



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Relazione sulle attività a supporto del reattore sperimentale Jules
Horowitz Reactor (JHR)

S. Tirini

Report RdS/2011/3

RELAZIONE SULLE ATTIVITA' A SUPPORTO DEL REATTORE SPERIMENTALE JULES HOROWITZ
REACTOR (JHR)

S. Tirini (ENEA)

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Governo, Gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

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

Responsabile Progetto: Paride Meloni, ENEA

Titolo

Relazione sulle attività a supporto del reattore sperimentale Jules Horowitz Reactor (JHR)

Descrittori
Tipologia del documento:
Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE: tema di ricerca "Nuovo nucleare da fissione"

Argomenti trattati: Reattori Nucleari ad acqua, Reattori e Sistemi innovativi

Sommario

Il reattore sperimentale Jules Horowitz (JHR), finanziato da un Consorzio internazionale prevalentemente europeo, è in fase di avanzata costruzione presso il centro CEA di Cadarache e, una volta operativo, rappresenterà l'impianto più innovativo utilizzabile per la qualifica dei materiali, dei componenti e dei sistemi destinati agli impianti nucleari di nuova generazione nonché occasione unica di *Education & Training* per formare quadri tecnici da destinare alla conduzione e gestione di impianti nucleari. Con esso gli Istituti di ricerca, le Autorità di controllo e le Industrie italiane impegnate nella tecnologia nucleare potranno disporre di un importante strumento destinato a migliorare le conoscenze relative alla scienza dei materiali per diversi componenti utilizzati nelle centrali nucleari, contribuendo con questo alla loro sicurezza.

Note
Copia n.
In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	1/09/2011	NOME			
			FIRMA	<i>Sabatini</i>	<i>Alm</i>	<i>Alm</i>
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE	

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	2	41

INDICE

1 – Introduzione	pag. 03
2 - Situazione del nucleare in Europa	pag. 05
3 - Necessita' di disporre di uno strumento di ricerca moderno rivolto ai reattori attuali, di un futuro prossimo (EPR, AP1000, ..) e di IV generazione	pag. 07
4 - Caratteristiche tecniche del progetto JHR e sue funzioni	pag. 09
5 - Hot Cells	pag. 14
6 - Progetto del nocciolo	pag. 15
7 - Controllo e regolazione del reattore	pag. 19
8 - Progetto del circuito	pag. 20
9 - Dispositivi sperimentali previsti in JHR	pag. 21
10 - Caratteristiche tecniche della prima fase (2012 – 2015) del programma sperimentale JHIP (Julius Horowitz International Program)	pag. 25
11 - Modalità di funzionamento e gestione di JHR	pag. 27
12 - Prove previste nella prima fase del JHIP	pag. 27
13 - Cosa é il Consorzio che lo costruisce e lo gestisce, a quali condizioni economiche e in che forma se ne puo' fare parte	pag. 28
14 - Istituzioni che ad oggi partecipano al Consorzio	pag. 30
15 - Cosa significherebbe per il nostro Paese essere parte del Consorzio	pag. 30
16 - Partecipazione al Consorzio sotto forma di Sub-consorzi nazionali	pag. 31
17 - Ipotesi alternativa all'adesione al Consorzio	pag. 31
18 - Ruolo dell'ENEA in questo progetto - Attività svolta a tuttoggi dal gruppo ENEA distaccato a Cadarache e competenze acquisite	pag. 32
ALLEGATO n. 1 - Alcune immagini del cantiere	pag. 35

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	3	41

1 - Introduzione

Strumento di ricerca di prim'ordine e supporto indispensabile alla filiera nucleare europea, il reattore Jules Horowitz (JHR) in via di realizzazione presso il centro CEA di Cadarache potrebbe svolgere un ruolo fondamentale per il nostro Paese nel campo della R&S, della qualifica di sistemi e componenti in pila, dell'Education & Training, nonché per le attività di TSO.

Con il suo avviamento, previsto per fine 2014, il mondo della ricerca e dell'industria nucleare potrà disporre di un importante strumento destinato a migliorare notevolmente le conoscenze relative a *termomeccanica* e *termine sorgente* per i materiali utilizzati nelle centrali nucleari.

Concepito anche per testare il comportamento dei combustibili nucleari in condizioni limite (mancanza di raffreddamento, condizioni di potenza estrema ...), grazie alla sua operatività prevista per non meno di 50 anni assumerà un ruolo insostituibile nel rinnovamento del parco di impianti sperimentali di ricerca presenti in Europa, destinati a divenire obsoleti nel giro di un decennio.

JHR è anche supportato da OECD-NEA attraverso uno specifico Joint Project denominato JHIP (Jules Horowitz International Program). Il primo programma di prove sperimentali previsto in sede OECD nell'ambito di JHIP consiste in tre indirizzi di ricerca:

- comportamento del combustibile sotto l'effetto di un transitorio di potenza;
- comportamento termomeccanico del clad in condizioni di LOCA;
- source term durante un transitorio LOCA.

Il programma internazionale di attività, della durata di 4 anni, sarà di due tipi:

- *Proprietary Programs*, a disposizione dei soli membri del Consorzio e di loro esclusiva proprietà, saranno finalizzati alle loro necessità sperimentali e/o di compagnie industriali o istituti di ricerca da loro rappresentati;
- *Julius Horowitz International Joint Program (JHIP)*, aperto anche a membri che non fanno parte del Consorzio e gestito da OECD/NEA, sarà rivolto a tematiche e priorità comuni a un'ampia comunità scientifica che condividerà le informazioni prodotte attraverso database comuni.

In termini quantitativi i *Proprietary Programs* copriranno circa il 60% dell'attività JHR mentre il restante 40% sarà a disposizione del *International Joint Program*.

Il Consorzio associa le diverse Istituzioni aderenti al progetto JHR attraverso un contratto volto a definire ruoli e compiti di ciascuno.

Scopo dell'accordo che ne deriva é quello di definire gli impegni che ciascuna delle parti si assume nell'attuazione del progetto JHR e di organizzare la gestione del progetto in tutti i suoi aspetti, sia tecnici che finanziari.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	4	41

I principali obiettivi che il Consorzio si pone sono :

- fornire un adeguato supporto agli impianti nucleari di potenza in termini di sicurezza, competitività, efficienza del ciclo del combustibile e vita dell'impianto;
- mantenere e sviluppare competenze nel campo nucleare grazie a un Programma internazionale di ricerca che, attraverso i Paesi aderenti, coinvolga le rispettive industrie, istituzioni accademiche, autorità di sicurezza e centri di ricerca;
- sostenere gli sviluppi innovativi nel campo delle applicazioni sui futuri sistemi nucleari, sia per la produzione di energia elettrica che per applicazioni di altro tipo.

La quota minima per poter partecipare al Consorzio, corrispondente al 2% della capacità sperimentale di JHR, é di 10 milioni di Euro.

Questo contributo puo' essere versato in contanti oppure in natura; in quest'ultimo caso sia attraverso la fornitura di commesse che con la messa a disposizione di uomini/anno, oppure un mix fra queste opzioni.

Da quanto finora illustrato appaiono chiari i vantaggi che ne trarrebbe il nostro Paese aderendo al Consorzio JHR:

- possibilità di ottenere commesse per le nostre industrie legate alla costruzione e/o all'equipaggiamento dell'impianto e dei laboratori annessi;
- possibilità di effettuare specifiche prove sperimentali funzionali alle industrie nazionali operanti nel settore nucleare e/o di venderne in modo autonomo i diritti;
- occasione unica e irripetibile di *Education & Training* per esperti nella gestione delle nostre future centrali.

Circa il reperimento della quota minima di partecipazione al Consorzio, questo non dovrebbe essere uno scoglio insormontabile se gestito opportunamente insieme ad altri stakeholders.

Una modalità di partecipazione al Consorzio attuata attraverso una particolare organizzazione della contribuzione in natura, che per la peculiarità della nostra situazione nazionale puo' essere presa da noi come esempio, é quella spagnola.

Il CIEMAT infatti ha aderito al consorzio JHR in rappresentanza di altri sei partners, con interessi prevalentemente nel mondo dell'industria nucleare, con i quali ha stipulato una sorta di consorzio nazionale volto a fornire la contribuzione in natura prevista e a gestire le prove sperimentali che verranno effettuate secondo le loro necessità industriali.

Questi i partners di CIEMAT nel Consorzio:

- CSN Consejo de Seguridad Nuclear – Autorità di sicurezza;

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	5	41

- EA Empresarios Agrupados - Società di architettura-ingegneria operante nei campi dell'energia, delle infrastrutture dei trasporti, dello spazio, della difesa e della tecnologia dell'informazione;
- ENSA – Fornitore di attrezzature, prodotti e servizi per l'industria nucleare civile;
- ENUSA Industrias Avanzadas – Progettazione e fabbricazione del combustibile per centrali nucleari;
- SOCOIN - Società di ingegneria sussidiaria del “Gas Natural Group” specializzata nel settore energetico;
- TECNATOM – Società di ingegneria operante nei campi dell'energia sia nucleare che convenzionale, dei trasporti, del petrolchimico, dell'aviazione e dello spazio.

Importanti commesse, possibilità di disporre di prove sperimentali sui materiali e sul combustibile specifiche per le loro esigenze, formazione di quadri da destinare ai loro impianti, costituiscono i risultati concreti forniti al sistema paese da questa scelta.

In questo contesto l'ENEA ha attivato una collaborazione finalizzata sia a specifiche fasi di progettazione tecnica che all'approfondimento di quelle informazioni utili a valutare l'opportunità di una adesione dell'Italia al progetto.

Questo ha portato all'inserimento di tre unità (due ricercatori ENEA, uno dottorando dell'Università di Bologna) nello staff di progettazione del JHR con competenze di neutronica, di termoidraulica e di gestione del progetto.

L'importanza delle attività nelle quali il gruppo ENEA é coinvolto e l'ottima professionalità che ha dimostrato di possedere nello svolgere i compiti assegnati rende indispensabile il prolungamento della permanenza a Cadarache nonchè, come auspicato dai francesi, un potenziamento del gruppo con competenze legate alla conduzione dell'impianto.

Inoltre, considerato lo stato di avanzamento della costruzione di JHR, è urgente attivare tutti i canali necessari per sollecitare l'interesse delle Imprese nazionali e degli Enti di Ricerca operanti nel settore nucleare in questo progetto cercando di favorirne l'adesione al Programma di prove sperimentali internazionali previste in sede OECD oppure al Consorzio.

2 - Situazione del nucleare in Europa.

L'Europa é il principale produttore di energia elettrica da fonte nucleare al mondo e le sue centrali nucleari forniscono circa il 30% dell'energia prodotta complessivamente nell'Unione europea.

Considerato il parco Centrali disponibile (146 reattori nucleari ripartiti in 15 Stati membri con un'età media di 25 anni) e la vita media di un reattore nucleare (40 anni), in un futuro molto prossimo si dovranno fare scelte importanti relative al rinnovamento del parco nucleare europeo, tenuto conto del tempo necessario per la loro costruzione.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	6	41

La situazione all'interno della Comunità Europea é molto diversificata: Bulgaria, Finlandia, Francia e Slovacchia intendono costruire nuove centrali nucleari; Paesi Bassi, Polonia, Svezia, Lituania valutano la possibilità di prolungare lo sfruttamento delle centrali esistenti o di sostituirle; Belgio, Germania e Spagna hanno intrapreso un'azione di abbandono progressivo del nucleare o di una sua forte limitazione.

Controtendenza per l'Inghilterra con quattro nuove centrali di tipo EPR in costruzione in siti che già accolgono impianti nucleari destinati a divenire obsoleti.

Questa nuova filosofia di utilizzare per le nuove centrali siti già dedicati al nucleare offre vari vantaggi e risparmi: procedure legate alla sicurezza semplificate, riutilizzo di buona parte della struttura esistente, impiantarsi in un territorio nel quale questa tecnologia é già in buona parte accettata dalla popolazione.

A partire dal 1997 sono stati notificati alla Commissione Europea complessivamente diciannove nuovi progetti di investimento.

Le prospettive sopra illustrate si riferiscono ai punti di vista dei diversi paesi prima del 11 marzo 2011; dopo Fukushima è ragionevole attendersi dei cambiamenti di rotta che al momento della stesura del presente documento non sono ancora noti.

In parallelo a questo la Comunità Europea si occupa di altri aspetti relativi a questa tecnologia al fine di garantire una sempre migliore sicurezza nucleare (intesa sia come *safety* che come *security*), sia attraverso l'applicazione delle convenzioni internazionali in materia che finanziando importanti attività di ricerca.

Poiché é importante la percezione che l'opinione pubblica ha del settore nucleare, sia per una sua maggiore accettabilità che per il futuro di questa modalità di produzione di energia, l'Europa attraverso gli organismi dedicati a questo settore svolge un ruolo molto attivo: controlla l'applicazione delle convenzioni internazionali in materia e contribuisce finanziariamente a garantire e migliorare la sicurezza nucleare.

All'interno del Settimo programma quadro Euratom, che costituisce la base giuridica che fissa obblighi e competenze in ambito nucleare per quanto riguarda la ricerca e la sicurezza, la Commissione Europea ha adottato diverse proposte volte ad armonizzare gli interventi delle autorità nazionali, in particolare mediante la realizzazione di piattaforme tecnologiche rivolte alla fissione nucleare e le tecnologie innovative.

E' in questo conteso che ha preso corpo il progetto JHR.

3 - Necessita' di disporre di uno strumento di ricerca moderno rivolto ai reattori attuali, di un futuro prossimo (EPR, AP1000, ..) e di IV generazione.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	7	41

Per rispondere alle sfide indifferibili poste dai cambiamenti climatici é necessario produrre energia che non generi gas a effetto serra, e questo nel quadro dell'impegno europeo di ridurre entro il 2020 del 20% questo tipo di emissioni.

Pur se le energie rinnovabili sono parte importante nel raggiungimento di questo obiettivo, l'energia nucleare si rivela sempre più insostituibile per rispettare gli impegni assunti a Kyoto; in questa ottica fondamentale diventa il ruolo svolto dal reattore di ricerca JHR nel migliorare prestazioni e sicurezza della filiera nucleare.

Strumento di ricerca di primo piano e supporto indispensabile alla filiera nucleare europea, potrà svolgere un ruolo fondamentale di R&S per il nostro Paese nell'ipotesi che l'opzione nucleare venga adottata anche in Italia.

JHR, con le sue notevoli capacità sperimentali in vari aspetti della progettazione, potrà fornire competenti risposte in materia di combustibile, rendendolo più efficiente, e dei materiali utilizzati, migliorando così sicurezza e prestazioni dei reattori.

Tutto questo potrà contribuire ad aumentare la vita dell'impianto producendo così più energia con la stessa quantità di combustibile, fornendo un importante contributo alla riduzione delle scorie prodotte.

Grazie alla sua flessibilità JHR può essere utilizzato sia per migliorare le performances dei reattori attuali (LWR, REP e EPR) che di quelli di IV Generazione nonché, con la messa a punto di nuovi materiali, fornire un importante supporto ai futuri reattori a Fusione, attività particolarmente importante nell'attuale fase di costruzione del progetto ITER.

Si potrà studiare la resistenza dei materiali utilizzati nelle parti strutturali delle centrali e nelle guaine del combustibile (acciai, zirconio, ...) alle alte temperature e al bombardamento con neutroni, nonché approfondire la conoscenza delle caratteristiche meccaniche in condizioni ambientali estreme di nuovi materiali quali i ceramici.

JHR é stato concepito anche per testare il comportamento dei combustibili nucleari in condizioni limite, quali mancanza di raffreddamento o condizioni di potenza estrema.

Altra applicazione possibile riguarda il tema della gestione dei rifiuti radioattivi, con la possibilità di poter effettuare studi sulla trasmutazione degli attinidi.

Altro compito importante di questa facility sarà quello di produrre radioelementi per applicazioni mediche, assicurando una adeguata risposta ai bisogni europei in questo settore.

L'attuale produzione di radioisotopi per scopi medici infatti, pur se a livello mondiale vede un aumento esponenziale delle richieste, incontra forti difficoltà nella loro produzione sia per la chiusura avvenuta nell'ultimo decennio di vecchi reattori che per il parco reattori disponibile ormai vecchio e obsoleto, inadeguato alle crescenti necessità dell'industria nucleare e della ricerca.

Per rimanere solo in Europa, la medicina nucleare richiede ogni anno l'utilizzo di radionuclidi in circa 10 milioni di procedure e in 15 milioni di analisi in vitro.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	8	41

Per comprendere la dimensione di questa situazione si consideri che il 95% della produzione mondiale é fornita da soli 5 reattori: SAFARI in Sud Africa (13%), HFR in Olanda (33%), OSIRIS in Francia (8%), BR2 in Belgio (10%) e NRU in Canada (31%).

Questi reattori, pur se ancora in esercizio, sono ormai datati e il costo della loro manutenzione e eventuale ristrutturazione porta ad un costo dei radionuclidi da essi prodotti sempre più elevato.

Da queste considerazioni si evince l'importanza di JHR sotto aspetti diversi da quello prettamente energetico (materiali e combustibile per reattori), che lo rendono ancor più interessante dal punto di vista economico.

JHR infatti potrà assicurare la produzione del 25% del fabbisogno europeo di isotopi radioattivi a vita breve per usi medici, percentuale estendibile al 50% se necessario.

JHR, la cui operatività é prevista per non meno di 50 anni, assumerà quindi un ruolo insostituibile nel rinnovamento del parco di impianti sperimentali di ricerca presenti in Europa, destinati a divenire obsoleti nel giro di un decennio; possiamo citare la facility OSIRIS per esempio, che terminerà la sua vita nel 2015 dopo cinquant'anni di funzionamento.

Il Team operativo e sperimentale del JHR, fra personale CEA e collaboratori stranieri, consta di circa 150-200 persone; loro compito preparare le migliori condizioni operative possibili per la realizzazione dell'impianto e la preparazione delle prove sperimentali.

4 - Caratteristiche tecniche del progetto JHR e sue funzioni.

Le principali caratteristiche del reattore (combustibile, termoidrauliche e neutroniche) sono riassunte nelle seguenti tabelle :

Table T1 : Standard UMo-Al Element

Fuel element shape	8 concentric tubes made from 120° sectors of radially curved plates fixed by stiffeners.
Dimensions of element (outer radius × height)	47.5 mm x 1010 mm
Dimensions of fuel meat (mm)	0.61 x 600 mm
Plate thickness (mm)	1,37 mm
Gap between plates (mm)	1.84 mm (2.2 mm for the inner and outer gaps)
Mass of fuel meat (kg U8Mo/Al/fuel element)	5,5 kg
Fuel meat material	U8Mo dispersed in Al matrix
Mass of U per fuel element	4.4 kg
Mass of U-235 per fuel element	880 g
Meat relative composition (%weight)	Mo : 8 % (382 g) Al : 13.4% (720 g)
Meat porosity	2%
Cladding alloy and density	Al-Fe-Ni (2.724 g/cm ³)
Clad thickness	0.38 mm
Number of stiffeners	3
Stiffeners alloy and density	Aluminum alloy 5754 NET (2.7 g/cm ³)
Stiffener thickness	5.5 mm
Clad plus stiffeners mass per height unit in the fuel region	58.08 g/cm
Central rod alloy and shape	Aluminum alloy 5754 NET (2.7 g/cm ³) cylinder (1,65 cm outer radius)
minimum gap between fuel elements (basket alloy)	4 mm (Aluminum alloy 5754 NET)

Note 1: The central aluminum rod can be prolonged with a hafnium rod sliding into the hollow center of the fuel element, when used in a control system position.

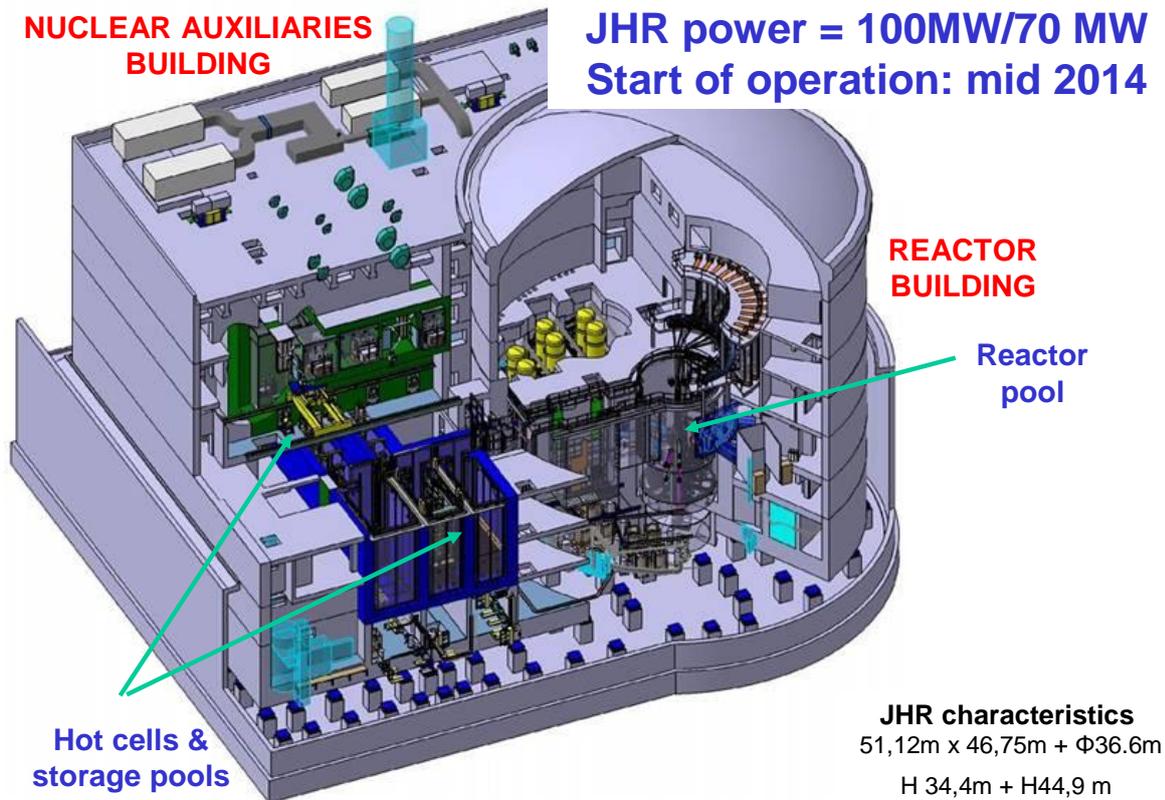
Note 2: calculations have been performed with a protective aluminum central plate (as shown on figure F3).

Table T2 - Reference core configuration

Thermal Nuclear power (MW)	100 MW
Core volume (l)	216 l
Average power density	460 kW/l
Max. perturbed fast flux on in-core standard irradiation device	5.5 10 ¹⁴ n/cm ² /s (Peak Value)
Max. perturbed fast flux on in-reflector standard irradiation device (fuel pin 1% U235)	8.8 10 ¹³ n/cm ² /s (Peak Value)
Linear power on the irradiation sample (fuel pin 1% U235)	600 W/cm (Peak Value)
Reactor cycle duration	26 Full Power Days
Max. Coolant velocity in the fuel element	15 m/s
Core outlet nominal pressure	6.5 bars
Reactivity control system	
Power regulation control rod: regulating rods	4 rods (Hf), Φ 33 mm
Reactivity control system : safety rods	4 rods (Hf or B4C), Φ 33 mm
Reactivity control system : compensation function: shim control rods	19 rods (Hf), Φ 33 mm
Burnable poison	Possibly up to 12 rods (Cd or Gd), Φ 29 mm between the elements

Questa facility é composta da un'Isola nucleare che include il Reactor Building (RB) e il Nuclear Auxiliaries Building (NAB).

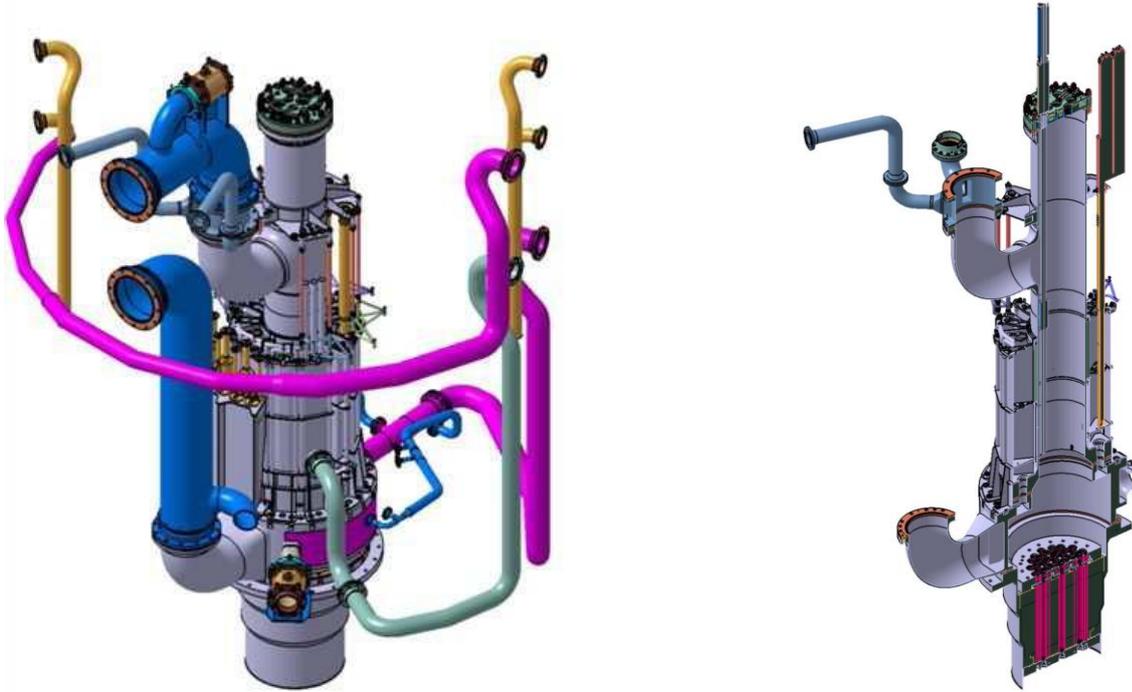
Oltre a cio' sono presenti edifici dedicati all'operatività del reattore (supporto elettrico e il raffreddamento) e dell'impianto (uffici vari e laboratori freddi).



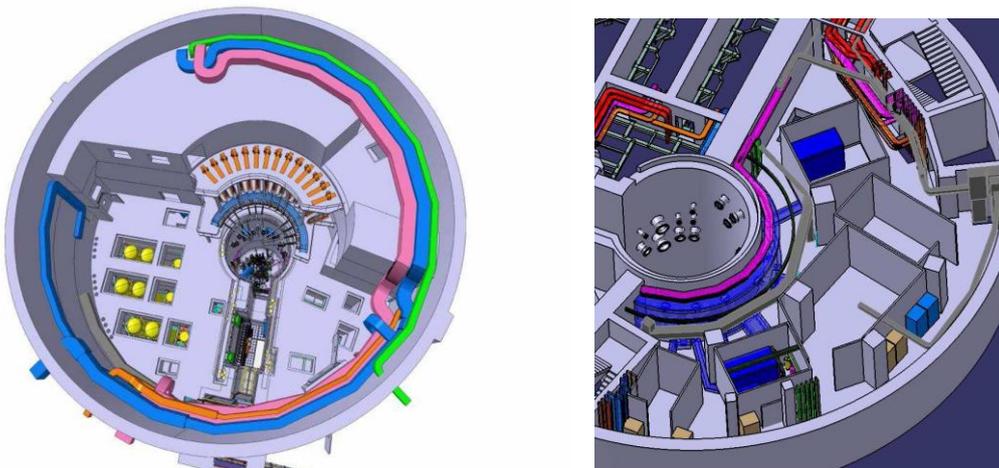
L'isola nucleare é progettata secondo i seguenti principi:

- il nocciolo e il circuito primario sono sistemati in piscina all'interno del RB;
- le parti fuori pila della strumentazione sperimentale sono poste nell'area sperimentale del RB;
- parte di questa area sperimentale é dedicata ai laboratori (laboratorio chimico, laboratorio analisi prodotti di fissione, laboratorio di dosimetria, laboratorio di radioprotezione)
- il laboratorio analisi prodotti di fissione (FP) in particolare puo' gestire più esperimenti contemporaneamente, peculiarità unica non presente negli altri reattori di ricerca ;
- la distanza fra il laboratorio PF e il nocciolo é minimizzato al fine di avere un segnale di alta qualità sul rilascio di questi PF, compresi i radioelementi di breve vita media ;
- le Hot cells, i laboratori (escluso quello dei PF) e le piscine di stoccaggio del combustibile sono sistemate nel NAB ;

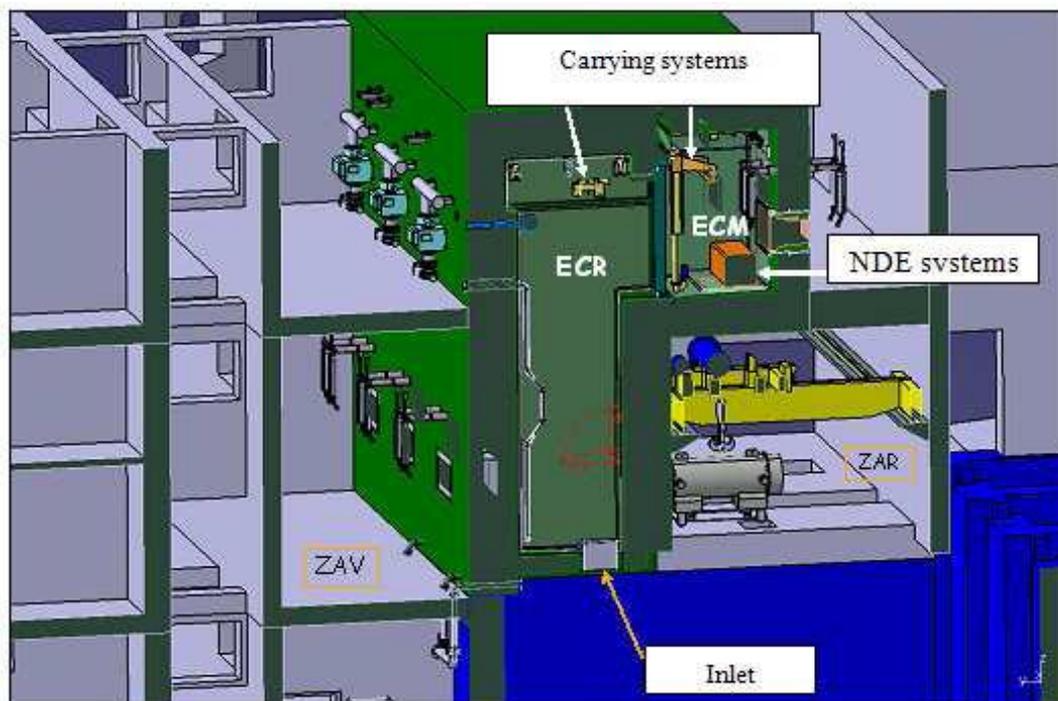
- i trasferimenti fra RB e NAB sono effettuati in acqua attraverso un sistema di piscine che collega il nocciolo, le piscine di stoccaggio e le hot cells.



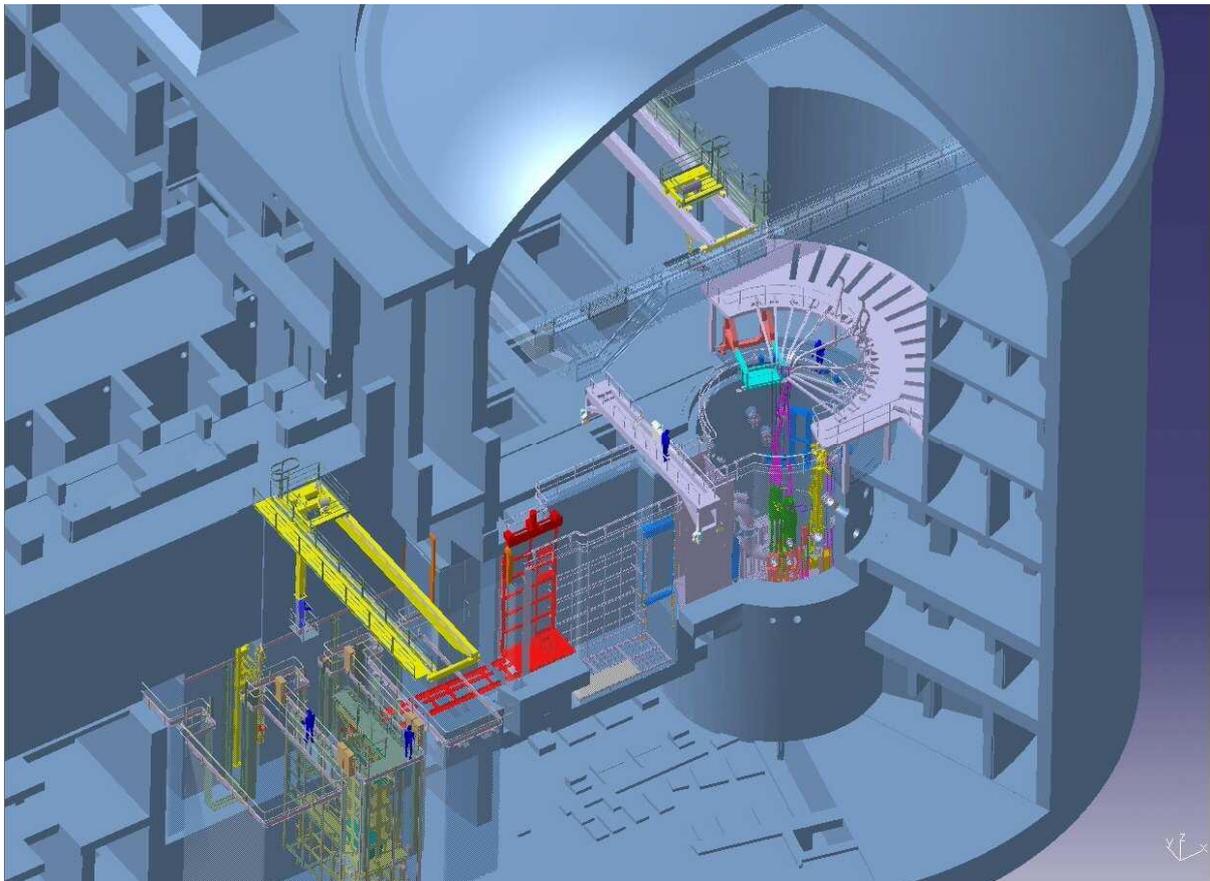
Schema prospettico del nocciolo e di parte del circuito primario



Schema prospettico del Reactor Building e della Experimental Area



Schema prospettico delle Hot Cells



Modalità di rimozione elementi di combustibile e dispositivi sperimentali verso le piscine

5 - Hot Cells

Il NAB (Nuclear Auxiliaries Building), collegato direttamente al RB (Reactor Building) attraverso canali in acqua che permettono il trasferimento in sicurezza dei dispositivi sperimentali, include anche un blocco di quattro *hot cells*, tre delle quali dedicate esclusivamente agli esperimenti e precisamente:

- sperimentazioni su materiali o campioni contenenti metallo liquido;
- sperimentazione sul combustibile;
- sperimentazione su combustibile con rottura di guaina per tests tipo LOCA.

Questa concezione consente la gestione dei dispositivi irradiati in aria e permette l'accesso ai campioni sperimentali durante le fasi inter o post irraggiamento.

Ogni hot cell è collegata alle celle "Non Destructive Examination" situate loro di fronte al fine di gestire visivamente operazioni a distanza e alla zona posteriore al fine di collegarle al trasporto dei contenitori.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	15	41

6 - Progetto del nocciolo

Le principali prestazioni che il nocciolo JHR dovrà fornire possono essere così riassunte :

- una significativa capacità sperimentale sui materiali e il combustibile nonché una efficace produzione di radioisotopi;
- flessibilità nell'implementare diverse configurazioni di nocciolo in accordo con le necessità e i carichi sperimentali richiesti;
- fornire significativi livelli di flusso di neutroni veloci e termici al fine di rispondere al meglio alle esigenze legate ai tests sul combustibile o sui materiali.

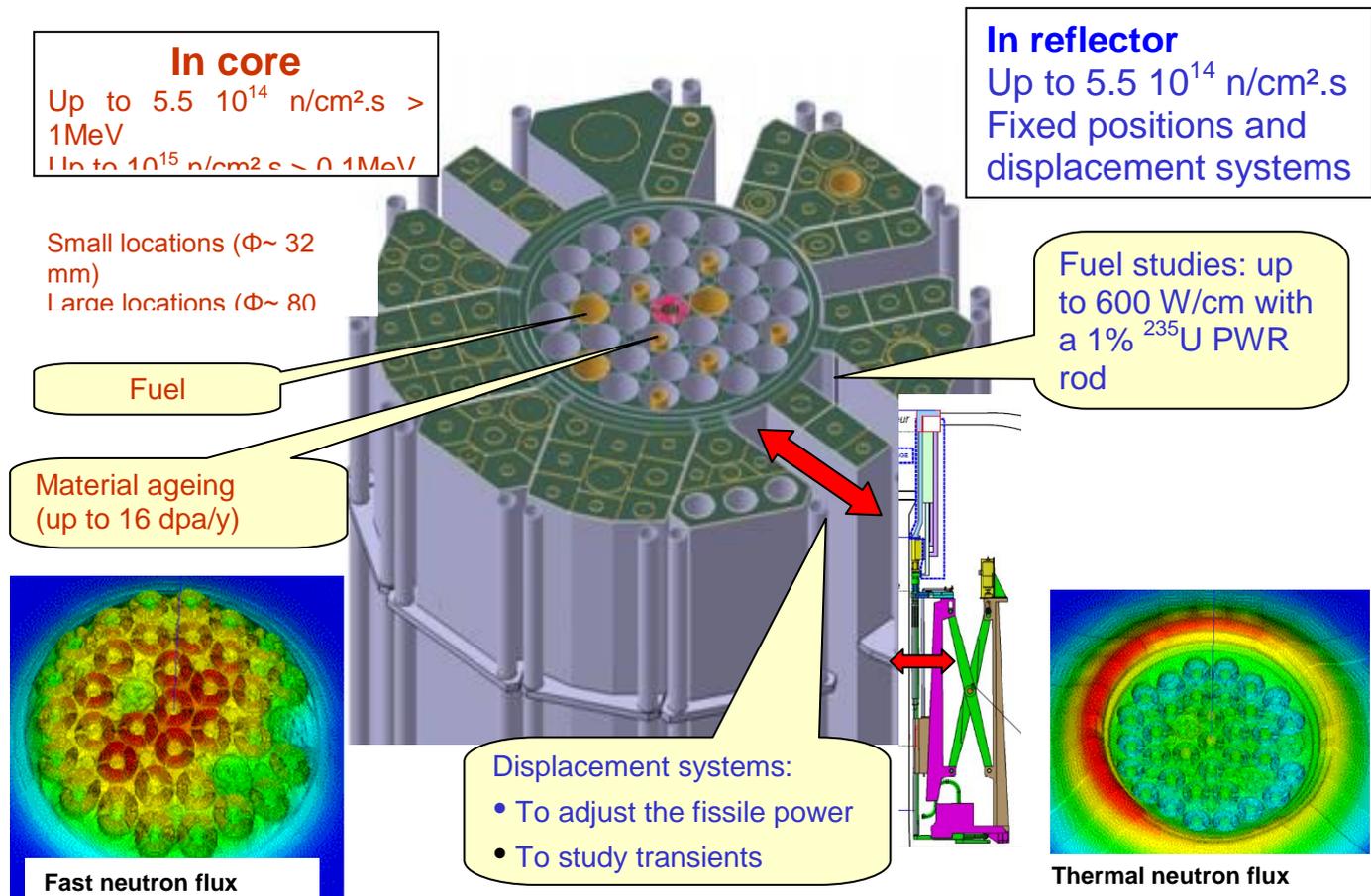
Le postazioni sperimentali sono state allocate sia nell'area del nocciolo vicino agli elementi di combustibile che nell'area del riflettore fuori dal vessel; tali postazioni sono state definite in relazione con la geometria dell'elemento di combustibile.

Per l'area del nocciolo ogni elemento di combustibile dispone di un foro centrale nel quale poter inserire ogni tipo di dispositivo sperimentale previsto.

Il progetto prevede inoltre due tipi di postazioni sperimentali : una « small size » per tests con diametro esterno di 32 mm al centro dell'elemento di combustibile (permettono un'ottima distribuzione di flusso veloce) e una « larger size » per esperimenti con diametro esterno di 70-85 mm che permettono di testare un intero elemento di combustibile.

La lunghezza totale della parte utile irraggiata di un dispositivo sperimentale è di circa 600 mm e il suo peso non supera i 10 kg.

Nella figura seguente sono schematizzate le diverse possibilità sperimentali nel nocciolo e nel riflettore (fino a 20 contemporaneamente).



L'area del nocciolo é circondata da un riflettore che contorna il vessel e che contribuisce alla formazione di un intenso flusso termico.

Le postazioni sperimentali in esso alloggiato hanno le dimensioni di 100 mm le standard e fino a 200 mm le speciali.

La zona del riflettore, essendo prospiciente la piscina del reattore, fornisce alle sue postazioni sperimentali una particolare flessibilit  dovuta al fatto che dispositivi sperimentali possono essere inseriti o tolti anche mentre il reattore   in potenza, pur tenendo conto dei vincoli legati alle variazioni di reattivit .

Si hanno inoltre due diversi tipi di posizioni : fisse e con un sistema di spostamento, atte queste ultime a fornire diversi tipi di variazioni di livelli di flusso o un determinato livello di flusso stabile durante l'intero ciclo.

I principali tipi di dispositivi sperimentali che   possibile irraggiare in JHR sono:

- supporti per campioni
- capsule
- loops in convezione forzata di vario tipo.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	17	41

Circa la configurazione del nocciolo vi sono due possibilità :

- un nocciolo di riferimento con 37 posizioni occupate da 34 elementi di combustibile e 3 postazioni sperimentali;
- un nocciolo più grande con 49 posizioni occupate da 43 elementi di combustibile e 6 postazioni sperimentali.

La compatibilità meccanica fra le due configurazioni é garantita.

L'avviamento di JHR avverrà con il nocciolo di riferimento; l'evoluzione verso il nocciolo ampliato dipenderà dalle esigenze sperimentali dei partners nei prossimi anni.

Mentre il nocciolo di riferimento é stato studiato a fondo, per quello ampliato le valutazioni sono state postposte in attesa di richieste legate a precise necessità.

La configurazione di nocciolo di riferimento stabilita fornisce il maggior flusso neutronico possibile sia nel nocciolo che nel riflettore rendendo ottimale il progetto base del sistema e dei componenti per una operatività a 100MW.

La progettazione ha previsto anche l'utilizzo del reattore ad una potenza inferiore di 70 MW ed è a questa potenza che avverrà il primo avviamento.

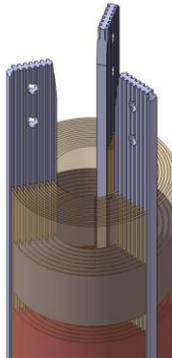
Queste le principali caratteristiche di progetto:

- progettazione del nocciolo basata sul concetto di un contenitore a piscina;
- potenza massima 100 MW o minore se richiesta;
- circuito primario chiuso leggermente pressurizzato (1,21 MPa in entrata e 0,66 MPa in uscita del nocciolo);
- temperature inferiore a 30 °C in entrata del nocciolo aumentata di 11 °C in uscita;
- il combustibile del primo ciclo, per funzionamento a 100 MW, é U3Si2 disperso in alluminio con U235 arricchito del 27% (funzionamento a 100MW);
- temperatura del cladding nella normale operatività non superiore a 150 °C;
- gli elementi di combustibile hanno lo stesso design per tutte le configurazioni di nocciolo e la particolarità di essere concepiti con un canale interno capace di alloggiare un device sperimentale del diametro di 32 mm.

La figura seguente schematizza queste particolari caratteristiche degli elementi di combustibile nonché le varie postazioni sperimentali nel nocciolo.

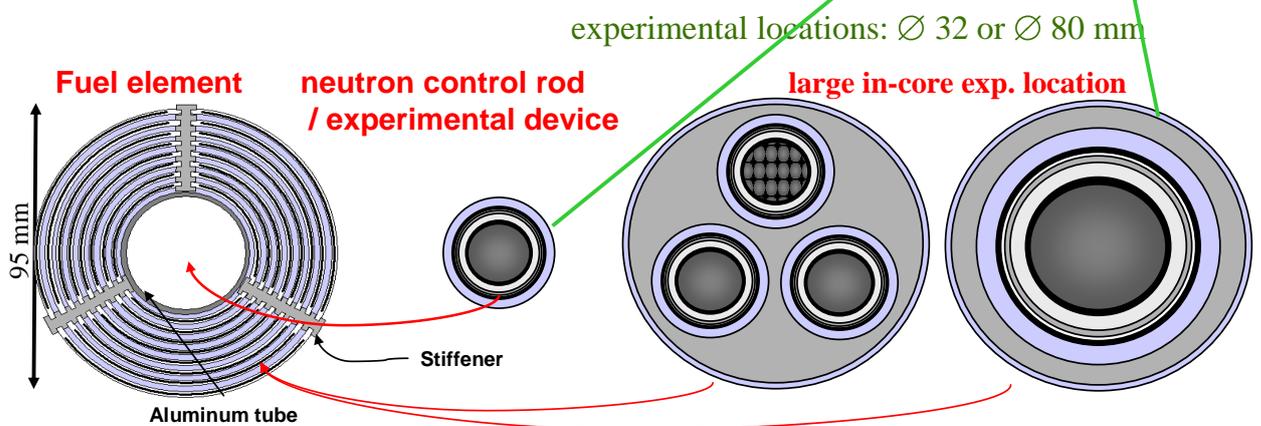
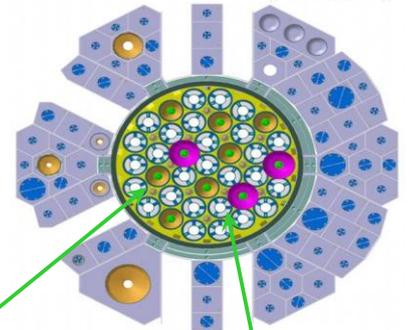


Fuel elements and in-core experimental location



**Reference LEU high density
Fuel for the JHR Project :**
UMo 8g/cc (19.75%)

Back-Up:
U3Si2: ≤27% U5, 4,8gU/cm³
Cladding Al FeNi



12 / 98

JHR Seminar-Idaho National Laboratory

September 2010

I dispositivi sperimentali possono essere alloggiati all'interno di un elemento di combustibile o sostituirlo completamente ma due dispositivi inseriti nel reattore contemporaneamente, per vincoli legati alle dimensioni del nocciolo, non possono essere sistemati l'uno vicino all'altro.

Tenendo conto della forma esagonale (maggiore compattezza quindi alto flusso neutronico) del nocciolo e del numero di dispositivi di irraggiamento e loro distribuzione in esso contenuti, il numero minimo di celle (diametro minimo 85 mm) nel « Core rack » (struttura portante che costituisce i canali nei quali sono alloggiati gli elementi di combustibile) è di 37.

Circa le prestazioni di un reattore con le caratteristiche indicate (U₃Si₂ con U²³⁵ arricchito al 27%, potenza di 100MW) queste sono :

- relativamente alla zona nocciolo e con materiale da testare, per posizioni sperimentali di piccolo diametro si può raggiungere un flusso (pressoché costante in tutte le posizioni) di 5×10^{14} n/cm²/s, mentre per posizioni sperimentali di maggior diametro si può raggiungere un flusso di 4×10^{14} n/cm²/s, che si riduce di circa il 50% nelle posizioni periferiche ;

- nella zona del riflettore e relativamente ai tests di combustibile, gli obiettivi sono quelli di ottenere un flusso termico rappresentativo delle condizioni reattore, condizione importante per studiare l'impoverimento delle barrette di combustibile arricchito o per fornire informazioni utili a esperimenti più complessi.

7 - Controllo e regolazione del reattore

Quattro barrette dedicate (AP), distribuite nel nocciolo, provvedono al controllo di reattività mentre la compensazione degli effetti del burnup é fornita da 19 shim rods (AC).

Il sistema di shut down primario e il sistema di controllo/compensazione usano lo stesso tipo di barrette ma diversi attuatori; le barrette di sicurezza sono disattivate nella normale operatività.

Le AC sono rimosse una per una al fine di mantenere le 4 AP vicine al centro del nocciolo dove il loro valore differenziale é massimo.

Il controllo della potenza si ottiene spostando opportunamente le barrette di controllo AP e AC ; questa soluzione fornisce una precisione dell'1% in condizioni normali o di transitorio lento fornendo un ottimo controllo delle condizioni sperimentali, mentre si ha una fluttuazione attorno al 3% durante transitori sperimentali.

Le figure seguenti mostrano il comportamento del nocciolo per due diversi scenari di potenza termica W in funzione del tempo.

La prima mostra le variazioni di potenza in condizioni normali, la seconda mostra la variazione di potenza durante un transitorio dovuto a un test di combustibile PWR.

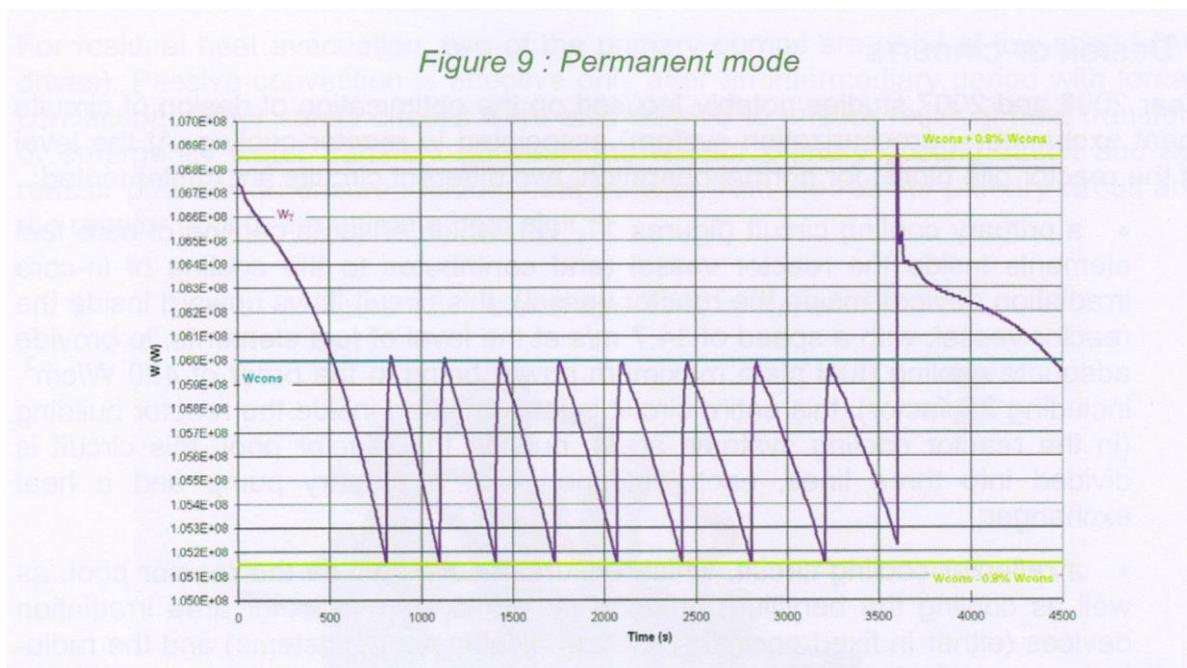
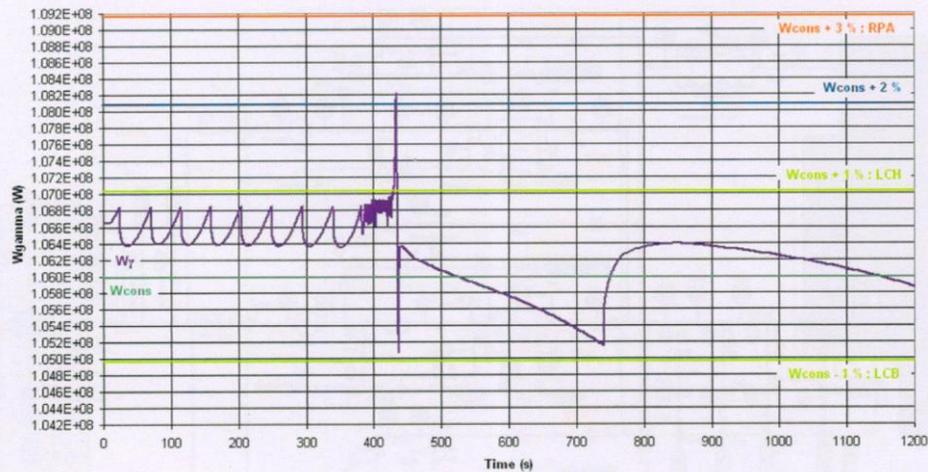


Figure 10 : Power of the reactor during fuel test on a displacement system¹.



8 - Progetto del circuito

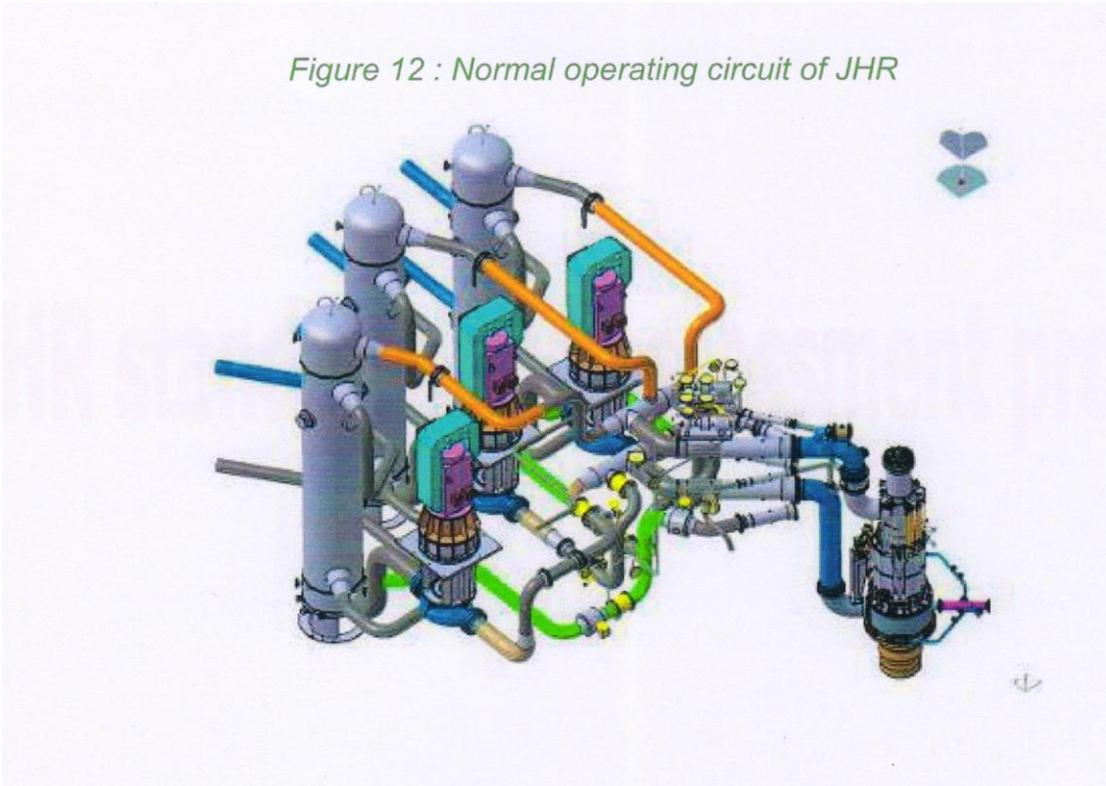
La zona del nocciolo é circondata da un riflettore (acqua e berillio) la cui funzione é quella di ottimizzare il flusso termico rendendolo più intenso nell'area del nocciolo.

Nelle normale operatività si hanno due diversi circuiti:

- un circuito di raffreddamento primario che assicura il raffreddamento degli elementi di combustibile all'interno del vessel e contribuisce al raffreddamento dei dispositivi d'irraggiamento presenti. Questo circuito é sistemato all'interno dell'edificio reattore ; esternamente alla piscina questo circuito si divide in tre linee, ciascuna dotata di una pompa primaria e di uno scambiatore di calore;
- un circuito di raffreddamento del riflettore che assicura il raffreddamento all'interno della piscina del reattore cosi' come il raffreddamento degli elementi riflettenti di berillio, i dispositivi di irraggiamento posizionati nell'area del riflettore (sia quelli nelle posizioni fisse che nei sistemi di spostamento) e la produzione dei radioisotopi. Questo circuito preleva l'acqua attraverso il riflettore, la trasferisce ad uno scambiatore di calore fuori Pila e la riporta nella piscina del reattore. Per la particolarità della sua concezione questo circuito serve anche come normale sistema di raffreddamento per la piscine del reattore. Questo circuito inoltre é diviso in due linee: una linea standard per la maggior parte del riflettore e dei dispositivi di irraggiamento e una linea dedicata per il settore dei radioisotopi nel riflettore.

Altri circuiti di sicurezza assicurano il trasferimento del calore residuo o dell'acqua di emergenza fra il circuito di raffreddamento primario e la piscina del reattore.

Figure 12 : Normal operating circuit of JHR



9 - Dispositivi sperimentali previsti in JHR

I dispositivi sperimentali previsti in JHR possono essere installati sia nel nocciolo che nel riflettore; non si é ancora definito un programma preciso di attività per i primi anni di funzionamento, questo verrà stabilito con una certa flessibilità in funzione delle esigenze degli utenti.

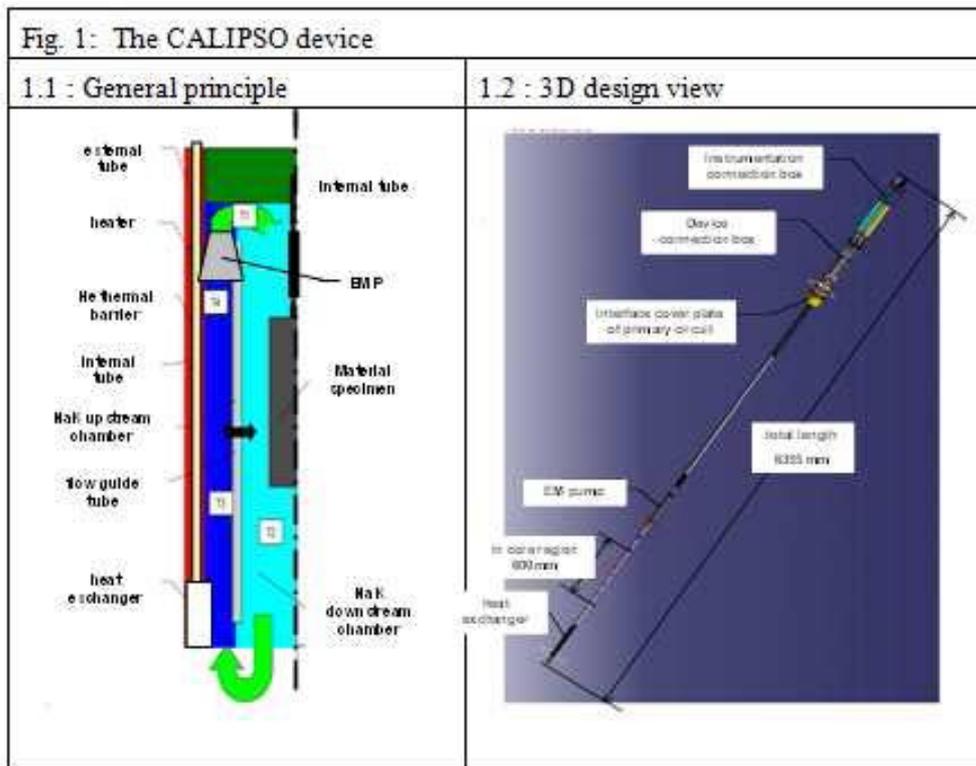
Nella sua fase iniziale il progetto prevede un primo gruppo costituito da quattro famiglie di dispositivi sperimentali che si valuta siano operativi al momento dell'avviamento del reattore.

Questi primi dispositivi consentiranno l'attuazione di un ampio spettro di programmi sperimentali per i quali sarà necessario sviluppare campioni e strumentazione associata dedicati ; queste valutazioni non sono gestite esclusivamente all'interno del progetto JHR ma saranno il risultato di indicazioni dei vari membri del Consorzio JHR.

Questi in sintesi gli obiettivi delle quattro famiglie di dispositivi sperimentali previste che, come possiamo osservare, affrontano il tema incidentale secondo una scala di gravità (normale, leggero, grave):

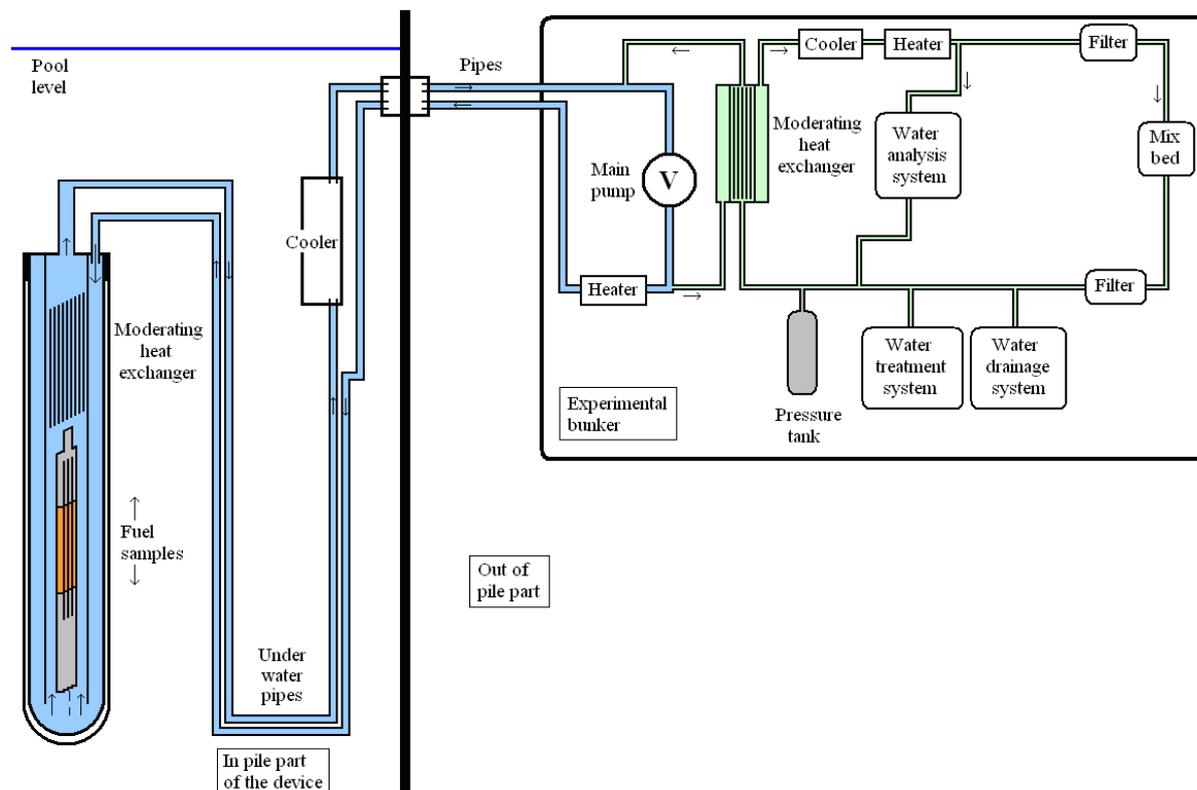
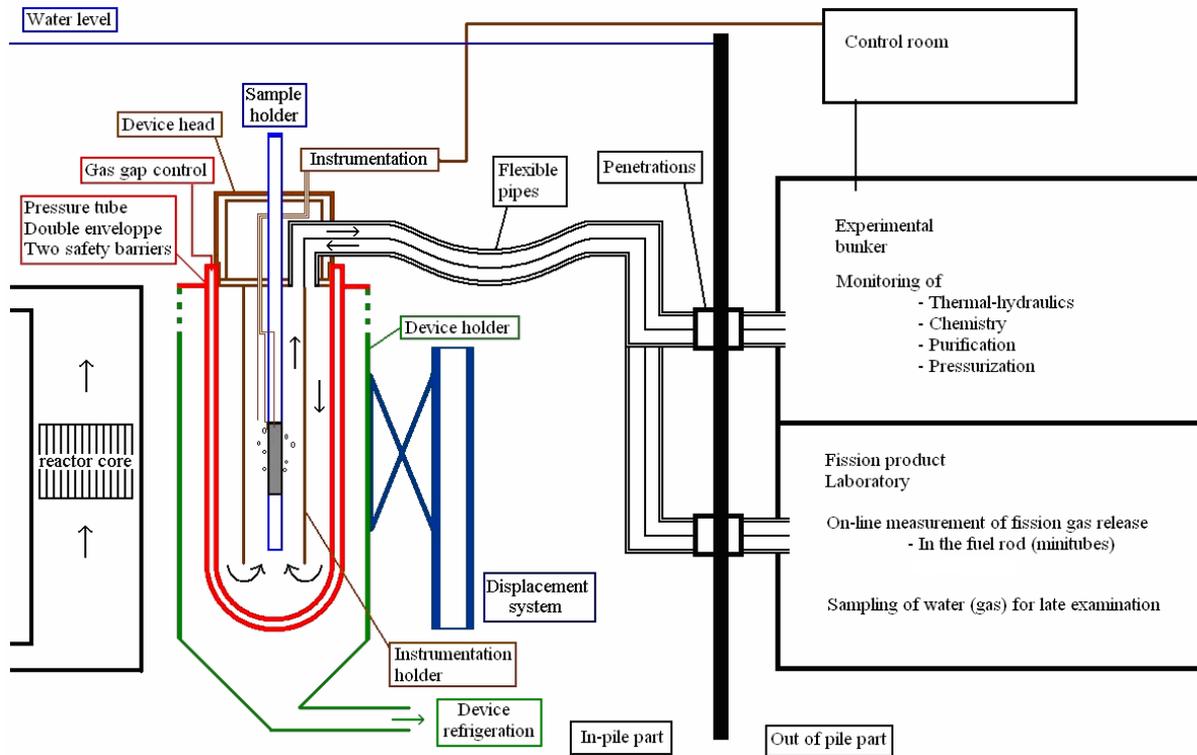
- CALIPSO (in Core Advanced Loop for Irradiation in Potassium Sodium). Obiettivo é l'irraggiamento a dose elevate di materiali nel nocciolo in un range di temperatura di 200 a 600 °C e, per poter raggiungere una temperatura omogenea nel dispositivo-campione sperimentale, utilizzando un ambiente NaK in convezione forzata. Particolarmente adatto per la qualificazione di nuovi materiali per il cladding questo dispositivo, grazie al suo particolare design, permette diverse opzioni in funzione degli

obiettivi sperimentali che si vogliono raggiungere. L'opzione MICA (Material Irradiation Capsule) per esempio riguarda un dispositivo sperimentale semplificato nel quale non si ha convezione forzata e che può supportare fino a 10 campioni tubolari sistemati verticalmente al suo interno.



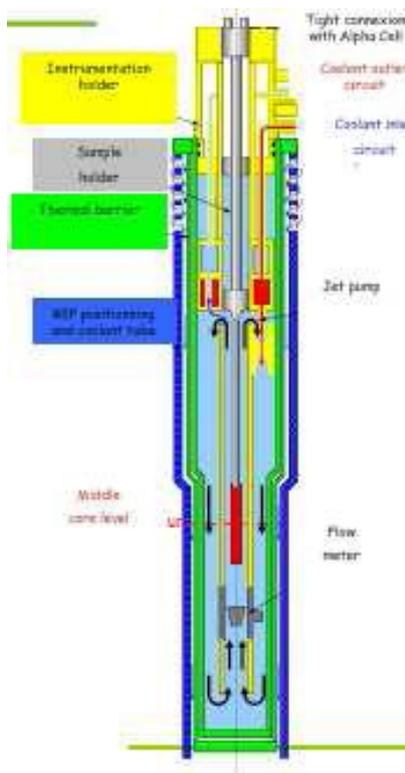
Schema del dispositivo CALIPSO

- MADISON (Multirod Adaptable Device for Irradiations of LWR fuel Samples Operating in Normal conditions). Questo gruppo affronta il tema dell'irraggiamento di barrette di combustibile LWR (PWR e BWR) in condizioni termoidrauliche e chimiche nominali per le quali non ci si aspetta una rottura di guaina e sistemate nel riflettore. Si prevede con questo dispositivo sperimentale di irraggiare quattro barrette con un livello di potenza omogeneo e un accurato sistema di monitoraggio delle condizioni di irraggiamento, con l'obiettivo di riprodurre le condizioni nominali dei reattori di potenza senza rottura del cladding. Verranno inoltre studiate le variazioni nelle proprietà del combustibile (microstruttura, proprietà meccaniche, ...) durante variazioni lente di potenza che siano rappresentative di transitori lenti nei reattori di potenza. Sono previsti anche irraggiamenti a lungo termine (superiori ai tre anni) volti a studiare i diversi aspetti dei fenomeni di corrosione del cladding.



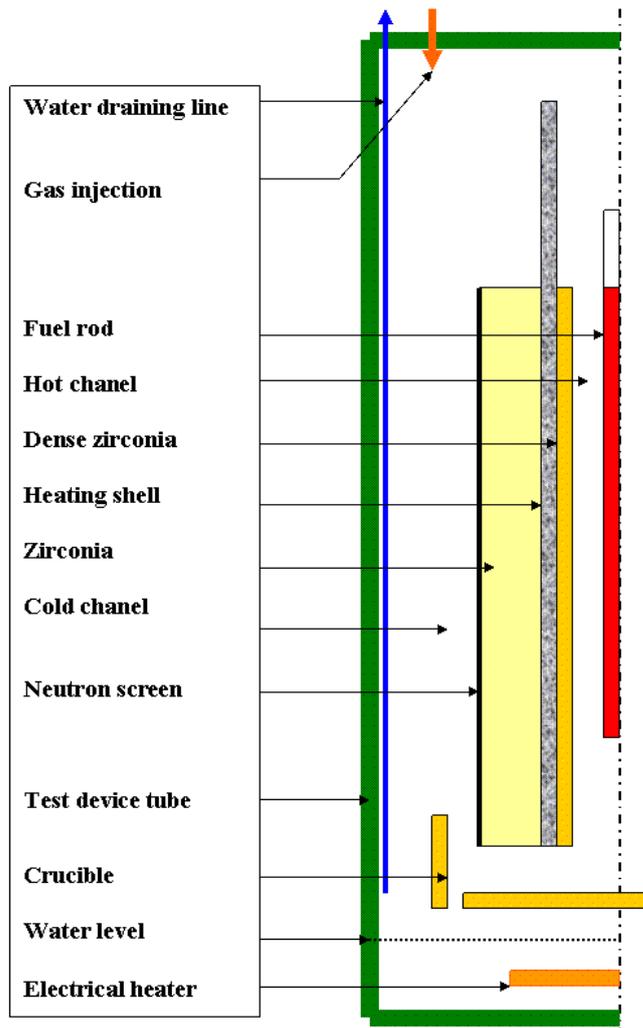
Schema del dispositivo MADISON

- ADELINe (Advanced Device for Experimenting up to Limits Irradiated Nuclear fuel Elements). Rivolto a studi sul combustibile dei reattori ad acqua in situazioni incidentali di transitorio di potenza, obiettivo di questo gruppo di dispositivi sperimentali é l'irraggiamento del combustibile LWR al fine di valutarne il comportamento oltre i criteri di dimensionamento. Studi post-rottura in condizioni nominali, valutazione delle soglie di fessurazione, comportamento del combustibile in condizioni anomale ma non ancora incidentali sono le sue principali possibilità di indagine.



Schema della parte in-pila del dispositivo ADELINe

- LORELEI (Light water One-Rod Equipment for Loca Experimental Investigations). Dedicato a studi sui transitori LOCA, studia la fenomenologia del comportamento termomeccanico di una barretta in queste condizioni e i conseguenti aspetti radiologici di un tale incidente con rilascio di prodotti di fissione (durante il transitorio ad alta temperatura ma anche durante il “long term” dopo la fase di spegnimento). Questo dispositivo sperimentale permette studi rappresentativi dei fenomeni di ballooning del cladding, corrosione ad alta temperature, quenching del cladding e comportamento post-quench della barretta del combustibile.



Schema del dispositivo LORELEI

10 - Caratteristiche tecniche della prima fase (2012 – 2015) del programma sperimentale JHIP (Julius Horowitz International Program)

Con l'avviamento di JHR, previsto per il 2014, il mondo della ricerca e dell'industria nucleare potrà disporre di un importante strumento di ricerca e sviluppo destinato a migliorare notevolmente le nostre conoscenze relative a « *termomeccanica* » e « *termine sorgente* » per i materiali utilizzati nelle centrali nucleari.

Al fine di preparare il programma di prove sperimentali previsto nel JHIP e da effettuarsi sull'impianto JHR ci si propone di partire con una fase preparatoria che, utilizzando le facility oggi esistenti, permetta di ottimizzarne e facilitarne lo svolgimento.

L'obiettivo della proposta tecnica che ne consegue è quello di avviare un programma di tests sperimentali centrati sull'obiettivo di migliorare le performances, in termini di affidabilità e

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	26	41

sicurezza, del combustibile dei reattori di II e III generazione, programma che verrà ripetuto in JHR una volta questo disponibile e che costituirà il principale tema di indagine nei primi anni della sua attività.

Per rispondere a queste esigenze nel 2009, in sede OECD, sono stati selezionati tre filoni di ricerca:

- comportamento del combustibile sotto l'effetto di un transitorio di potenza;
- comportamento termomeccanico del clad in condizioni di LOCA;
- Source Term durante un transitorio LOCA.

Il collegamento tecnico-sperimentale fra le Facility esistenti e JHR può essere così sintetizzato :

- una stessa serie di tests su transienti di potenza proposta nel reattore OSIRIS continuerà in JHR utilizzando un nuovo dispositivo – il circuito ADELIN - le cui caratteristiche sono simili a quelle del loop ISABELLE in OSIRIS. Il programma sperimentale elaborato con questi tests si propone di fornire informazioni relative a rottura di guaina, swelling e rilascio di gas per una barretta di combustibile in situazione reattore al fine di validare codici in grado di riprodurre e predire i risultati sperimentali. Questo è costituito da un esperimento con una barretta di combustibile irradiata e strumentata (termocoppie, sensori di pressione e acustico) focalizzato sulla cinetica di rilascio dei gas (di fissione e elio) e da esperimenti finalizzati alla comprensione dei meccanismi base utilizzando combustibile fresco;
- studi di tipo LOCA nel reattore JHR potranno essere realizzati nel dispositivo sperimentale LORELEI le cui caratteristiche sono quelle di poter investigare il comportamento termomeccanico di una singola barretta in tali condizioni (ballooning e fessurazione del clad, corrosione ad alte temperature, quenching e comportamento post-quench) e per valutare le conseguenze radiologiche associate a questi fenomeni (termine sorgente dei prodotti di fissione, impatto del combustibile fuoriuscito in seguito a rottura del clad). Alcuni esperimenti saranno di tipo semi-integrale, con una importante parte analitica che tuttavia fornisca informazioni accurate sul fenomeno indagato, con un livello di rappresentatività confrontabile a quella degli esperimenti integrali. Importante sarà infine fornire una caratterizzazione metallurgica e relative proprietà meccaniche del clad per ottimizzare l'interpretazione dei tests e una buona conoscenza della relativa fenomenologia, al fine di meglio definire le condizioni di svolgimento dei futuri tests e analisi post-test nella facility LORELEI;
- esperimenti di source term e esami post-test, collegati a JHR attraverso la piattaforma di fissione comune, verranno proposti nella facility LECA-STAR.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	27	41

11 - Modalità di funzionamento e gestione di JHR

Durante la fase di costruzione CEA é pienamente responsabile dell'organizzazione del progetto; verifiche annuali da parte del consorzio permetteranno di tenere sotto controllo i costi, il planning della realizzazione e le prestazioni dell'impianto.

Nella successiva fase operativa il Consorzio orienterà l'attività del progetto al fine di ottimizzare l'efficienza economica del ciclo di irraggiamento, sia dal punto di vista tecnico che organizzativo.

Il programma internazionale di attività del Progetto JHR, della durata di 4 anni, sarà di due tipi:

- *Proprietary Programs*, a disposizione dei soli membri del Consorzio e di loro esclusiva e piena proprietà, saranno finalizzati alle loro necessità sperimentali e/o di compagnie industriali o istituti di ricerca da loro rappresentati;
- *Julius Horowitz International Joint Program (JHIP)*, aperto anche a membri che non fanno parte del Consorzio e gestito da OECD/NEA, sarà rivolto a tematiche e priorità comuni a un'ampia comunità scientifica che condividerà le informazioni prodotte attraverso database comuni.

In termini quantitativi i *Proprietary Programs* copriranno circa il 60% dell'attività JHR mentre il restante 40% sarà a disposizione del *International Joint Program*.

Ulteriori *Access units* potranno essere concessi, nel rispetto della politica commerciale decisa dal Governing Board, a membri che non fanno parte del Consorzio.

Nel caso di membri del Consorzio che in un determinato anno non utilizzino i loro *Access Rights*, questi possono essere accumulati e trasferiti agli anni successivi, nel rispetto di regole ben codificate che ne stabiliscono quantità accumulabili e durata temporale di questo diritto.

12 - Prove previste nella prima fase del JHIP

Nel periodo temporale indicato in questa valutazione é necessario programmare e realizzare, su facilities già esistenti, prove sperimentali in appoggio ai tests del programma JHIP che verranno poi realizzati nel reattore JHR una volta avviato (per i dettagli circa le facilities e le prove vedi capitolo dedicato).

Si consideri che questo programma di attività lo si potrà realizzare se accettato da almeno dieci partners.

Vengono di seguito riportate le possibili opzioni, ancora in fase di definizione, di tale piano di attività preparatoria che prevede un programma base e un programma di prove supplementari, legate queste ultime alle esigenze e disponibilità economiche degli utilizzatori.

1) - *Comportamento del combustibile sottoposto a un transitorio di Potenza:*

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	28	41

- programma base con due esperimenti;
- programma ampliato con un test supplementare.

2 - LOCA e studi su Source Term

2 – 1) Comportamento termomeccanico del Clad in condizioni di LOCA:

- programma base con due esperimenti;
- programma ampliato con quattro tests supplementari.

2 – 2) Programma analitico “Accident Source Term”:

- programma base con due esperimenti;
- programma ampliato con due tests supplementari.

Un planning temporale indicativo per la realizzazione del programma JHIP é il seguente:

2009 – 2011: preparazione dei progetti pre-tests;

2012 – 2015: realizzazione della Fase-1 mediante tests sulle facility esistenti (OSIRIS, ...);

2016 – 2019: realizzazione della Fase-2 mediante tests sulle facility JHR.

13 - Cosa é il Consorzio che lo costruisce e lo gestisce, a quali condizioni economiche e in che forma se ne puo' fare parte.

Il Consorzio associa le diverse Istituzioni aderenti al progetto JHR attraverso un contratto volto a definire ruoli e compiti di ciascuno.

Scopo dell'accordo che ne deriva é quello di definire gli impegni che ciascuna delle parti si assume nell'attuazione del progetto JHR e di organizzare la gestione del progetto in tutti i suoi aspetti, sia tecnici che finanziari.

I principali obiettivi che attraverso questa realizzazione il Consorzio si pone sono :

- fornire un adeguato supporto agli impianti nucleari di potenza in termini di sicurezza, competitività, efficienza del ciclo del combustibile e vita dell'impianto;
- mantenere e sviluppare competenze di ampio interesse scientifico nel campo nucleare attraverso un Programma internazionale di ricerca che, attraverso i Paesi aderenti, coinvolga le rispettive industrie, istituzioni accademiche, autorità di sicurezza e centri di ricerca;

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	29	41

- valutare e sostenere gli sviluppi innovativi nel campo delle applicazioni sui futuri sistemi nucleari, sia per la produzione di energia elettrica che per applicazioni nucleari di altro tipo.

Ciascun membro del Consorzio riceverà in cambio del rispettivo contributo economico al progetto delle “*Access Unit*” che corrisponderanno al valore base dei diritti di accesso riferiti alla capacità sperimentale di JHR.

Ogni membro potrà designare un rappresentante nel *Governing Board* (GB), organismo responsabile della politica e della strategia del Consorzio, che resterà in carica quattro anni e il cui diritto di voto sarà proporzionale alla rispettiva quota ; il CEA avrà il diritto di veto sulle decisioni prese dal GB che tuttavia dovrà dettagliatamente giustificare.

Le decisioni, là dove l’unanimità non é richiesta, dovranno essere prese con una maggioranza dei 3/4.

CEA é il responsabile dell’intero progetto nella fase di costruzione ; successivamente, nella fase di funzionamento, sarà solo l’operatore che lo gestirà attraverso un *Project Leader* (non necessariamente del CEA) secondo la politica di attuazione decisa dal GB.

Altri organismi operativi sono :

- l’*Operation Committee* (OC), composto da 2 rappresentanti CEA, uno EDF, uno AREVA e uno in rappresentanza degli altri membri con un ruolo consultivo nella gestione del progetto e una funzione di supporto al Project Leader nelle scelte tecniche ed economiche;
- l’*International Advisory Group* (IAG), composto da un rappresentante per ogni Partner, con il compito di fornire le linee guida all’*Julius Horowitz International Joint Program* (JHIP) e di supportare il Project Leader nell’elaborazione di tale programma.

Il CEA, nella sua qualità di proprietario e operatore nucleare della facility JHR, puo’ dar corso ad accordi bilaterali concedendo parte dei suoi *Access Rights* a parti terze che in questo modo otterranno accesso alla capacità sperimentale di JHR pur non essendo membri del Consorzio, e questo in cambio di un appropriato contributo finanziario o in natura.

Il costo totale di costruzione sul quale calcolare le diverse quote di partecipazione é quello valutato al 01/01/2005 e consiste in 500 milioni di euro; gli inevitabili costi aggiuntivi e aggiornamenti di prezzo saranno sostenuti da CEA.

La quota minima per poter partecipare al Consorzio, corrispondente al 2% della capacità sperimentale di JHR, é di 10 milioni di Euro (condizioni economiche 2005).

Questo contributo puo’ essere versato in contanti oppure in natura, in quest’ultimo caso sia attraverso la fornitura di commesse che con la messa a disposizione di un equivalente numero di uomini/anno, oppure un mix fra queste opzioni.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	30	41

14 - Istituzioni che ad oggi partecipano al Consorzio

CEA é il proprietario e l'operatore nucleare di JHR nonchè, con il supporto tecnico di AREVA e EDF, il responsabile della sua costruzione; a lui solo spetta l'onere della sicurezza nucleare, sia nella fase di autorizzazione dell'impianto che della sua gestione, escludendo qualsiasi impegno su questo tema da parte dei partners del Consorzio.

La Comunità Europea è partner al 6% attraverso DGRTD e JRC.

I partners di CEA nel Consorzio sono: AREVA, CIEMAT (Spagna, con un consorzio di partners nazionali), EDF, JAEA (Giapone), NRI (Repubblica Ceca), SCK-CEN (Belgio), VTT (Finlandia, con un consorzio di partners nazionali).

Successivamente all'adesione di questo primo gruppo, nel 2007 sono stati conclusi accordi complementari con JAEA (Giapone), DAE (India) e VATTENFALL (Svezia).

15 - Cosa significherebbe per il nostro Paese essere parte del Consorzio

Da quanto finora illustrato appaiono chiari i vantaggi che ne trarrebbe il nostro Paese aderendo al Consorzio JHR:

- possibilità di ottenere commesse per le nostre industrie legate alla costruzione e all'equipaggiamento dell'impianto;
- possibilità di effettuare specifiche prove sperimentali funzionali alle industrie nazionali operanti nel settore nucleare e di venderne in modo autonomo i diritti;
- occasione unica e irripetibile di *Education & Training* per esperti nella gestione delle nostre future centrali.

Circa il reperimento della quota minima di partecipazione al Consorzio, che come abbiamo visto é di 10 milioni di Euro pagabili anche in natura, questo non dovrebbe essere uno scoglio insormontabile se gestito opportunamente insieme ad altri stakeholders.

Un esempio esplicativo: una quindicina di uomini/anno sia ENEA che di altri Enti (ENEL, ANSALDO, ...) distribuiti su 4-5 anni nella gestione dell'impianto sotto tutti i suoi aspetti (funzionamento + sperimentazione), coprirebbero ampiamente la quota di adesione al Consorzio.

Una tale collaborazione costituirebbe inoltre un'occasione unica e irripetibile di formazione professionale per esperti nella gestione delle nostre future centrali.

E' utile osservare che allo stato attuale un interesse prioritario per il CEA è il reperimento di risorse umane per la gestione/sperimentazione del reattore; in alternativa a questa ipotesi, o complementare ad essa, si puo' considerare la fornitura di strumentazione di laboratorio che, per mancanza di risorse, a tuttoggi non é stata ancora acquistata.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	31	41

16 - Partecipazione al Consorzio sotto forma di Sub-consorzi nazionali

Una modalità di partecipazione al consorzio attuata attraverso una particolare organizzazione della contribuzione in natura, che per la peculiarità della nostra situazione nazionale può essere presa da noi come esempio, è quella spagnola.

Il CIEMAT infatti ha aderito al consorzio JHR in rappresentanza di altri sei partners, con interessi prevalentemente nel mondo dell'industria nucleare, con i quali ha stipulato una sorta di consorzio nazionale volto a fornire la contribuzione in natura prevista (3 scambiatori di calore primari, un simulatore di circuito sperimentale, supporto tecnico) e a gestire le prove sperimentali che verranno effettuate secondo le loro necessità industriali.

Questi i partners di CIEMAT (Agenzia di ricerca pubblica nel campo dell'energia e dell'ambiente) nel Consorzio:

- CSN Consejo de Seguridad Nuclear – Autorità di sicurezza;
- EA Empresarios Agrupados - Società di architettura-ingegneria operante nei campi dell'energia, delle infrastrutture dei trasporti, dello spazio, della difesa e della tecnologia dell'informazione;
- ENSA – Fornitore di attrezzature, prodotti e servizi per l'industria nucleare civile;
- ENUSA Industrias Avanzadas – Progettazione e fabbricazione del combustibile per centrali nucleari;
- SOCOIN - Società di ingegneria sussidiaria del “Gas Natural Group” e specializzata nel settore energetico;
- TECNATOM – Società di ingegneria operante nei campi dell'energia sia nucleare che convenzionale, dei trasporti, del petrolchimico, dell'aviazione e dello spazio.

Importanti commesse, possibilità di disporre di prove sperimentali sui materiali e sul combustibile specifiche per le loro esigenze, formazione di quadri tecnico-scientifici da destinare ai loro impianti, costituiscono i risultati concreti forniti al sistema paese da questa scelta.

17 - Ipotesi alternativa all'adesione al Consorzio

In alternativa all'ipotesi di far parte del Consorzio esiste la possibilità di aderire, attraverso un programma stabilito in sede NEA, al JHIP usufruendo di quella parte (40%) dell'utilizzo di JHR messa a disposizione della comunità scientifica internazionale, condividendo le informazioni sui tests attraverso database comuni.

Il calcolo del costo di una tale adesione è complesso e legato non solo al numero dei partecipanti ma a parametri relativi al paese considerato, uno dei quali è il PIL.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	32	41

Una valutazione sommaria fatta considerando che la prima serie di esperimenti previsti (Transitori, LOCA, Source term) costerà all'incirca 5,5 milioni in 4 anni, per metà pagata dai francesi (EDF, AREVA, CEA, IRSN) e l'altra metà da tutti gli altri (una decina di Paesi), porta a definire un contributo di circa 60-80.000 Euro all'anno per 4 anni.

18 - Ruolo dell'ENEA in questo progetto - Attività svolta a tuttoggi dal gruppo ENEA distaccato a Cadarache e competenze acquisite

Al fine di valutare la partecipazione dell'Italia al Consorzio internazionale dei promotori l'ENEA, nel quadro di un più ampio accordo con il CEA (CEA-ENEA Framework Agreement del 22/07/09), ha attivato una collaborazione finalizzata sia a specifiche fasi di progettazione tecnica che all'approfondimento di quelle informazioni utili a valutare l'opportunità di una nostra adesione al progetto.

Tutto questo ha portato all'inserimento di tre unità (due dipendenti ENEA, uno dottorando Università di Bologna) nello staff di progettazione del JHR. La permanenza a Cadarache del gruppo ENEA, iniziata il 18 ottobre 2010, ha raggiunto i seguenti risultati:

Patrizio Console Camprini (Università di Bologna) nella prima fase della sua permanenza a Cadarache ha svolto una attività di ricerca volta a determinare l'evoluzione temporale della potenza di nocciolo del reattore JHR rispetto ad alcuni scenari di spegnimento in sicurezza. Dopo una prima fase dedicata all'apprendimento dei codici necessari, obiettivo dell'attività è stato quello di comprendere l'evoluzione della generazione di potenza all'interno dei dispositivi sperimentali durante vari scenari temporali di spegnimento del reattore per poterla confrontare con le potenzialità di refrigerazione di impianto nel contesto dell'analisi di sicurezza. Una prima serie di risultati è stata ottenuta mediante il codice di cinetica neutronica puntiforme DULCINEE. A fronte di un'evoluzione di antireattività, in funzione del tempo, il codice ha fornito la corrispondente variazione della potenza di nocciolo. I differenti scenari di spegnimento, e dunque le differenti leggi di inserzione di antireattività, sono stati coerenti con le diverse procedure di spegnimento secondo i relativi rapporti tecnici AREVA-TA.

In una seconda fase ha affrontato lo studio della determinazione del rapporto fra le reazioni di fissione che avvengono nel nocciolo e quelle che avvengono nei dispositivi sperimentali; è stato quindi possibile, mediante questa relazione, desumere la potenza del dispositivo in questione a partire dall'evoluzione della potenza di nocciolo precedentemente calcolata. Gli apparati sperimentali presi in considerazione per il calcolo di tali potenze sono stati: MOLFI, dispositivo collocato nel riflettore che ospita aghi di combustibile (fuel pins) tipo PWR con UAl (arricchito al 93% in ^{235}U) e ADELIN, dispositivo collocato nel riflettore che ospita aghi di combustibile (fuel pins) tipo PWR con UO_2 (arricchito all'1% in ^{235}U).

Mediante calcoli statici di trasporto ottenuti con il codice TRIPOLI 4 si terrà conto dei rapporti fra le reazioni di fissione; essi riguardano la configurazione a inserzione completa e, pertanto, si devono ritenere coerenti con le condizioni asintotiche a transitorio estinto.

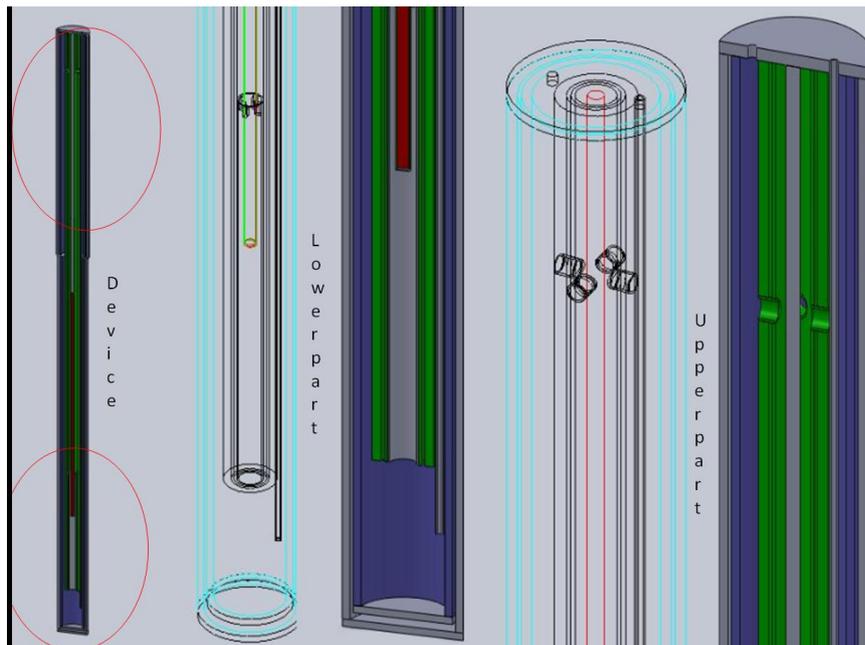
Questa attività nel suo complesso si propone di effettuare una descrizione completa dell'evoluzione temporale della potenza nei dispositivi sperimentali, considerando quindi anche i calcoli statici rispetto ai differenti avanzamenti nell'inserzione delle barre di controllo.

L'analisi sarà completata da calcoli parametrici con diverse configurazioni spaziali dei dispositivi in movimento e da una analisi della potenza dovuta all'irraggiamento gamma.

Saverio Nitti (ENEA) si occuperà della modellizzazione termoidraulica e termica dell'impianto LORELEI utilizzando il codice CATHARE e altri software adatti allo scopo.

E' LORELEI un impianto sperimentale concepito per lo studio di transitori di tipo LOCA, su una singola barretta di combustibile LWR, focalizzato sull'analisi delle conseguenze di tipo termomeccanico e radiologico.

Il dispositivo, costituito essenzialmente da camere anulari concentriche (vedi la figura seguente), sarà installato su un sistema mobile all'interno del guscio di schermaggio del reattore, la cui potenza potrà essere regolata variandone la posizione rispetto al nocciolo.



Geometria del dispositivo LORELEI

La sperimentazione avverrà in tre fasi: “re-irraggiamento” della barretta al fine di produrre un numero inventariabile di prodotti di fissione; “svuotamento” con igneazione di gas e conseguente surriscaldamento; “spegnimento” con igneazione d’acqua.

I fenomeni che si potranno così analizzare saranno: rigonfiamento, combustione e corrosione della guaina del combustibile, analisi e inventario dei prodotti di fissione.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 046	0	R	34	41

La necessaria progettazione termoidraulica preliminare si sviluppa su tre azioni principali: definizione di una geometria 3D; costruzione di un modello numerico; simulazione di funzionamento in condizioni stazionarie e transitorie per diversi valori di potenza.

Questa in maggior dettaglio l'attività prevista:

- *Definizione di una geometria 3D.* Partendo da una geometria bidimensionale utilizzata per studi preliminari di tipo termomeccanico, utilizzando il software SOLID-WORK si definisce una geometria tridimensionale del dispositivo sperimentale;
- *Costruzione di un modello numerico.* Partendo dalla geometria così definita si costruisce un modello numerico utilizzando il codice termoidraulico CATHARE;
- *Simulazione di funzionamento in condizioni stazionarie e transitorie per diversi valori di potenza.* Questi calcoli termoidraulici si sviluppano in tre fasi: Circolazione forzata (si impone una portata in ingresso al circuito al fine di inizializzare opportunamente il campo di moto); Circolazione naturale (partendo dal campo di moto stabilizzato in circolazione forzata si effettua il calcolo in circolazione naturale azzerando la portata in ingresso); “Svuotamento” e successivo “Riallagamento” (si simula lo svuotamento dell'impianto con ignizione di gas e successivo riallagamento con acqua). La simulazione avverrà a diversi valori di potenza fino a 400 w/cm.

Sandro Tirini (ENEA), con il compito di interfaccia fra il progetto JHR e l'ENEA, ha iniziato un approfondito lavoro di studio sulla documentazione tecnica e amministrativa al fine di valutare tutti gli aspetti che possano fornire all'ENEA le informazioni necessarie ad individuare gli interessi italiani (industriali e di ricerca) nel progetto JHR.

Obiettivo di questa expertise è quello di valutare l'opportunità della partecipazione dell'ENEA al Consorzio JHR e, in caso affermativo, proporre la modalità di adesione più consona alle nostre esigenze o, in alternativa, i vantaggi dell'adesione al Programma di prove sperimentali internazionali previste nei primi anni di funzionamento in sede OECD/NEA (JHIP – Jules Horowitz International Program).

Questa attività, oltre ad aver prodotto il presente rapporto tecnico, dovrà portare ad illustrare ai potenziali interlocutori i punti salienti del progetto.

Considerato infatti l'avanzato stato della costruzione di JHR, è bene attivare quanto prima tutti i canali necessari per sollecitare l'interesse delle Imprese nazionali, delle Istituzioni pubbliche e degli Enti di Ricerca operanti nel settore nucleare in questo progetto, cercando di favorirne l'adesione al Programma di prove sperimentali citato oppure al Consorzio.

A tal fine ENEA ha previsto per novembre 2011 a Roma, in collaborazione col CEA, un seminario rivolto agli Istituti di ricerca, alle Università e alle Imprese impegnati nella ricerca e nello sviluppo della tecnologia nucleare con lo scopo di presentare caratteristiche e potenzialità di tale reattore di ricerca, cercando in questo modo di stimolare l'interesse per una partecipazione italiana all'impresa.

ALLEGATO n. 1 - Alcune immagini del cantiere

18 / 98

JHR Seminar-Idaho National Laboratory

September 2010









