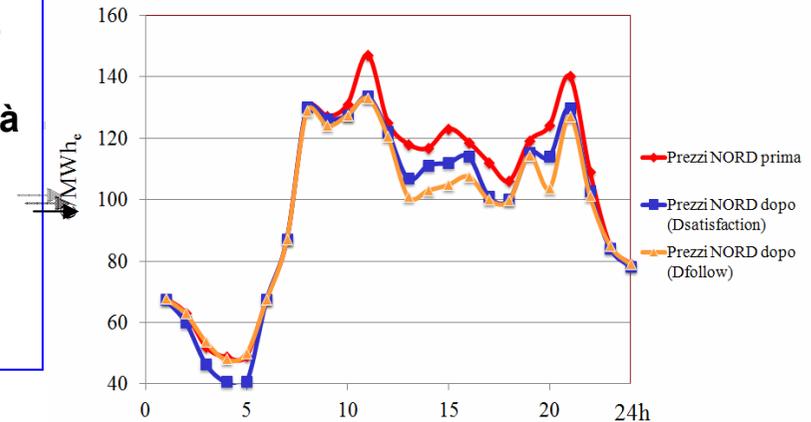


## LP1-Studi sul nuovo nucleare in ambito internazionale

**Collaborazioni Intl. per studi su SMR- CIRTEN POLIMI**



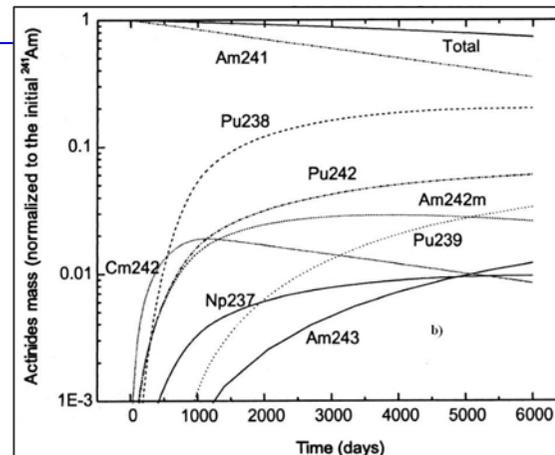
**Studi di Scenario: impatto dell'energia nucleare su sostenibilità ed economicità per varie opzioni di mix energetici, studio delle variabili macroscopiche energetico-ambientali CIRTEN-POLIMI**



**Schema Metodologia INPRO: Principi base, Requisiti e Criteri CIRTEN-POLIMI**



**Dati nucleari per la chiusura ciclo del combustibile: rivisitazione critica e ri-progettazione dell'esperienza di irraggiamento neutronico di campioni di  $^{241}\text{Am}$ , indirizzate verso spettri veloci**



**Prosecuzione partecipazione a comitati e gruppi internazionali (AIEA-SMR platform, SNETP- sustainable nuclear energy TP, Nugenia afferente la Gen. II/III, IFNEC- Int. Framework for Nuclear Energy Cooperation, IGD-TP - depositi geologici ecc.)**

# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011



## LP1-Studi sul nuovo nucleare in ambito internazionale

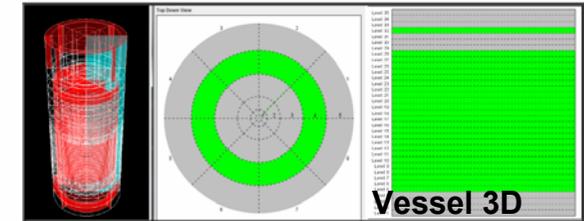
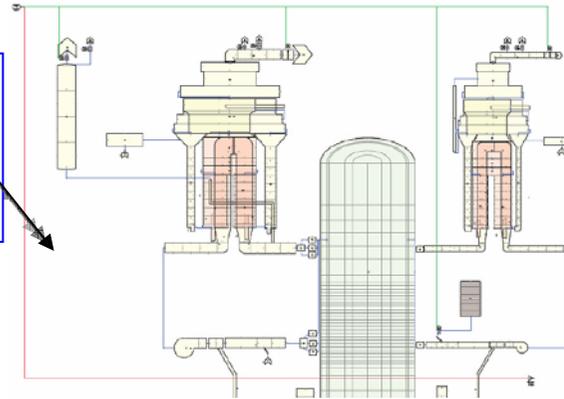
**“Analisi incidentali deterministiche e utilizzo di simulatori di impianto a supporto delle verifiche di sicurezza”**

CIRTEN-UNIPA

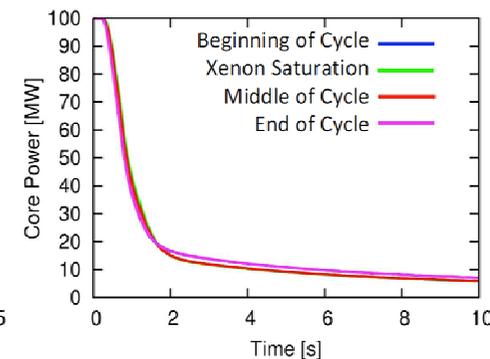
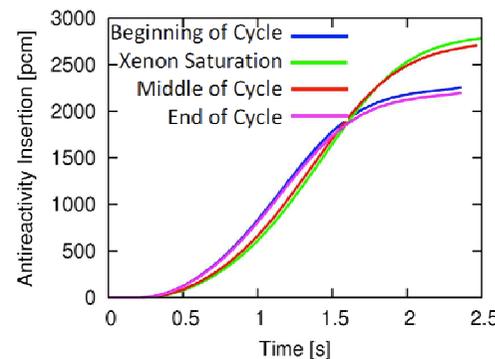
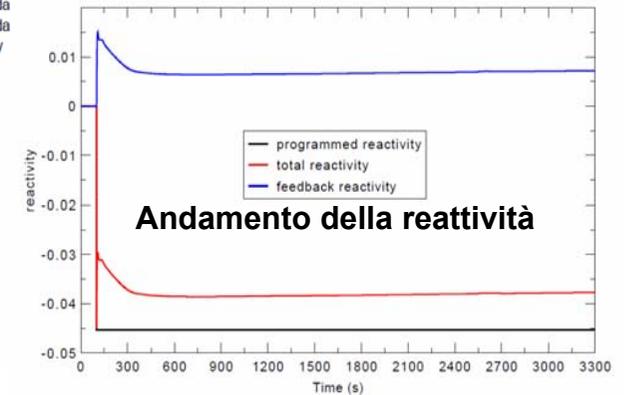
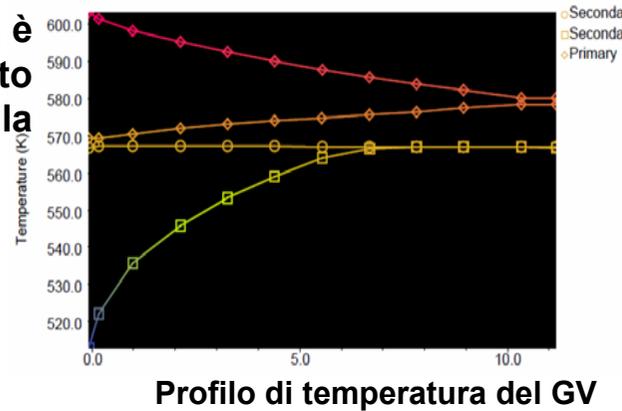
E' stato considerato l'incidente Station Blackout (tipo Fukushima) per un PWR di taglia e caratteristiche simili a un EPR. Il tempo di analisi di 30 min. è quello minimo previsto per l'intervento dei generatori diesel destinati alla mitigazione dello SBO.

**Progettazione neutronica e termofluidodinamica di canali sperimentali di reattori di ricerca**

CIRTEN-UNIBO



**nodalizzazione dettagliata con codice TRACE e sistema di interfaccia SNAP**



Normal Shutdown antireactivity injection Normal Shutdown power transient

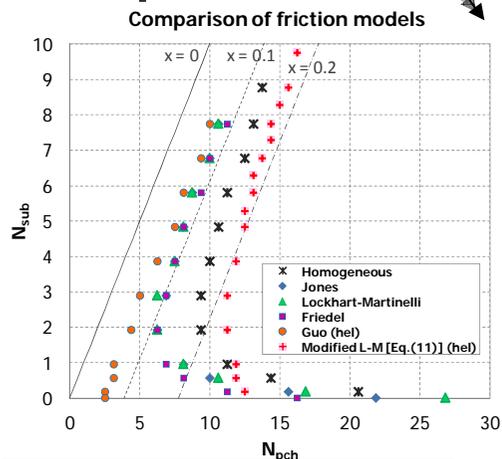
# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011



## LP2- Studi di sicurezza sugli impianti nucleari

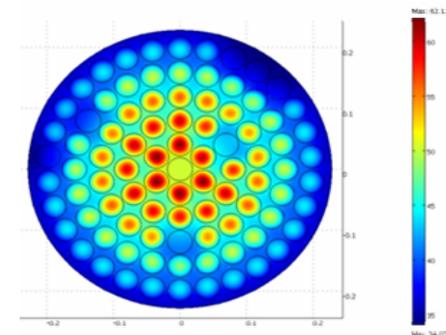
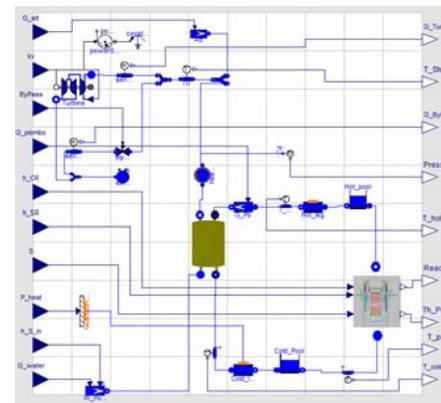
Progettazione di simulatori ingegneristici avanzati per reattori LWR evolutivi

CIRTEN-POLIMI



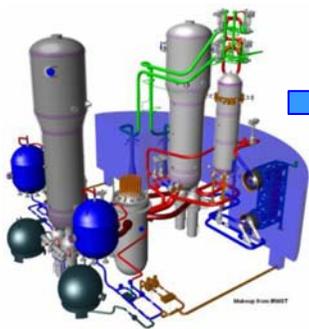
Comportamento di miscele bifase in generatori di vapore a tubi elicoidali con diverse geometrie ed in soluzioni alternative

CIRTEN-POLIMI

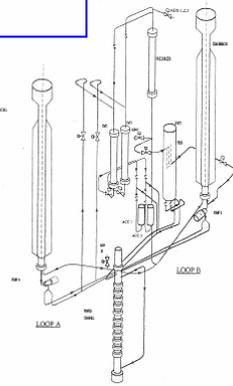


Studi di sicurezza sugli impianti nucleari

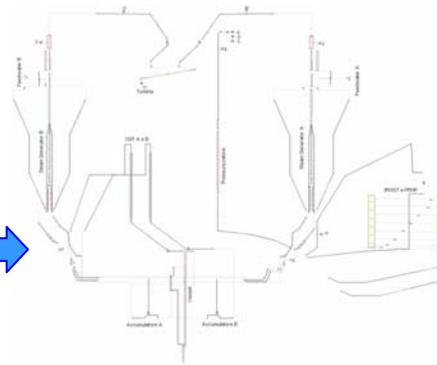
CIRTEN-UNIPA



AP-600

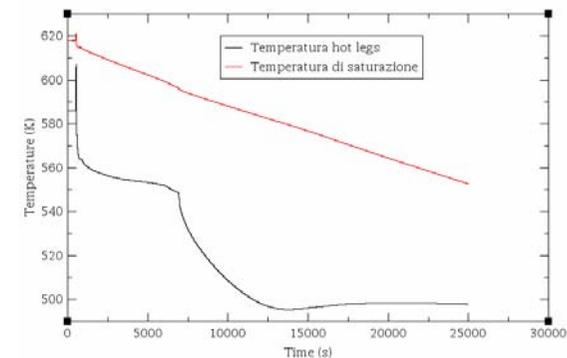


SPES-2



SPES-2-Modello TRACE

Sono svolte analisi preliminari per investigare l'adeguatezza dell'impianto alla realizzazione di prove sperimentali simulanti incidenti tipo Fukushima



# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011



## LP2- Studi di sicurezza sugli impianti nucleari

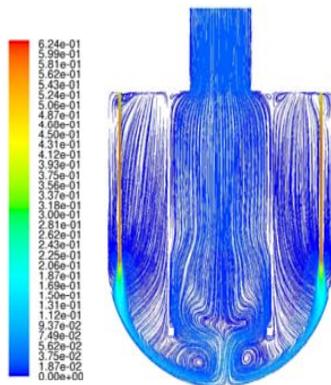
Prove sperimentale e verifiche analitiche su componenti critici per la simulazione di SMR  
CIRTEN- UNIPI

Sono state eseguite analisi di pre-test del circuito idraulico, con il codice RELAP5, per verificare che la pressione di esercizio non fosse superiore al valore della pressione di progetto (0.5 barg).

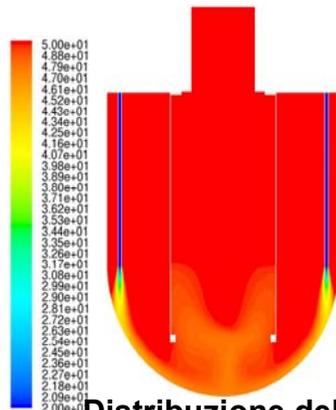


E' stata eseguita una prima campagna sperimentale (6 prove di miscelamento termico) sulla sezione di prova in scala 1:5 che riproduce il downcomer e lower plenum di uno SMR, con lo scopo di validare i codici CDF usati per le analisi di sicurezza di tali reattori (SMRs).

Le perturbazioni della concentrazione di boro sono state investigate attraverso le perturbazioni del campo di temperatura.

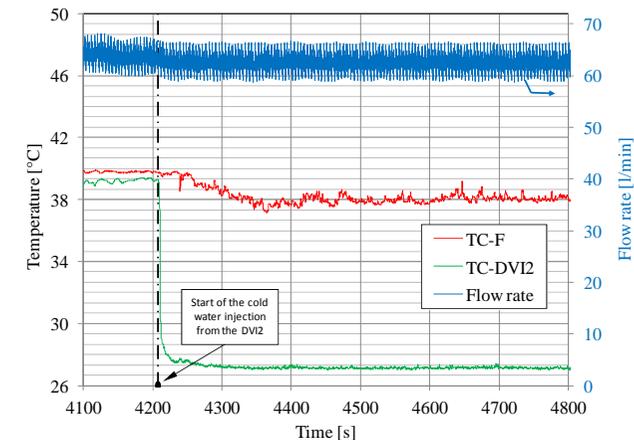


Linee di flusso colorate secondo il modulo della velocità Test I (t = 40 s)



Distribuzione della temperatura sul piano di simmetria Test I (t = 40 s)

Le analisi condotte hanno permesso di individuare le zone con gradienti più significativi per il posizionamento della strumentazione di acquisizione.



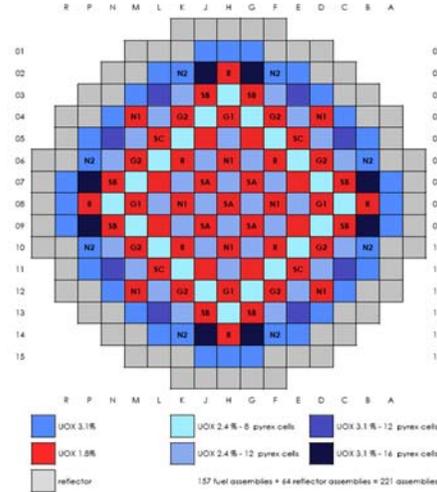
Andamento temporale della portata e della temperatura (Test 1)

# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011



## LP2- Studi di sicurezza sugli impianti nucleari

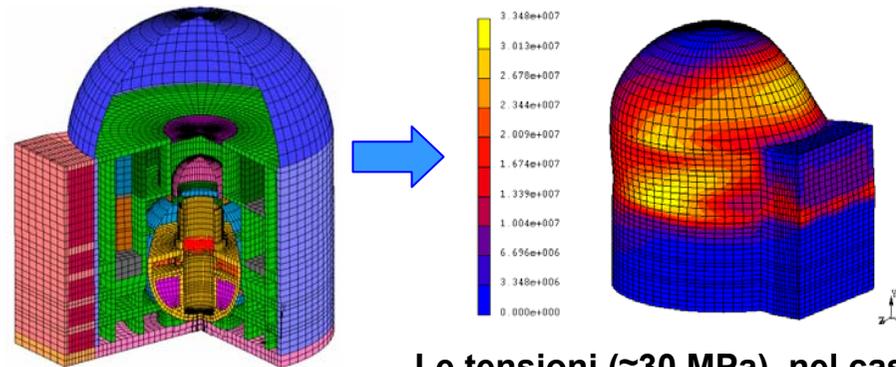
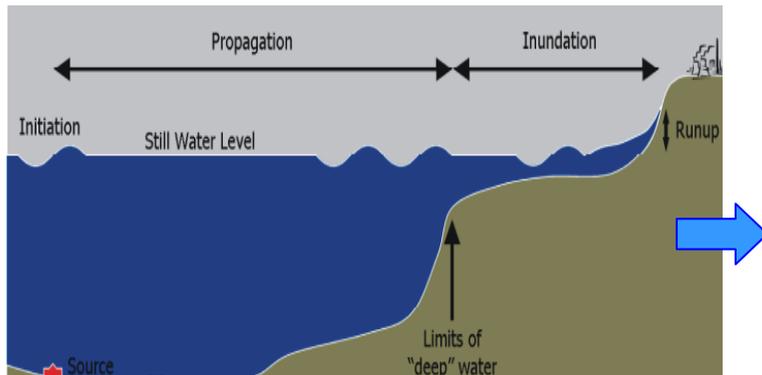
Metodi e codici per analisi di neutronica: calcoli per la determinazione della composizione isotopica del combustibile di un pwr da 900 MWe al variare del bruciamento-  
CIRTEN-UNIBO



Codici di calcolo per studi di sicurezza: Benchmark di validazione dell'esperimento PHEBUS FPT3 con i codici MELCOR 2.1 e ASTEC 2.2  
CIRTEN-UNIBO

Valutazione del comportamento incidentale di impianti evolutivi (SMR)  
CIRTEN-UNIPI

E' stato analizzato preliminarmente l'effetto di impatto delle onde, rappresentate in termini di pressione, sulla parete di un S. di contenimento esterno di un reattore SMR.



Il valore della pressione dinamica e statica esercitata dalle onde:  
$$P_{\max} = C_p \gamma_w d_s + 1.2 \gamma_w d_s$$

Le tensioni ( $\approx 30$  MPa), nel caso di onda alta 20 m, indicano che le pareti del Contenimento esterno iniziano a subire fenomeni di danneggiamento locale.

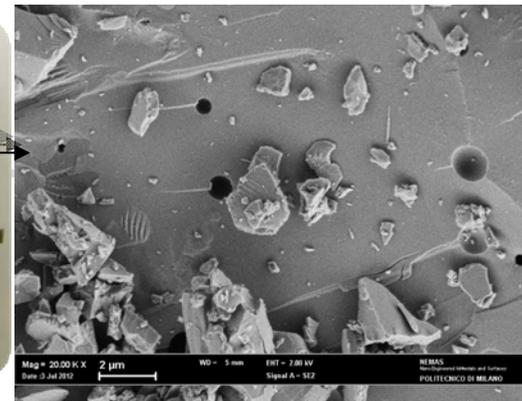


# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011

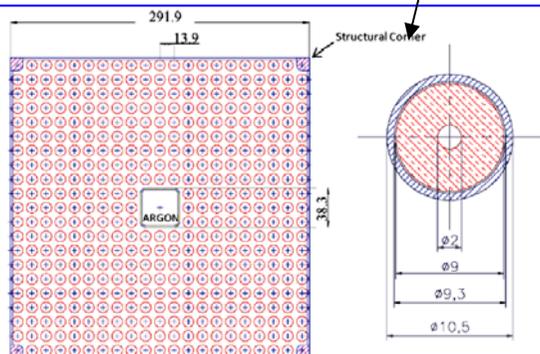
## LP3- Reattori di IV generazione



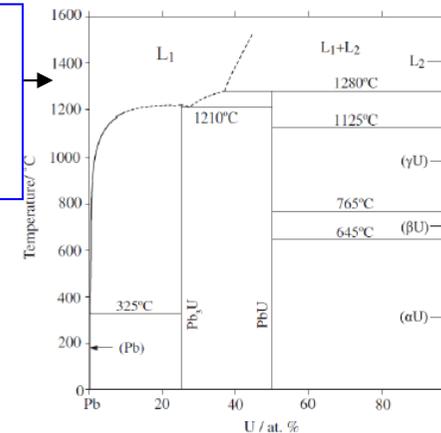
Condizionamento di rifiuti radioattivi in matrici vetro-ceramiche e studio delle interazioni rifiuto-terreno  
CIRTEN-POLIMI



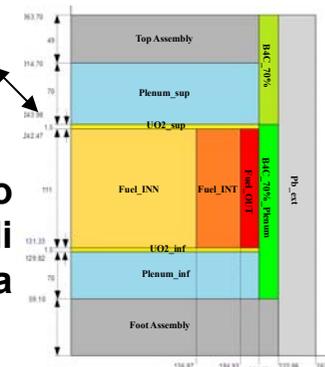
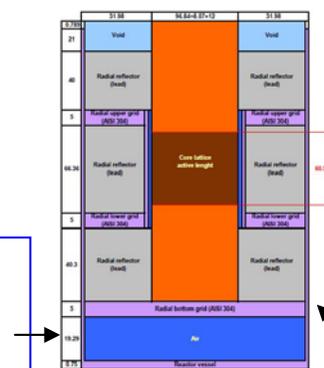
Nuova concettualizzazione del nocciolo di DEMO-LFR: progetto preliminare neutronico, termoidraulico and termomeccanico - CIRTEN-POLIMI



Studio preliminare dell'interazione Fuel-Coolant in Reattori LFR: applicazione di un codice di calcolo  
CIRTEN-POLIMI



Sviluppo e validazione di modelli di calcolo per la neutronica e la cinetica di nocciolo di LFR  
CIRTEN-UNIROMA1



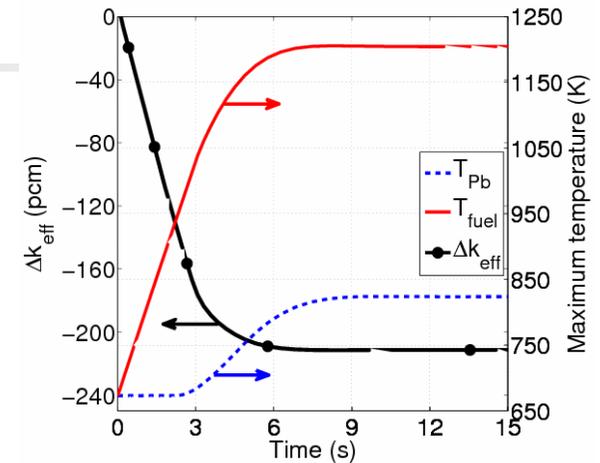
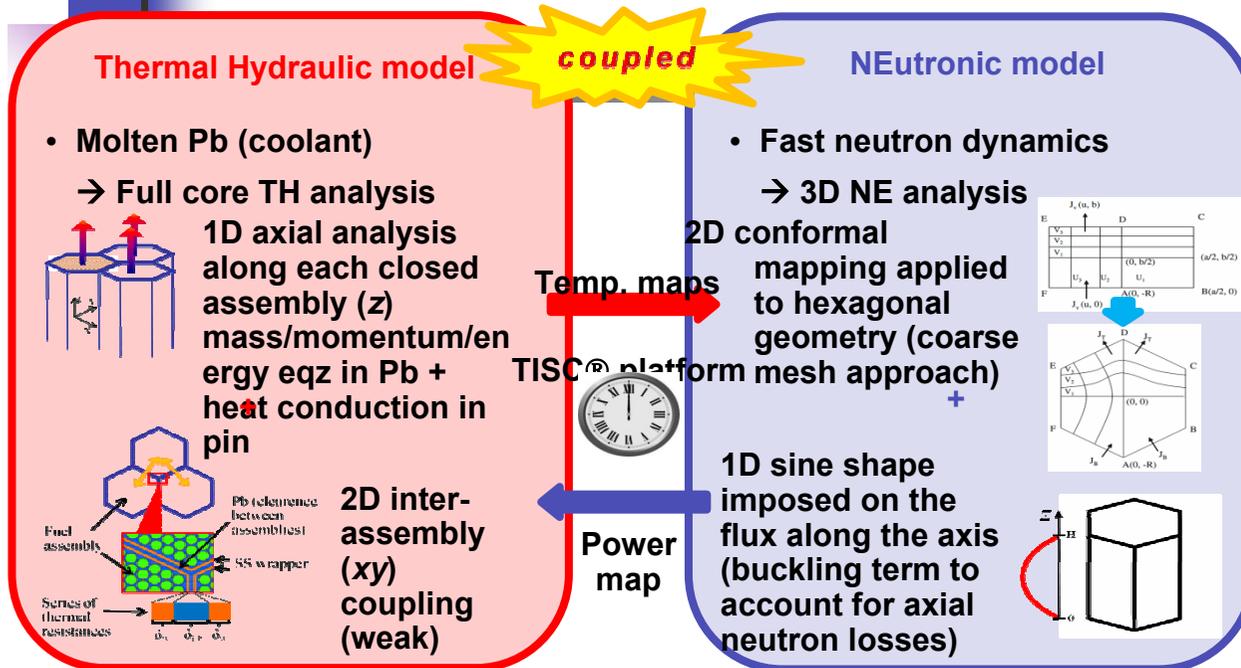
Si ha una buona correlazione (0.81) fra GUINEVERE e ELSY per quanto afferente gli effetti di reattività relativi a variazioni della sez. d'urto di cattura  $U^{238}$ , mentre il coeff. grado di vuoto del refrigerante si limita a 0.39, ciò a causa delle dimensioni diverse del nocciolo.

# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011

## LP3- Reattori di IV generazione

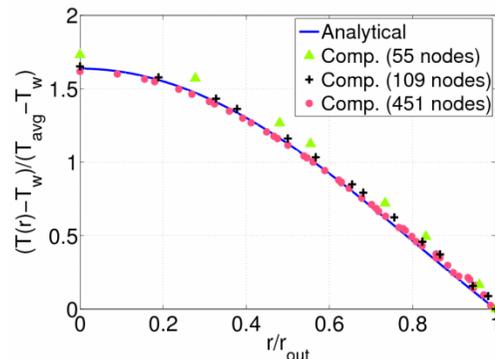


Fast REactor NEutronics/Thermal-hydraulics  
CIRTEN-POLITO

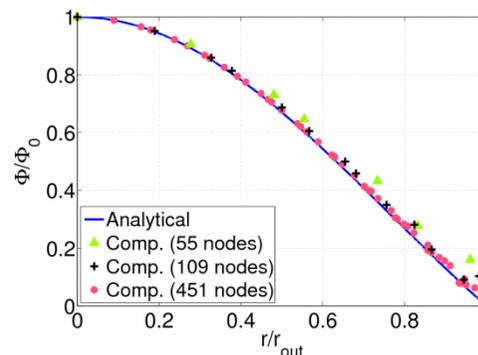


Criticality search test:  $k_{eff} \downarrow$  while  $T \uparrow \leftarrow$  negative feedback

Outlet T radial distribution in a smooth pipe with  $r_{out} = r_{core}$ , laminar flow and prescribed wall heat flux



Neutron flux radial distribution in an isothermal cylindrical bare reactor of infinite height



xy coupling validation against analytical results for different nodes (hexagons) in the computed solution

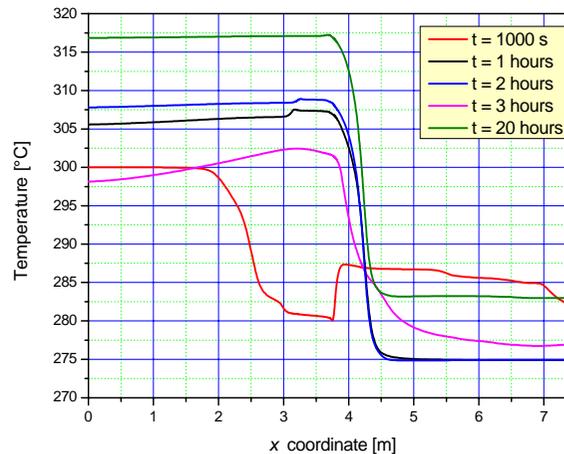
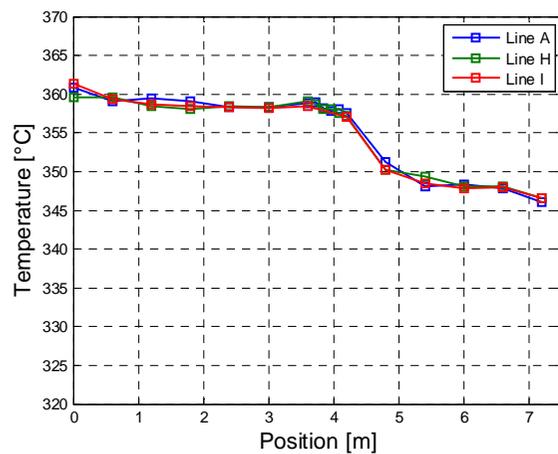
# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011

## LP3- Reattori di IV generazione

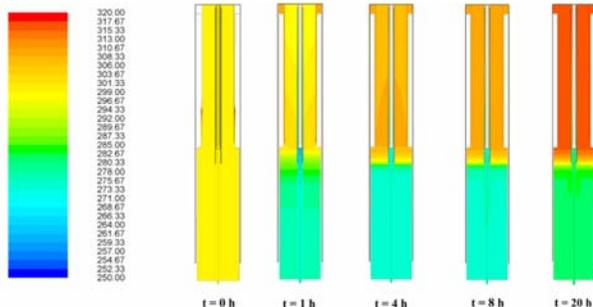


Qualifica sistema DHR per impianti LFR  
CIRTEN-UNIPI

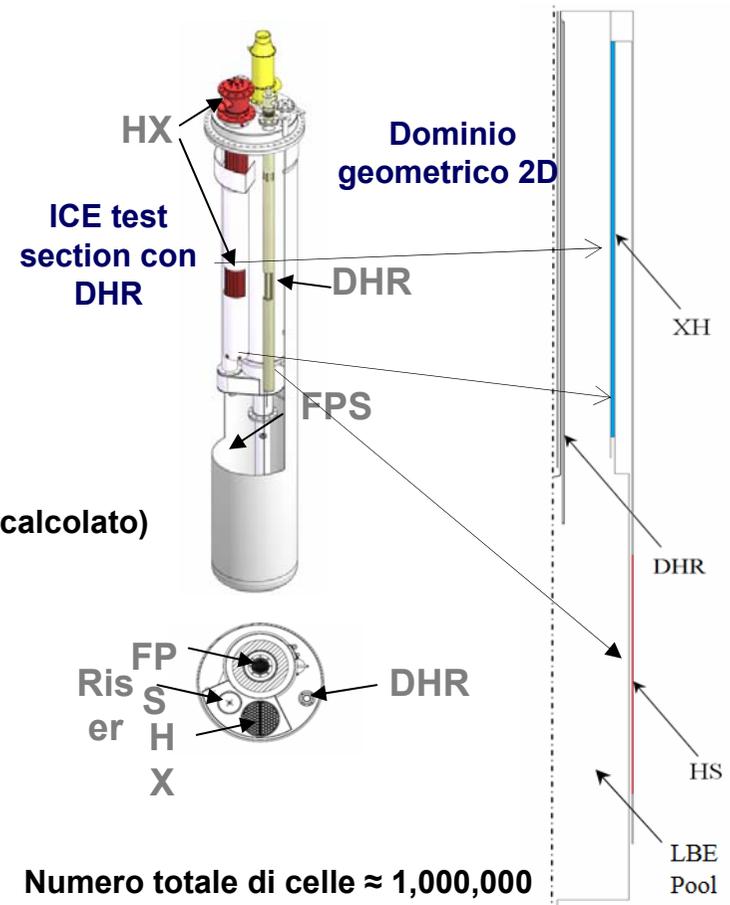
L'analisi di pre-test del WA-DHR (test section installata sulla facility CIRCE (simulazione di PLOHS + LOF) è stata eseguita accoppiando RELAP5-FLUENT con modello di accoppiamento "One-Way" (Potenza termica asportata dall' HX e portata di LBE nell'HS implementate su FLUENT calcolate da precedenti calcoli RELAP5)



Andamento verticale della temperatura nella regione della pool (misurato & calcolato)



Il 94% del flusso totale di LBE imposto nella sezione di ingresso attraversa il canale del lato primario del DHR. Il sistema è in grado di rimuovere 40 kW del calore prodotto nell'FPS.



Numero totale di celle  $\approx 1,000,000$

Modello di turbolenza K-e+Two Layer Model

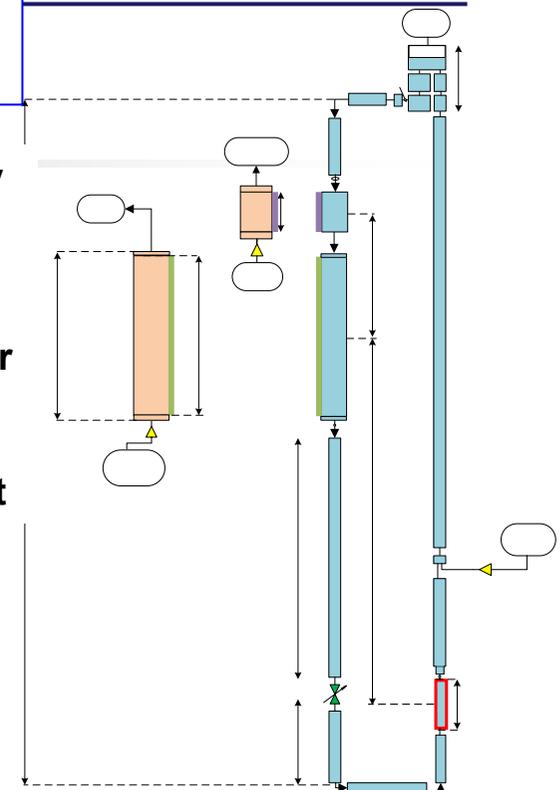
# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011

## LP3- Reattori di IV generazione



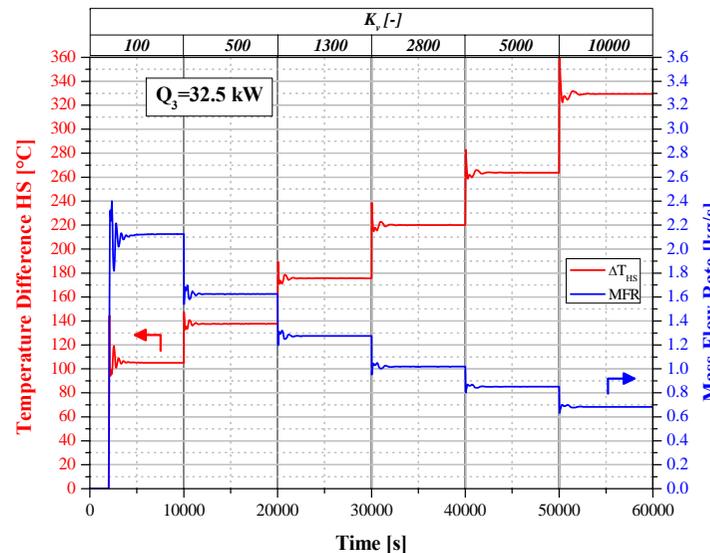
Prove e calcoli di scambio termico in regime di circolazione mista: upgrade impianto NACIE CIRTEN-UNIPI-ENEA

Sono state eseguite analisi termo-fluidodinamiche di pre-test della facility NACIE, costruita presso ENEA Brasimone, nella nuova configurazione dello scambiatore di calore e dell' heater system. E' stato usato il codice di sistema RELAP5/Mod3.3 per analizzare il comportamento del fuel bundle con filo avvolto sulle barrette, rilevante per lo studio della facility MYRRHA (scambio termico e cadute di pressione). Inoltre, su una configurazione semplificata del circuito NACIE, è stata eseguita una procedura di accoppiamento tra il codice RELAP5 ed il Fluent



Nodalizzazione RELAP5 di NACIE

Una prima serie di simulazioni (Test NAT) sono state eseguite per predire la portata massima di LBE che viene a instaurarsi in NACIE per differenti valori di potenza dell' HS



Portata di LBE all'interno del loop di NACIE e relativo  $\Delta T_{HS}$  (Test VAL-3)

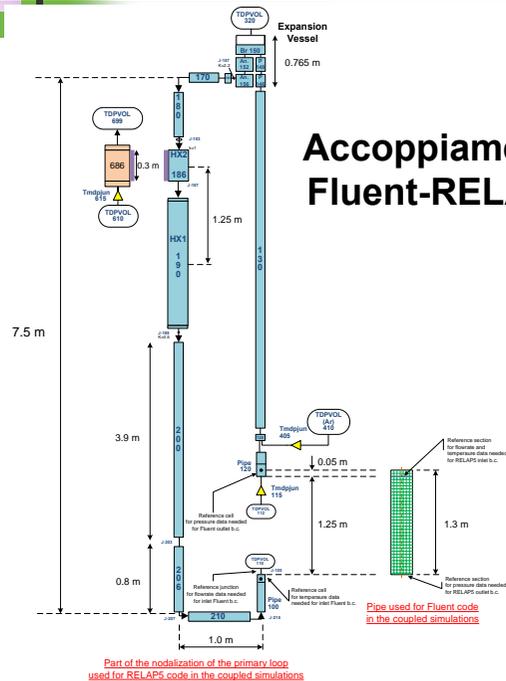
L'analisi comparativa preliminare tra le simulazioni eseguite con l'accoppiamento dei codici RELAP5-Fluent, con quelle ottenute con il solo RELAP5 mostrano un buon accordo tra i risultati.

# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011

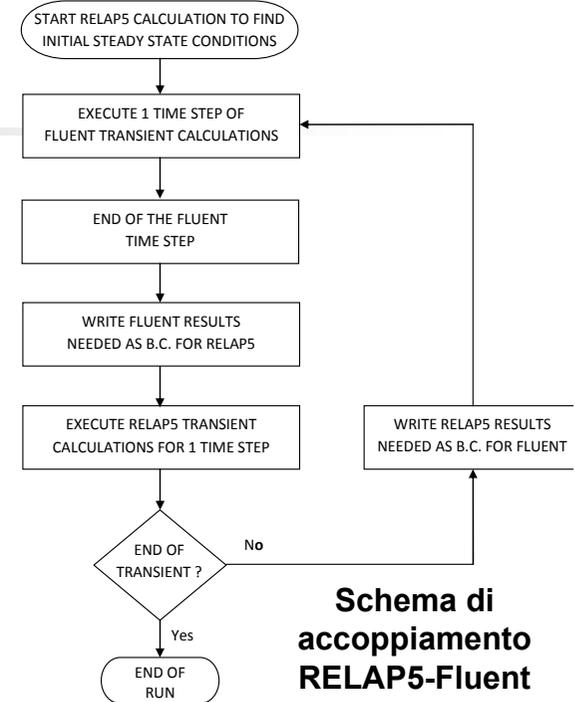
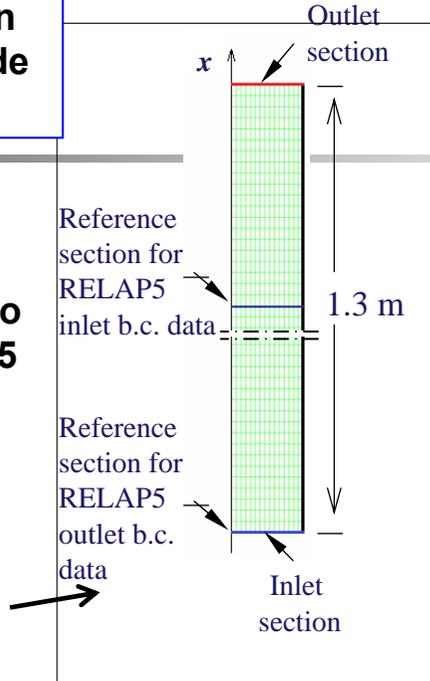
## LP3- Reattori di IV generazione



Prove e calcoli di scambio termico in regime di circolazione mista: up-grade impianto NACIE CIRTEN-UNIPI-ENEA

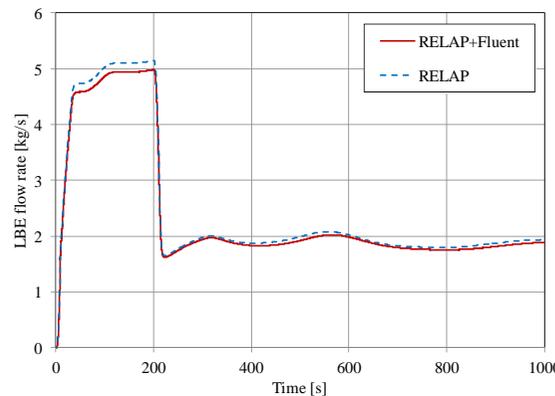


Accoppiamento  
Fluent-RELAP5

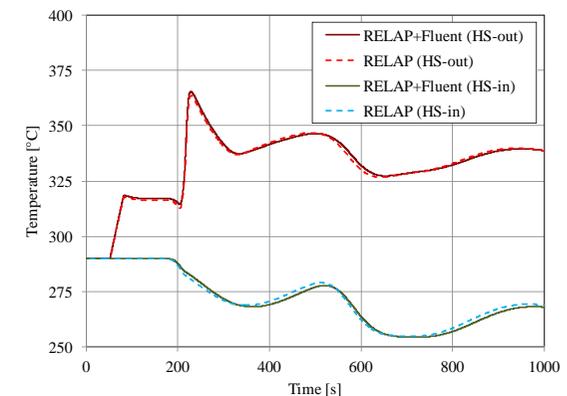


Schema di  
accoppiamento  
RELAP5-Fluent

La sequenza di calcolo con accoppiamento esplicito fra i due codici prevede che all'avanzare del codice Fluent (master code) di uno step il codice RELAP5 (slave code) avanza dello stesso time step.



Portata di LBE vs. tempo (ULOF test)



Temperatura in ingresso e uscita vs. tempo nell' HS (ULOF)

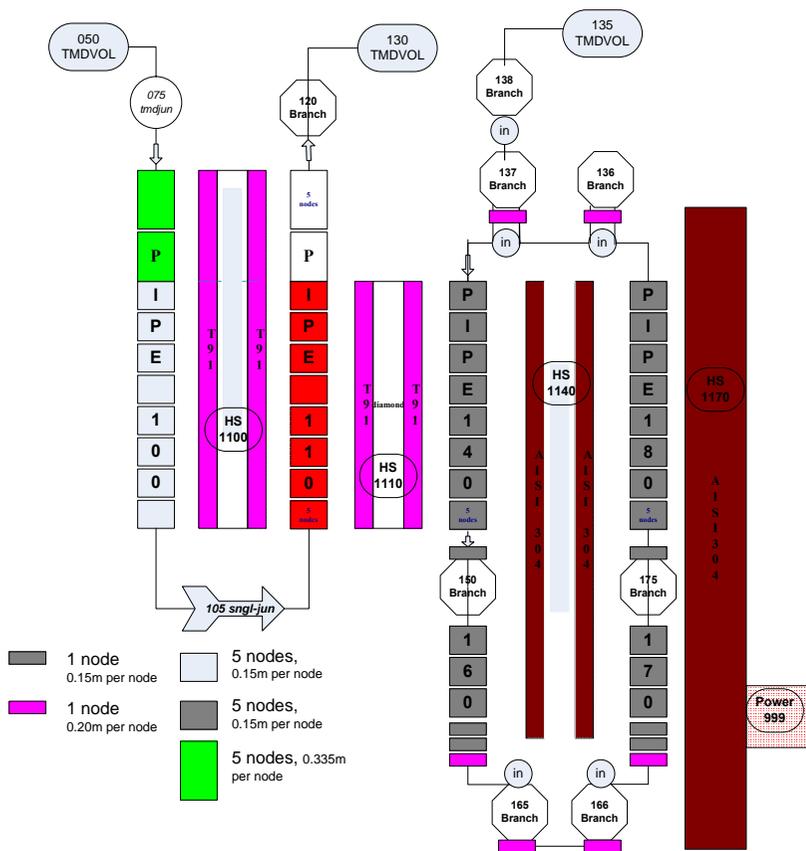
# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011

## LP3- Reattori di IV generazione

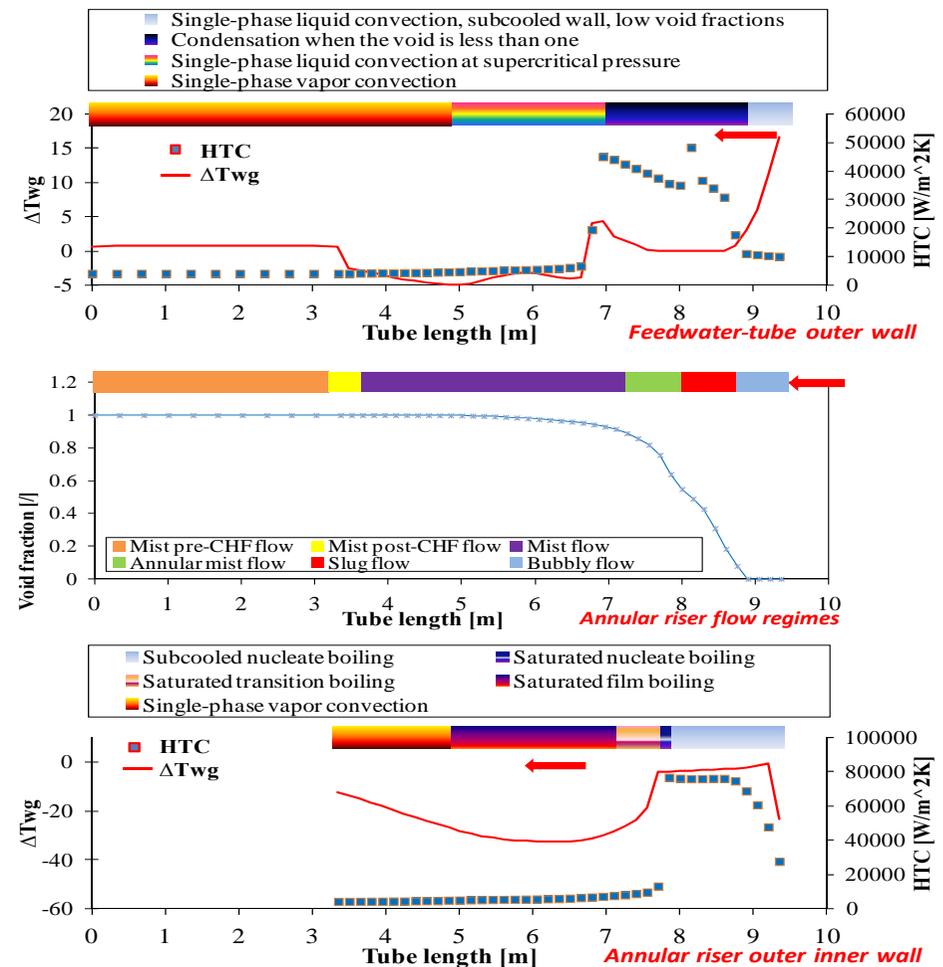


Attività in supporto dello studio dello SGTR con tubi a baionetta

Design of the Heavy liquid metal – pressurized water cooled tube (HERO) facility  
 Thermal insulating materials selection  
 Calculations in support to HERO design



Nodalizzazione RELAP5 del SG con tubi a baionetta

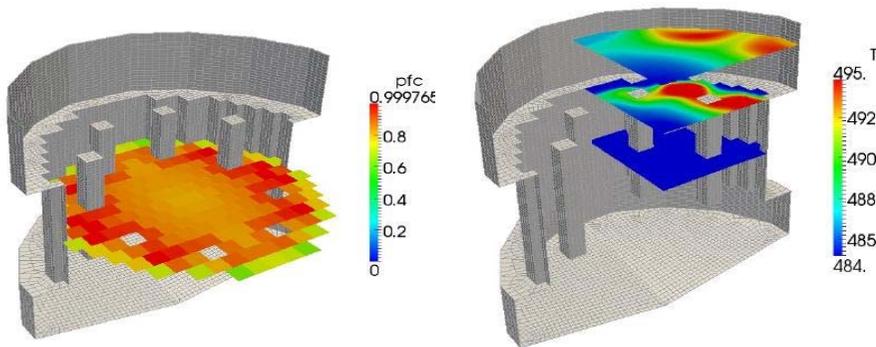


# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011

## LP3- Reattori di IV generazione



**Sviluppo e validazione di codici per la termoidraulica di sistemi LFR**  
CIRTEN-UNIBO



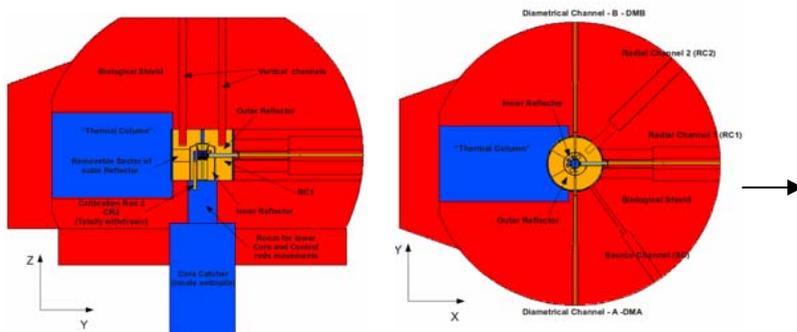
Distribuzione combustibile core

Distribuzione temperatura

L'attività ha previsto:

- Miglioramento dei moduli 1D/3D porosi
- Implementazione di modelli di turbolenza in mezzi porosi
- Parallelizzazione del codice con GPU e CPU (PETSC)
- Implementazione di una interfaccia grafica (GUI)
- Calcoli di bloccaggio

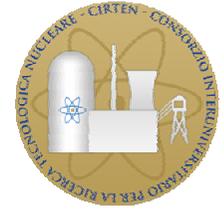
**Reinterpretazione campagne sperimentali TAPIRO in appoggio alla progettazione dei sistemi LFR - CIRTEN-UNIROMA1**



Un modello dettagliato del reattore TAPIRO è stato implementato in MCNPX per riprodurre la configurazione sperimentale su cui sono state eseguite le misurazioni. Dal confronto fra i dati (neutron flux intensity, spettro neutronico, reaction rates) nel canale di irraggiamento si è osservato un buon accordo fra numerico e sperimentale

# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011

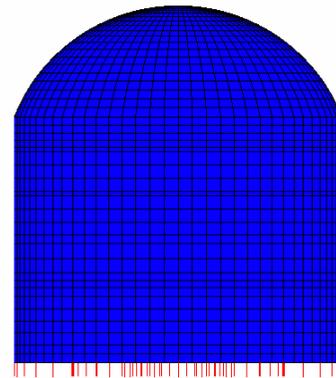
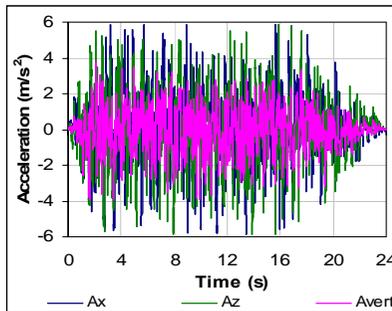
## LP3- Reattori di IV Generazione



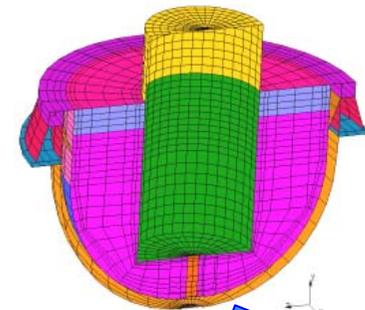
Analisi scenari incidentali su sistemi LFR  
CIRTEN-UNIPI

Il fenomeno dell'Interazione Fluido-Struttura indotto dalle sollecitazioni dinamiche da sisma è stato analizzato considerando l'influenza degli isolatori ( $f_i = 0.5$  Hz) utilizzando un codice di dinamica interattiva

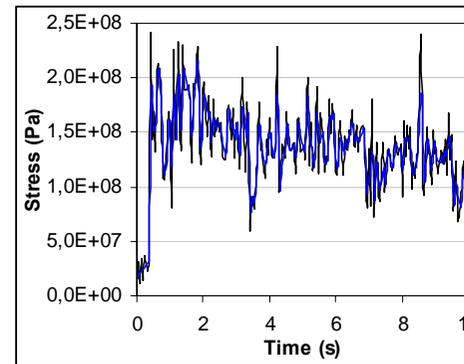
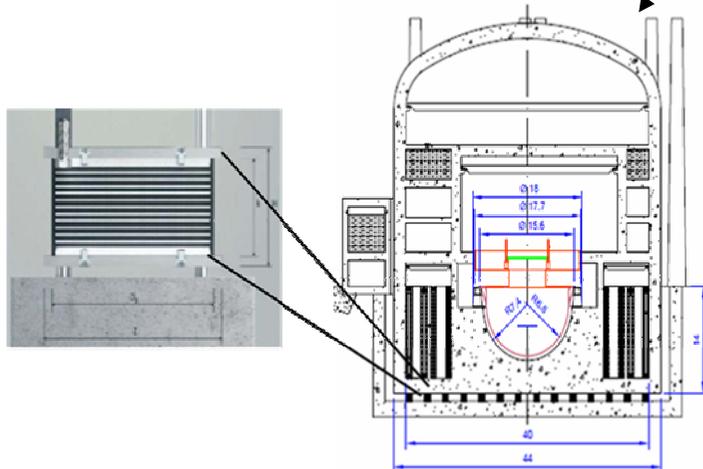
Accelerazioni iniziali per un "beyond design earthquake" (solo Ax usata nelle analisi preliminari)



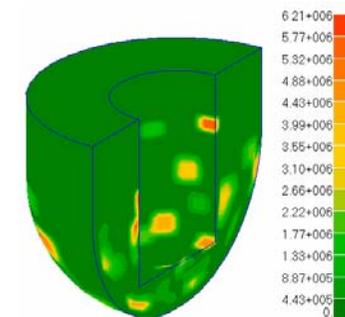
Accel. orizzontale propagata tramite l'ancoraggio del SV



modelli FEM dell'Edificio esterno e RV



L'andamento delle tensioni non risente delle vibrazioni



Pressione idrodinamica il buckling dinamico degli internals è evitato

# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011

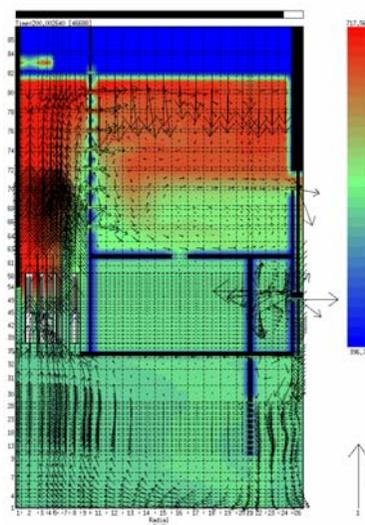
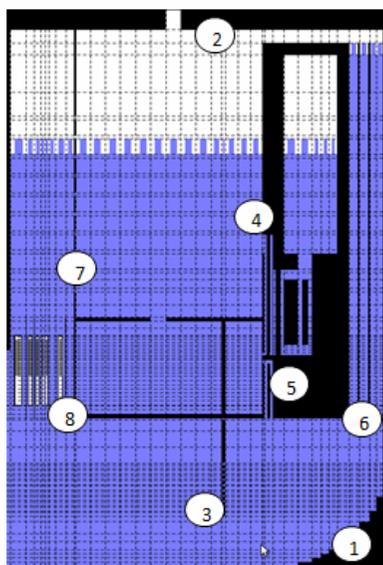
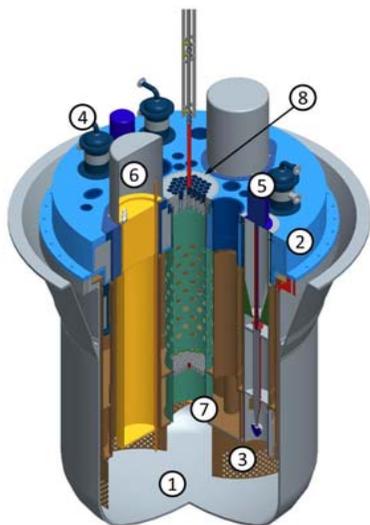
## LP3- Reattori di IV Generazione



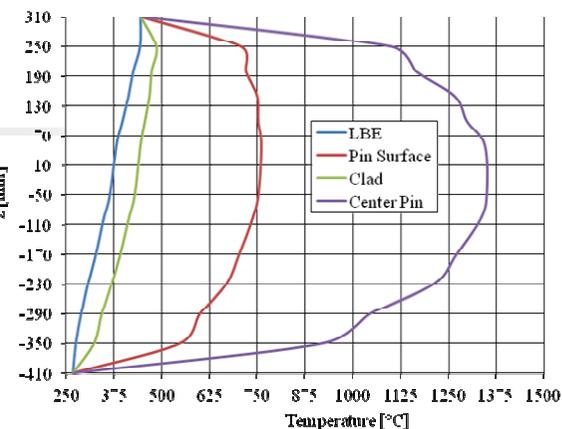
Analisi scenari incidentali su sistemi LFR  
CIRTEN-UNIPI

E' stato studiata la dispersione del combustibile in un reattore di tipo LFR (MYRRHA FASTEF reactor) implementando un modello bidimensionale con simmetria cilindrica con un numero di celle 38x89

MYRRHA FASTEF e modello SIMMER-III



Velocità LBE Cond. stazionarie



Profilo assiale di temperatura nella seconda corona circolare

### Stazionario:

I risultati evidenziano una stratificazione termica del LBE nella regione dell'upper plenum;  
La velocità del LBE nella parte interna al core è  $\approx 1.70$  m/s mentre nel PHX è  $\approx 0.84$  m/s;  
Il flusso totale nel core calcolato è  $\approx 8770$  kg/s

### Transitorio:

Un transitorio (ULOF) è stato simulato con SIMMER-III al fine di verificare la corretta funzionalità del modello. I risultati sono stati confrontati con quelli ottenuti attraverso l'uso di RELAP5.  
La dispersione del combustibile è stata simulata sia nel caso di circolazione naturale che forzata.

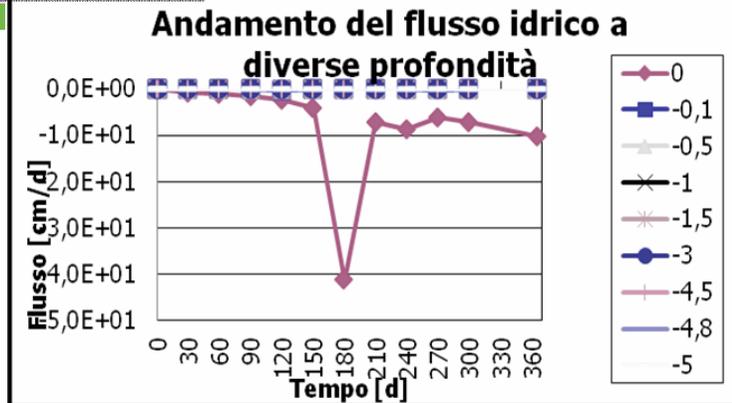
# ATTIVITA' CIRTEN PAR 2011

## LP3- Reattori di IV generazione

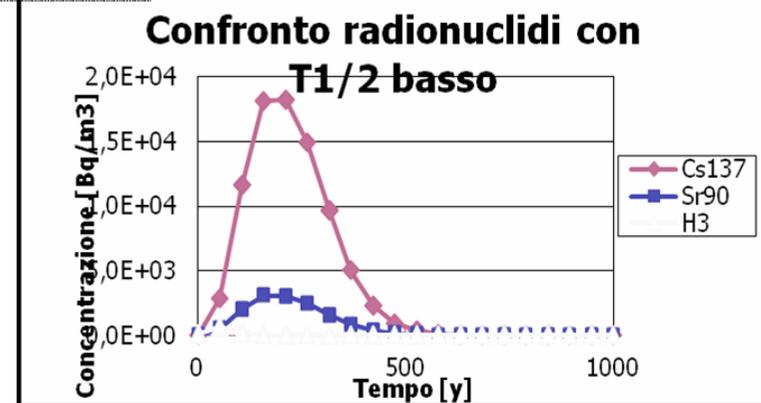


Safety Assessment e Monitoraggio Ambientale  
CIRTEN-POLITO

HYDRUS-1D



AMBER



I codici di calcolo (HYDRUS-1D, AMBER, PHREEQC, ecc.) per lo studio del trasporto dei radionuclidi sono un utile supporto alle attività di Safety Assessment e Monitoraggio Ambientale di un deposito di RWs (definizione dati di input, prestazioni funzionali in fase di sorveglianza, ecc)

Lo studio di fattibilità di una apparecchiatura sperimentale (camera di misura e circuito di prova) per la caratterizzazione del rilascio e migrazione dei prodotti di fissione in un LFR ha lo scopo di: 1) caratterizzare i rilasci gassosi, e.g. rateo di rilascio e composizione da pastiglie cilindriche di materiale ceramico; 2) misurare la permeazione (tasso di permeazione e composizione) dei prodotti gassosi attraverso le pareti (guaina); 3) Prove di funzionamento a regime di tipo isoterma con caratterizzazione della permeazione e corrosione.

