



Ricerca di Sistema elettrico

Raccolta delle Lecture del Workshop Tematico "LFR-Gen IV: Stato Attuale della Tecnologia e Prospettive di Sviluppo

Mariano Tarantino

Raccolta delle Lecture del Workshop Tematico "LFR-Gen IV: Stato Attuale della Tecnologia e Prospettive di Sviluppo"

Ivan Di Piazza - ENEA

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV Generazione

Obiettivo: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare

Responsabile del Progetto: Mariano Tarantino, ENEA

Titolo

Raccolta delle Lecture del Workshop Tematico “LFR-Gen. IV: Stato attuale della tecnologia e prospettive di sviluppo”

Descrittori

Tipologia del documento: Relazione di Convegno
Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE su sicurezza nucleare e reattori di IV generazione
Argomenti trattati: Generation IV Reactors

Sommario

Dal 21 al 22 Novembre 2013, presso il CR ENEA Brasimone, si è tenuto il Workshop tematico dal titolo “LFR-GEN IV STATO ATTUALE DELLA TECNOLOGIA E PROSPETTIVE DI SVILUPPO”, organizzato da ENEA in collaborazione con le principali università italiane che svolgono attività di ricerca in campo nucleare. Al Convegno ha partecipato in qualità di invitato “speciale” l’On. Gianluca Benamati, membro della Commissione Attività Produttive della Camera, ed ex-responsabile dell’Unità di Ingegneria Sperimentale del Brasimone. Il convegno è stato strutturato in sei sessioni: la prima di apertura seguita da 5 sessioni tecniche. Nella sessione di apertura sono state esposte le linee guida nazionali ed internazionali sulla progettazione dei reattori nucleari di quarta generazione raffreddati a piombo. Nelle sessioni tecniche sono stati esposti 35 lavori di ricerca sviluppati nell’ambito dell’AdP ENEA-MSE.

Note

Copia n.

In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE		NOME	M. Tarantino	A. Del Nevo	M. Tarantino
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	ADPFISS – LP2 – 077	0	L	2	18

LFR-GEN IV STATO ATTUALE DELLA TECNOLOGIA E PROSPETTIVE DI SVILUPPO

Dal 21 al 22 Novembre 2013, presso il CR ENEA Brasimone (Figura 1), si è tenuto il Workshop tematico dal titolo “LFR-GEN IV STATO ATTUALE DELLA TECNOLOGIA E PROSPETTIVE DI SVILUPPO”, organizzato da ENEA in collaborazione con le principali università italiane che svolgono attività di ricerca in campo nucleare.

Il Workshop, promosso nell’ambito delle attività inerenti la Linea Progettuale 2 “Collaborazione internazionale per il nucleare di IV generazione” dell’ AdP MSE-ENEA, è stato finalizzato ad:

- Analizzare lo stato progettuale della tecnologia dei sistemi LFR partendo dal lavoro svolto in ambito ADP;
- supportare la programmazione delle attività future, definendo le priorità di intervento in ambito italiano ed europeo;
- armonizzazione le strategie di sviluppo mediante l'incontro di tutti gli stakeholder italiani.

Il duplice obiettivo del Workshop è stato dunque quello di condividere lo stato dell’arte dei sistemi LFR tra gli stakeholder italiani definendo al contempo, in maniera condivisa e sinergica con il contesto Europeo, le linee di intervento future in ambito LFR.



Figura 1: Ingresso al CR ENEA Brasimone

Facenti parte del comitato organizzatore troviamo P. Agostini, responsabile della Unità Tecnica Ingegneria Sperimentale Termo-Fluidodinamica e Conduzione Impianti (UTIS) ENEA Brasimone, M. Tarantino, responsabile laboratorio UTIS-TCI, A. Del Nevo ed I. Di Piazza ricercatori UTIS ed infine A. Masinara, amministrativa gestionale presso l’ente di ricerca ENEA Brasimone.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	ADPFISS – LP2 – 077	0	L	3	18

I 74 partecipanti (Allegato 1) di cui 32 rappresentanti delle più prestigiose università italiane (Bologna, Milano, Palermo, Pisa Roma, Torino), 26 rappresentanti dell’Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), 10 rappresentanti delle eccellenze industriali presenti sul territorio nazionale come Ansaldo Nucleare, CSM S.p.a, FN S.p.a, Merivus, 4 rappresentanti dell’Istituto Italiano di Tecnologia (IIT), un rappresentante dell’ ente internazionale per l’energia atomica (IAEA) ed un rappresentante del Parlamento italiano sono stati accolti presso la sala conferenze del Centro Informazione ENEA (Figura 2) ubicato sulle rive del lago Brasimone.



Figura 2: Centro Informazioni ENEA

L’agenda del Workshop (Allegato 2) è stata suddivisa in 6 sessioni. All’interno della sessione di apertura sono state presentate le strategie e prospettive nazionali ed internazionali sui reattori di quarta generazione refrigerati a piombo liquido. Inoltre, è stata fornita un’ampia panoramica sullo stato attuale e sulle problematiche ancora aperte relative alla progettazione del reattore dimostratore ALFRED (Advanced Lead Fast Reactor Demonstrator). Per finire si è presentato il contributo del Consorzio Interuniversitario per la Ricerca Tecnologica Nucleare allo sviluppo dei reattori refrigerati a piombo. Al Convegno ha partecipato in qualità di invitato “speciale” l’On. Gianluca Benamati, membro della Commissione Attività Produttive della Camera, ed ex-responsabile dell’Unità di Ingegneria Sperimentale del Brasimone. L’On. Benamati è intervenuto all’interno della sessione di apertura per un indirizzo di saluto ed ha aggiornato la platea sulle iniziative parlamentari per il settore nucleare e per l’Agenzia ENEA, sottolineando l’urgenza dell’applicazione della Direttiva n.70 della Commissione Europea sulla gestione nazionale dei rifiuti radioattivi, sulla realizzazione del sito deposito nazionale, sul riordino della SOGIN e sul riordino dell’ENEA. Quanto alla tematica del reattore al piombo, ha sottolineato l’importanza della ricerca per il bruciamento delle scorie a lunga vita attraverso i reattori critici tipo LFR e sottocritici tipo ADS MYRRHA, assicurando il suo intervento attraverso risoluzioni già presentate e futuri passaggi in commissione.

All’interno delle 5 sessioni tecniche, sono stati presentati ben 35 lavori di ricerca sulle tematiche della Progettazione di Sistema, l’Analisi di Sicurezza, Sperimentazione e Qualifica Componenti, Fabbricazione e Sviluppo Coating, Sviluppo Modelli per Analisi di Sicurezza e dell’Accoppiamento tra Codici di Calcolo. Negli Allegati 3,4,5 e 6 vengono riportate le varie sintesi relative alle sessioni.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 077	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 4	di 18
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

ALLEGATI

1. AGENDA
2. LISTA DEI PARTECIPANTI AL CONGRESSO
3. SINTESI SESSIONE DI APERTURA
4. SINTESI SESSIONE 1
5. SINTESI SESSIONE 5
6. SINTESI SESSIONE 6

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 077	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 5	di 18
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

ALLEGATO 1



Workshop Tematico **LFR-GEN IV** **STATO ATTUALE DELLA TECNOLOGIA E** **PROSPETTIVE DI SVILUPPO**

ADP ENEA-MSE (PAR2012-LP2)

Brasimone, 21-22 Novembre, 2013

Centro Ricerche ENEA

Lago Brasimone, Camugnano, Italia

Presso il CR ENEA Brasimone si terrà, dall' 21 al 22 Novembre 2012, un Workshop tematico dal titolo "LFR-GEN IV STATO ATTUALE DELLA TECNOLOGIA E PROSPETTIVE DI SVILUPPO", organizzato da ENEA in collaborazione con le principali università italiane che svolgono attività di ricerca in campo nucleare.

Il Workshop, promosso nell'ambito delle attività inerenti la Linea Progettuale 2 "Collaborazione internazionale per il nucleare di IV generazione" dell' AdP MSE-ENEA, è finalizzato a :

- *analizzare lo stato attuale della tecnologia dei sistemi LFR partendo dal lavoro svolto in ambito ADP;*
- *supportare la programmazione delle attività future, definendo le priorità di intervento in ambito italiano ed europeo;*
- *armonizzazione le strategie di sviluppo mediante l'incontro di tutti gli stakeholder italiani.*

Il Workshop assume quindi il duplice obiettivo di condividere lo stato dell'arte dei sistemi LFR tra gli stakeholder italiani definendo al contempo, in maniera condivisa e sinergica con il contesto Europeo, le linee di intervento future in ambito LFR.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	ADPFISS – LP2 – 077	0	L	6	18

Comitato Organizzatore

M. Tarantino

mariano.tarantino@enea.it

P. Agostini

pietro.agostini@enea.it

A. Del Nevo

alessandro.delnevo@enea.it

I. Di Piazza

ivan.dipiazza@enea.it

A. Masinara

annamaria.masinara@enea.it

Giovedì 21 Novembre, 2013

	Ora	TITOLO	SPEAKER
		SESSIONE DI APERTURA	Chair: M. Sepielli
V-1	10,00-10,20	Sviluppo dei Sistemi LFR in Europa: strategie e prospettive	P. Agostini
V-2	10,20-10,40	LMFR: Stato e Prospettive a Livello Internazionale	S. Monti
V-3	10,40-11,00	DEMO-LFR ALFRED: Overview & Open Issues	L. Mansani
V-4	11,00-11,20	Il Contributo CIRTEN allo sviluppo dei sistemi LFR	G. Forasassi
	11,20-11,40	Coffee Break	
	SESSIONE 1	PROGETTAZIONE DI SISTEMA	Chair: L. Mansani
1-1	11,40-12,00	Sostenibilità dei Sistemi LFR	M. Ciotti
1-2	12,00-12,20	Reattore TAPIRO: Studi di trasporto neutronico rappresentativi dei sistemi LFR	M. Carta
1-3	12,20-12,40	Metodologia GPT applicata ai sistemi LFR. Esperienza GUINEVERE	A. Gandini
1-4	12,40-13,00	Valutazione di sezioni d'urto per sistemi veloci.	S. Dulla
1-5	13,00-13,20	Caratterizzazione neutronica e termoidraulica del nocciolo DEMO-LFR	G. Grasso
	13,20-15,00	Pranzo	
	SESSIONE 2	ANALISI DI SICUREZZA	Chair: S. Monti
2-1	15,00-15,20	Modelli di rilascio dei gas di fissione per combustibili MOX ad elevato burn-up	L. Luzzi
2-2	15,20-15,40	Analisi del comportamento del combustibile nucleare di tipo MOX	D. Rozzia
2-3	15,40-16,00	Analisi di scenari incidentali per sistemi LFR	I. Di Piazza

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione		Rev.	Distrib.	Pag.	di
	ADPFISS – LP2 – 077		0	L	7	18

2-4	16,00-16,20	Abbattimento degli Off-Gas in un sistema LFR	G. De Angelis
2-5	16,20-16,40	Interazione Fuel-Coolant in sistemi LFR	M. Mariani
	16,40-17,00	Coffee Break	
	SESSIONE 3	SPERIMENTAZIONE E QUALIFICA COMPONENTI	Chair: L. Cinotti
3-1	17,00-17,20	Generatore di vapore a tubi a baionetta per sistemi LFR. Sezione di prova HERO	D. Rozzia
3-2	17,20-17,40	Generatore di vapore a spirale piana. Prospettive e sviluppi futuri	L. Cinotti
3-3	17,40-18,00	Termoidraulica dei sistemi a piscina. Esperimento CIRCE	M. Tarantino
3-4	18,00-18,20	Termoidraulica dei sistemi LFR. Sperimentazione in regime di circolazione naturale e forzata.	I. Di Piazza
3-5	18,20-18,40	Esperienza LEXUR-II. Comportamento materiali strutturali irraggiati.	A. Gessi
3-6	18,40-19,00	Sviluppo di acciai strutturali per sistemi LFR. Acciai austenitici doppio stabilizzati	C. Cristalli
	19,00	Fine dei Lavori	

CENA SUL LAGO (ORE 19,30)

Venerdì 21 Novembre, 2013

	Ora	TITOLO	SPEAKER
	SESSIONE 4	FABBRICAZIONI E SVILUPPO COATING	CHAIR: G. FORASASSI
4-1	9,20-9,40	Fabbricazione elementi prototipici per sistemi LFR	E. Ghisolfi
4-2	9,40-10,00	Qualifica coating e materiali strutturali per sistemi LFR	M. Angiolini
4-3	10,00-10,20	Coating multilayer per sistemi LFR	A. Bellucci
4-4	10,20-10,40	Pulsed Laser Deposition. Potenzialità e stato dell'arte.	F. Di Fonzo
4-5	10,40-11,00	Irraggiamento con ioni pesanti. Caratterizzazione materiali strutturali ricoperti	F. García Ferrè
4-6	11,00-11,20	Metodiche per la caratterizzazione dei coating.	F. Nanni
	11,20-11,40	Coffee Break	
	SESSIONE 5	SVILUPPO MODELLI PER ANALISI SICUREZZA	Chair: P. Meloni

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione		Rev.	Distrib.	Pag.	di
	ADPFISS – LP2 – 077		0	L	8	18

5-1	11,40-12,00	Determinazione e qualifica dei parametri di sicurezza del core di un LMFR	C. Parisi
5-2	12,00-12,20	Qualifica di codici di calcolo in supporto all'analisi di sicurezza dei sistemi nucleari a metallo liquido	A. Del Nevo
5-3	12,20-12,40	Sviluppo e qualifica del modello termoidraulico tridimensionale RELAP5-3D del reattore EBR-II	E. Martelli
5-4	12,40-13,00	Sviluppo e qualifica della nodalizzazione REALP5-3D a supporto dell'analisi di combustibile del reattore CP-ESR	C. Venturi
5-5	13,00-13,20	Simulazione ingegneristica di NPP: status e prospettive per designing di LFR	C. Parisi
	13,20-14,40	Pranzo	
	SESSIONE 6	ACCOPPIAMENTO CODICI DI CALCOLO	Chair: N. Forgione
6-1	14,40-15,00	Accoppiamento fra codici di sistema e codici CFD. Stato e prospettive	F. Moretti
6-2	15,00-15,20	Accoppiamento fra codici di sistema e di CFD all'analisi di post-test di attività sperimentali.	N. Forgione
6-3	15,20-15,40	Sviluppo del codice FEM-LCORE. Simulazioni in regime transitorio	S. Manservigi
6-4	15,40-16,00	Validazione del codice FRENETIC	R. Bonifetto
6-5	16,00-16,20	Metodologie e analisi per la valutazione del fenomeno della core-compaction	R. Lo Frano
		CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	Chair: P. Agostini
	17,15	Fine del Workshop	

ALLEGATO 2

Nome	AFFILIAZIONE
AGOSTINI PIETRO	ENEA
ANGIOLINI MASSIMO	ENEA
ANTONELLI ANDREA	ENEA
ASCIONE ROCCO	ENEA
BARONE GIANLUCA	UNIV. PISA
BEGHI MARCO	IST. IT. TECNOLOGIA
BELLUCCI ALESSANDRA	CSM
BENAMATI GIANLUCA	DEP. CAMERA
BIANCHINI GIANCARLO	ENEA
BONIFETTO ROBERTO	POLITECNICO TORINO
CAPPELLI MARCO	ENEA
CARDELLA FRANCESCO	ENEA
CARTA MARIO	ENEA
CARUSO GIANFRANCO	UNIV. ROMA
CERRONI DANIELE	UNIV. BOLOGNA
CIAMBRELLA MASSIMO	UNIV. ROMA
CINOTTI LUCIANO	MERIVUS
CIOTTI MARCO	
CONSOLE CAMPRINI PATRIZIO	ENEA
CRISTALLI CARLO	ENEA
DE ANGELIS GIORGIO	ENEA
DE ROSA FELICE	ENEA
DEL NEVO ALESSANDRO	ENEA
DIAMANTI DARIO	ENEA
DI FONZO FABIO	IST. IT. TECNOLOGIA
DI PIAZZA IVAN	ENEA
DI ROCCO FEDERICO	UNIV. ROMA
DULLA SANDRA	POLITECNICO DI TORINO
EBOLI MARICA	UNIV. PISA
FABRIZIO VALENTINA	UNIV. ROMA
FERRE FRANCISCO GARCIA	IST. IT. TECNOLOGIA
FERRONI LUISA	UNIV. ROMA
FORASASSI	INIV. PISA
FORGIONE NICOLA	UNIV. PISA
GAGGINI PIERANTONIO	ENEA
GANDINI AUGUSTO	UNIV. ROMA
GESSI ALESSANDRO	ENEA

GHISOLFI ENRICA	FN
GIARDINA MARIAROSA	UNIV. PALERMO
GRASSO GIACOMO	ENEA
IADICCIO ANDREA	IST. IT. TECNOLOGIA
LAMASTRA FRANCESCA	UNIV. TOR VERGATA
LEPORE LUIGI	ENEA
LO FRANO ROSA	UNIV. PISA
LORENZI STEFANO	POLITECNICO DI MILANO
LUZZI LELIO	POLITECNICO DI MILANO
MACERATA ELENA	POLITECNICO DI MILANO
MANNORI SIMONE	ENEA
MANSANI LUIGI	ANSALDO
MANSERVISI SANDRO	UNIV. BOLOGNA
MARTELLI DANIELE	UNIV. PISA
MARTELLI EMANUELA	UNIV. ROMA
MENGHINI FILIPPO	UNIV. BOLOGNA
MONNI GRAZIA	POLITECNICO DI TORINO
MONTI STEFANO	IAEA
MORETTI FABIO	UNIV. PISA
MOSSINI EROS	POLITECNICO DI MILANO
NANNI FRANCESCA	UNIV. TOR VERGATA
NAVIGLIO ANTONIO	UNIV. ROMA
NEGRENTI EMANUELE	ENEA
PARISI CARLO	ENEA
PESETTI ALESSIO	UNIV. PISA
PIZZOCRI DAVIDE	POLITECNICO DI MILANO
POLIDORI MASSIMILIANO	ENEA
REPETTO CARLO	FN
ROZZIA DAVIDE	ENEA
SEPPIELLI MASSIMO	ENEA
STOCCHI DOMENICO	CSM
TARANTINO MARIANO	ENEA
VANTURI CLAUDIA	UNIV. BOLOGNA
VENTURI GINO	ENEA
VODRET STEFANO	UNIV. ROMA

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 077	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 11	di 18
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

ALLEGATO 3

La Sessione di apertura ha riguardato l' inquadramento strategico progetto LFR - ALFRED, a livello nazionale, Europeo ed internazionale. Nell'ambito della sessione è stata inoltre fornita la descrizione generale del progetto e le "open issues", oltre alla illustrazione delle attività dell'Università del CIRTEN a supporto.

L'ing. Sepielli, responsabile dell'UT Tecnologie Fissione ENEA, ha introdotto il workshop con una breve relazione che è allegata in fondo alla presente nota di sintesi.

L'ing. Agostini, responsabile UT Ingegneria Sperimentale Brasimone dell'ENEA, ha parlato dello sviluppo del reattore LFR ALFRED in Europa in parallelo al progetto del reattore MYRRHA, sottolineando similitudini e differenze. Ha poi elencato le facilities sperimentali termoidrauliche a supporto (in particolare del Brasimone quali Athena, Circe, LECOR, Helios3 ecc., dell'SCK-CEN Mol, di Saluggia) e la relativa strumentazione; le Infrastrutture nucleari per irraggiamento e generazione dati nucleari (fra cui TAPIRO in sinergia con GUINEVERE). Ha quindi focalizzato le collaborazioni estere, in particolare con la Federazione russa, la Cina, la Romania, il Belgio.

Ha infine affrontato il tema dei finanziamenti per realizzare ALFRED, che dovranno provenire da fondi nazionali, Europei strutturali, HORIZON 2020, BEI, per un ammontare complessivo di circa 1.4 M€ di cui 460 per la ricerca (fase 1 di sviluppo) e il resto per la realizzazione (fase 2). Ha concluso con il cronoprogramma di realizzazione di ALFRED, che vede come primo step la creazione di un consorzio ENEA, Ansaldo, IRN (Romania) ed altri, denominato CONALF o FALCON.

L'ing. Stefano Monti, responsabile presso l'Agenzia atomica IAEA della Sezione Tecnologie di IV generazione, ha inquadrato il LFR nel contesto internazionale, in particolare IAEA e GIF. Sono state dapprima evidenziato le cause del mancato deployment dei reattori veloci ai livelli che erano attesi, in particolare i problemi della proliferazione, delle risorse uranifere al momento abbondanti, della riduzione della domanda di energia, degli elevati costi di costruzione. Per creare allora favorevoli condizioni di mercato, bisogna trarre vantaggio dalle flessibilità che il reattore presenta: la sua capacità di breeding e di burning, il suo utilizzo come SMR per produzione delocalizzata, come power station per grid-connection, per applicazioni non elettriche, e per la trasmutazione degli attinidi minori (MA) ed il bruciamento e riciclo del plutonio. Per quanto riguarda la safety, l'ing. Monti ha segnalato fra gli altri il 4th GIF/IAEA Workshop con l'obiettivo dell'emissione da parte IAEA e GIF delle safety design criteria e guidelines per il design di componenti e sistemi del reattore SFR con il coinvolgimento delle organizzazioni che stanno sviluppando i progetti di SFR. In particolare, I disegni innovative dei LMFR, dal punto di vista della Safety, dovranno prevedere approcci comuni ad esempio per I sistemi passivi di shutdown, affidabili, ridondanti, e diversificati, per I sistemi di decay heat removal (DHR) e di ultimate heat sinks, noccioli con coefficienti di reattività dei vuoti negativi, un NSSS ed un'impronta sul territorio molto compatti e limitati. Sono stati portati esempi di reattori in Francia (ASTRID), Federazione russa (BN-1200), Europa (ELFR).

Le sfide tecnologiche per lo sviluppo dei combustibili di fast reactor avanzati riguardano i new forms fuels, I MOx, I fuels contenenti attinidi minori (MA), gli alti burnup, le prestazioni termiche migliorate, breeding/bruciamento del Plutonio, il rateo consumo dei MA, questioni di non-proliferation, studi di trasmutazione. Altre sfide sono le tecnologie di riprocessamento, a umido e pirometallurgiche, ed I materiali strutturali, coatings e acciai ODS; componenti e strumentazione. Infine Monti ha sottolineato le iniziative di training e formazione,

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 077	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 12	di 18
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

informazione e diffusione, da parte dell’Agenzia atomica e gli scenari futuri di inserimento dei reattori LFR.

L’ing. Luigi Mansani, coordinatore di Ansaldo Nucleare per i progetti reattore LFR e sistemi ADS ha fornito una overview di DEMO-LFR ALFRED e le questioni progettuali ancora aperte. E’ stata fornita una descrizione dettagliata del reactor system and core system, sottolineando le caratteristiche di sicurezza intrinseca. Sono stati poi evidenziate le problematiche di core compaction, soprattutto a fronte di eventi sismici, I sistemi di Heat Decay removal, i dispositivi anti - flow blockage e anti -freezing, la questione dei materiali per far fronte ai problemi di erosion and corrosion, analizzata la sicurezza del progetto a fronte di un SGTR, la gestione della radiotoxicity da polonio in caso di utilizzo di eutettico piombo bismuto e il mercurio da spallazione per sistemi ADS. E’ stata affrontata la tematica della chimica del piombo, della lead purification, della ritenzione prodotti volatili e gassosi all’interno del refrigerante in caso di condizione normale ed incidentale. Positive risposte in generale che confermato la sicurezza e le prestazioni del reattore.

Il Prof. Giuseppe Forasassi, Ordinario di Impianti nucleari all’Università di Pisa e Presidente del CIRTEN, ha concluso le relazioni della sessione presentando le principali attività svolte dal CIRTEN nell’ambito dell’Accordo di Programma PAR 2012 LP2. Fra queste, lo studio fluidodinamico del bersaglio di spallazione windowless del reattore ADS, Il codice FRENETIC, a cura del POLITO, la regolazione e controllo LMR: stato dell’arte, a cura del POLIMI, l’analisi di interazione fluido-struttura nei reattori LFR, il fenomeno dello steam generator tube rupture (SGTR), l’accoppiamento di codici CFD e di sistema in sistemi a piscina e loop - Fenomeno del Core Compaction, l’analisi del comportamento del combustibile MOX e rilascio gas fissione, eseguiti da UNIPI, l’analisi di Sensitività mediante Teoria GPT in relazione agli LFR e la Sostenibilità a cura di UNIROMA. In generale un contributo di alta qualità come è nella tradizione del CIRTEN.

Conclusioni

Al Convegno ha partecipato in qualità di invitato “speciale” l’On. Gianluca Benamati, membro della Commissione Attività Produttive della Camera, ed ex-responsabile dell’Unità di Ingegneria Sperimentale del Brasimone. L’On. Benamati è intervenuto per un indirizzo di saluto ed ha aggiornato la platea sulle iniziative parlamentari per il settore nucleare e per l’Agenzia ENEA, sottolineando l’urgenza dell’applicazione della Direttiva n.70 della Commissione Europea sulla gestione nazionale dei rifiuti radioattivi, sulla realizzazione del sito deposito nazionale, sul riordino della SOGIN e sul riordino dell’ENEA. Quanto alla tematica del reattore al piombo, ha sottolineato l’importanza della ricerca per il bruciamento delle scorie a lunga vita attraverso i reattori critici tipo LFR e sottocritici tipo ADS MYRRHA, assicurando il suo intervento attraverso risoluzioni già presentate e futuri passaggi in commissione.

Per quanto riguarda le azioni preminenti per il futuro la costituzione del Consorzio internazionale FALCON e l’endorsment ed il sostegno governativo nazionale sono due step fondamentali per il futuro del reattore ALFRED. Sarà inoltre importante il riposizionamento di LFR in Europa a livello di SNETP ed ESNII per i quali il dimostratore del SFR ASTRID è la reference technology e ALFRED è attualmente shorter-term alternative technology (ALLEGRO è a sua volta un longer term technology). Credo che LFR abbia tutte le carte per essere considerato alla stregua di SFR nello sviluppo delle tecnologie e presenti migliori di caratteristiche di safety. Anche dal punto di vista normativo e regolatorio, gli standard per il design dei reattori di IV generazione sono tutti dettati al momento dal sodio e questo potrebbe far convergere la normativa europea quasi esclusivamente su quella francese (AFCEN, AFNOR), con una sottovalutazione di alcuni criteri di safety. E’ importante da questo punto

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 077	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 13	di 18
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

di vista il continuo scambio con CEA di informazioni sui reattori ASTRID ed ALFRED per le caratteristiche comuni dei reattori a metalli liquidi.

Le sinergie con Myrrha vanno mantenute e potenziate ed è fondamentale l'acquisizione dei dati nucleari provenienti da reattori a flusso veloce ma non solo vanno incrementati ed utilizzati. I reattori di ricerca nazionali possono dare un valido contributo.

Ultimo punto, le facilities di irraggiamento neutronico flusso veloce sono poche e costose e quindi bisognerà trovare dei modi economici di testare combustibile e materiali sotto irraggiamento. Sono proposti gli ioni pesanti che simulano i flussi neutronici, ma alla fine comunque prove realistiche in reattore vanno comunque effettuate.

Relazione di introduzione dell'ing. Sepielli al Workshop

Benvenuti a questo Workshop.

Ringrazio in primis gli organizzatori ed in particolare l'ing. Mariano Tarantino, di avermi invitato a presiedere questa sessione di apertura.

Ringrazio i numerosi relatori e tutti i partecipanti che rappresentano un po' il mondo degli addetti ai lavori della ricerca (ENEA), dell'Università (CIRTEN) e l'industria nucleare (Ansaldo).

Come sapete, lo sviluppo del reattore LFR, che è l'oggetto del Workshop avviene in tre contesti, nazionale, europeo ed internazionale.

In ambito nazionale, centrale e motore del progetto è l'accordo di programma con il MiSE finanziato attraverso la cassa conguaglio Ricerca sistema elettrico con supervisione dell'Autorità Energia Elettrica e Gas. E' questo finanziamento che permette di svolgere il grosso dell'attività della linea progettuale 2 del programma, i reattori di Gen IV, che saranno illustrate nel workshop. Certo, il finanziamento non è da solo sufficiente a sostenere il progetto che, a seguito dell'endorsement da parte del Ministero, andrebbe accompagnato da un sostegno specifico da parte del Governo come progetto tecnologico nazionale di punta innovativo in ambito internazionale

Il progetto LFR è svolto nel **contesto Europeo**, dove fonda sulla piattaforma SNETP del SET-Plan, di cui faccio parte come membro del Comitato Esecutivo (il Dr. Troiani è invece il nostro rappresentante ENEA nel GB), e sull'iniziativa industriale ESNII, in cui ENEA è rappresentata dall'ing. Agostini. SNETP e ESNII forniscono la base per lo sviluppo di infrastrutture e prototipi europei di reattori di IV generazione, fra cui il dimostratore di reattore veloce refrigerato al Pb puro, denominato ALFRED. Sempre in ambito Europeo, altre iniziative accompagnano lo sviluppo dei dimostratori come il Joint Project EERA – NM per lo sviluppo di materiali avanzati per applicazioni nucleari di tipo challenging come IV generazione e fusione.

In ambito internazionale, nel contesto IAEA il progetto LFR viene portato avanti in ambito della Task force sviluppo reattori innovativi di nuova generazione, in ambito GIF, il Generation IV forum, in cui è uno dei sei progetti, in INPRO, the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles, che si occupa della i reattori e ciclo combustibile sostenibile in tutti i Paesi membri dell'IAEA. Altrettanto importanti sono le collaborazioni bilaterali, in particolare con Federazione Russa, che ha una grossa esperienza nei sistemi al piombo, con la Cina, che è interessata alla tecnologia LFR nel suo programma di IV generazione, i Paesi dell'est europeo che sono aperti a consorziarsi per la costruzione del dimostratore ALFRED in Romania.

L'impegno di ENEA sul nucleare, nazionale ed internazionale, in particolare si articola su tre temi principali, la ricerca nel settore dei reattori innovativi, e, insieme con le sue

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 077	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 14	di 18
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

partecipate SIET e Nucleco, la sicurezza dei reattori e delle installazioni nucleari in operazione e la gestione e smaltimento dei rifiuti radioattivi.

I tre aspetti, **reattori veloci e ciclo chiuso**, sicurezza e soluzione rifiuti, sono intercorrelati e vanno tutti verso la sostenibilità dell'energia nucleare. I reattori di IV possono bruciare gli attinidi a lunga vita e minimizzare, anche in sinergia con sistemi ADS tipo il reattore MYRRHA, le cosiddette “scorie radioattive”, rilassando i requisiti del deposito finale, superficiale o geologico. Fra questi reattori, che utilizzano la risorsa uranio quasi integralmente, prolungandone quasi all'infinito la disponibilità, in particolare il LFR, presenta caratteristiche di sicurezza molto elevate perché lavora a pressione atmosferica, perché è intrinsecamente sicuro, perché non presenta reattività chimica con aria e con acqua. Le ricerche sono quindi quasi tutte rivolte al tema dei materiali avanzati, in grado di resistere alla corrosione del piombo ad alta temperatura e agli elevati flussi neutronici, come pure al controllo ottimale della termodinamica e della chimica del piombo per evitare i fenomeni di freezing e flow blockage.

Queste attività vengono svolte in ENEA da ricercatori di alto livello professionale (i nucleari io sostengo che sono i più preparati) e con importanti **infrastrutture sperimentali** e di calcolo. Cito i due reattori nucleari di ricerca della Casaccia, le facility sperimentali del Brasimone, i codici di modellistica e calcolo di Bologna, oltre agli istituti di radioprotezione e di metrologia delle radiazioni ionizzanti. Non è un caso che Enea sia fortemente presente oggi con le tre UT nucleari di Brasimone, Bologna e Casaccia che collaborano in stretta connessione per portare avanti il progetto insieme alle università nucleari, ad Ansaldo ed all'industria nazionale.

L'agenda prevede due giorni intensi di relazioni, con 6 sessioni e 36 presentazioni, con discussioni, dibattiti e prospettive.

La sessione di apertura comprende quattro relazioni introduttive, di visione e di strategia, presentate da 4 dei protagonisti del progetto LFR, ENEA, IAEA, grande industria e università:

- l'ing. **Pietro Agostini** dell'ENEA. Pietro Agostini direttore dell'unità tecnica ingegneria sperimentale del Brasimone e grande promotore del reattore LFR e del prototipo ALFRED, rappresentante di ENEA in ESNII
- **Ing. Stefano Monti** già responsabile ENEA della UT Metodologie per la fissione ed ora Task leader dell' IAEA Nuclear Technology Development Section,
- **Ing. Luigi Mansani**, as Project Engineer, coordinate all the Ansaldo technical activities on Generation IV reactors and ADS.
- **Prof. Forasassi**, Ordinario della cattedra di ingegneria nucleare all'università di Pisa e presidente del CIRTEN, membro AIN, dell'ENEN, grande ambasciatore dell'energia nucleare.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 077	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 15	di 18
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

ALLEGATO 4

Relazione sulla Sessione 1

Nella sessione 1 “Progettazione di sistema” sono state fatte 5 interessanti presentazioni su argomenti diversi tra loro ma finalizzati allo studio di problematiche dei reattori LFR.

Sostenibilità dei Sistemi LFR; M. Ciotti, J. Manzano, F. Giannetti, L. Ferroni

Ciotti nel suo lavoro ha affrontato la tematica della sostenibilità dei reattori veloci refrigerati a Piombo liquido nell’aspetto economico, ambientale e sociale arrivando a concludere che:

- La sostenibilità economica è di difficile valutazione e dipende principalmente dal contesto e dagli scenari energetici del futuro. Un sistema nucleare sinergico con altri paesi limitrofi può rappresentare una scelta economica vantaggiosa ed inoltre la possibilità di far affidamento su impianti non ubicate sul territorio Nazionale può superare i problemi di sostenibilità sociale.
- La sostenibilità ambientale è un punto di forza del reattore adiabatico.
- La sostenibilità sociale di un sistema nucleare in Italia può essere ricostruita dalle basi puntando sulle differenze con i sistemi tradizionali ed uno particolare sforzo dovrà essere dedicato alla comunicazione e alla gestione dei rapporti con il mondo “esterno”.

La valutazione economica del reattore ELFR è stata preliminarmente fatta nel progetto LEADER dove si è concluso che il costo è solo di circa il 10-20% superiore ad un reattore ad acqua passivo di terza generazione e uguale taglia. Questo esercizio dovrà essere ripetuto in futuro a mano a mano si rendano disponibili informazioni più dettagliate sulla configurazione.

Reattore TAPIRO: Studi di trasporto neutronico rappresentativi dei sistemi LFR; M. Carta, A. Gandini, V. Peluso, L. Ricci

Carta ha presentato il reattore TAPIRO e la possibilità di utilizzarlo per fare esperimenti in supporto alla tecnologia LFR. Particolarmente interessante è ad esempio un’esperienza di propagazione neutronica in un blocco di piombo installato nella ‘colonna termica’ (attualmente riempita con grafite) del reattore veloce TAPIRO. Misure di spettro neutronico ed esperienze di propagazione possono risultare ben correlabili con quantità integrali del reattore di riferimento di tipo LFR, in particolare l’effetto di vuoto del refrigerante piombo. I risultati delle simulazioni numeriche che ci ha presentato, eseguite per verificare la significatività delle esperienze proposte in rapporto al reattore di riferimento, appaiono confermare il ruolo del reattore TAPIRO come strumento utile per la progettazione dei reattori LFR della prossima generazione.

Possibili impieghi futuri del reattore TAPIRO riguardano il suo utilizzo come facility per studiare la neutronica dei sistemi sottocritici, in particolare il suo utilizzo per esperienze atte a studiare metodologie per la misura on-line del grado di sottocriticità del sistema. Si deve anche osservare che il reattore TAPIRO è uno dei pochi reattori, se non l’unico, ancora in funzione in Italia e che può dare un fattivo contributo allo sviluppo della tecnologia LFR.

Metodologia GPT applicata ai sistemi LFR. Esperienza GUINEVERE; A. Gandini, M. Carta, V. Fabrizio, V. Peluso

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	ADPFISS – LP2 – 077	0	L	16	18

Gandini ha fatto una presentazione sull'applicazione della metodologia GPT che consente di analizzare, attraverso calcoli di simulazione numerica, l'importanza di misure integrali in facilities veloci sperimentali in rapporto ad analoghe quantità nel reattore di riferimento. L'applicazione presentata è stata fatta sul reattore belga GUINEVERE, come rappresentativo di una facility sperimentale, in rapporto a progetti di reattori veloci refrigerati a piombo, come rappresentativi di sistemi di riferimento. I risultati complessivi ottenuti, nel caso di svuotamento parziale del nocciolo, mostrano che i componenti delle sensitività degli indici spettrali relativi a GUINEVERE sono molto simili a quelli relativi a MYRRHA.

E' tuttora in corso un'attività intesa ad analizzare il comportamento dei reattori della IV generazione durante il loro ciclo di vita (burn-up). Il lavoro è giunto ad uno stadio intermedio ed è stata testata con successo la procedura per il calcolo della funzione importanza legata alla densità dei nuclidi, importanza che viene definita sulla base del funzionale scelto. Il prossimo passo consisterà nell'introdurre gli effetti di non-linearità del campo composito neutroni/nuclidi.

ALFRED Reactor: Evaluation of Multi Temperature Cross Section Sets by deterministic and stochastic methods; S. Dulla, V. Fabrizio, A. G. Bianchini, V. Peluso, M. Nervo, P. Ravetto

Dulla ha presentato un interessante lavoro sulla generazione di sezioni d'urto collassate, in funzione della temperatura del combustibile (MOX) e del refrigerante (Piombo), per utilizzarle nell'analisi dei transitori del reattore ALFRED. La libreria delle sezioni d'urto è stata prodotta omogeneizzando a livello di elemento di combustibile e collassando in 5 gruppi di energia per essere usata nei calcoli di nocciolo per valutazioni neutroniche accoppiate alla termoidraulica. L'accesso alla libreria può essere fatto al volo con risparmio nei tempi di calcolo.

In futuro si prevede di fare un confronto dettagliato con lo spettro continuo ottenuto con i codici SERPENT e ERANOS (a 1968 gruppi) e con i 5 gruppi qui valutati. Inoltre si prevede di fare valutazioni neutroniche termoidrauliche accoppiate con il codice FRENETIC.

Caratterizzazione neutronica e termoidraulica del nocciolo DEMO-LFR; G. Grasso

Grasso ha presentato il lavoro di caratterizzazione neutronica di un nocciolo per un DEMO-LFR che utilizza elementi di combustibile quadrati aperti (senza la scatola). Si tratta del completamento di una attività iniziata da tempo. Dopo vari calcoli, è giunto ad una configurazione di nocciolo che rispetta tanto la condizione di criticità a fine ciclo con le barre di controllo estratte, quanto un ottimo appiattimento della distribuzione di potenza a livello di barrette e inoltre ha una potenza lineare massima accettabile (357 W/cm).

L'attività si ritiene conclusa.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 077	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 17	di 18
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

ALLEGATO 5

Sintesi sulla Sessione 5

P. Meloni

La Sezione 5 del Workshop, dedicata allo sviluppo di modelli l'analisi di sicurezza ed alla loro qualifica, comprendeva 5 presentazioni da parte dell'ENEA e dell'Università delle attività effettuate nell'ambito del PAR2012 dell'AdP MSE-ENEA

Tre di queste presentazioni hanno riguardato lavori relativi alla simulazione del reattore veloce a Sodio (SFR) collegandosi con la partecipazione dell'ENEA ad esercizi internazionali che hanno per oggetto questo tipo di reattore (IAEA "EBR-II" Coordinated Research Project e OECD/NEA Sodium Task Force).

In particolare, l'interesse del benchmark dell'IAEA è di poter validare i modelli numerici a fronte di dati sperimentali. L'attività di sviluppo ha riguardato per ora il modello T/H del reattore con il codice RELAP5-3D ed i calcoli sono stati limitati alle condizioni operative. Le simulazioni in regime incidentale, lo sviluppo di un modello neutronico ERANOS e l'accoppiamento neutronica-T/H sono già previsti per le prossime annualità dell'AdP.

L'esercizio dell'OECD, organizzato su una configurazione di reattore a pool, consentirà di mettere a punto una catena di codici per il progetto e le analisi di sicurezza di questo tipo di reattori di cui fa parte il dimostrativo LFR ALFRED. Sono già state presentate le attività di sviluppo ed i risultati preliminari relativi sia al modello neutronico del reattore con il codice Monte Carlo MCNPX sia al modello T/H con il codice RELAP5-3D. I calcoli neutronici particolarmente onerosi sono stati effettuati sulla griglia ENEA di Supercalcolo CRESCO.

E' stato inoltre presentata la revisione delle capacità e dei limiti dei codici T/H di sistema nelle analisi incidentali dei reattori Gen IV a piscina raffreddati a metallo liquido. Questo lavoro ha preso in considerazione una serie di attività di V&V effettuate con i codici RELAP5-3D e TRACE su impianti a Piombo-Bismuto nell'ultimo decennio. Le indicazioni ricavate sono interessanti, ma poiché le attività prese in considerazione non sono esaustive di quanto fatto nel passato questa azione potrebbe trovare completamento nei prossimi PAR, con l'obiettivo di ricostruire un matrice di validazione per i codici T/H di sistema.

Nella discussione seguita alle precedenti presentazioni è emersa la raccomandazione che, se disponibile, una matrice di validazione per i metalli liquidi pesanti dovrebbe essere presa in considerazione anche per la V&V dei nuovi codici che si stanno adattando per le analisi di sicurezza dei reattori LFR come il RELAP5-3D ed il CATHARE.

L'ultima presentazione della sezione era relativa allo sviluppo di un simulatore ingegneristico per lo sviluppo e progettazione di LFRs. Nella presentazione è stata fatta una panoramica delle necessità in termini di software, analizzando simulatori ingegneristici già esistenti ed il software già disponibile in ENEA e proponendo un'architettura software per la Piattaforma Simulazione Piombo (PSI). Nella discussione seguita è emerso che una tale architettura, visti anche i costi richiesti per il software di gestione (da sviluppare ad hoc), non appare giustificata dal corrente stato del progetto del dimostrativo LFR ALFRED. Un interessante commento è arrivato dall'IAEA, che consiglia di prendere in considerazione la realizzazione di un simulatore di tipologia "educational", che permetterebbe di mettere in luce le ottime caratteristiche di sicurezza del reattore e per il quale si potrebbe avvalere delle competenze della stessa IAEA.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS – LP2 – 077	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 18	di 18
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

ALLEGATO 6

Sintesi relativa alla sessione n. 6

La sessione n. 6 dal titolo “Accoppiamento Codici di Calcolo” ha visto la presentazione da parte di 6 lavori svolti da differenti gruppi di ricerca. Due di essi hanno riguardato l'accoppiamento tra un codice termoidraulico di sistema ed uno di fluidodinamica computazionale, uno è relativo alla validazione di un codice di termoidraulica con modello di neutronica al suo interno, uno allo sviluppo ed all'applicazione di un codice di CFD multiscala ed, infine, uno ha riguardato l'analisi del fenomeno del “core compaction” mediante un codice di meccanica strutturale. I lavori sono tutti di notevole rilievo per le tematiche inerenti la sicurezza dei reattori nucleari refrigerati a metallo liquido pesante.

Dalla breve discussione scaturita al termine delle presentazioni è emersa la continuità dei lavori del PAR 2012 con quelli dell'anno precedente e l'importanza della continuazione delle suddette attività di ricerca che risultano di importanza strategica per lo sviluppo della filiera LFR. In aggiunta, nella discussione che c'è stata al termine della sessione è stata evidenziata l'opportunità di un maggiore coordinamento tra i vari gruppi di ricerca che si occupano di accoppiamento tra codici e la possibilità di pubblicare i lavori svolti in conferenze internazionali, come ad esempio alla prossima conferenza ICONE22 nella quale è prevista una sessione dal titolo “Computational Fluid Dynamics (CFD) and Coupled Codes”, coerente con le attività svolte nel PAR2012 sull'accoppiamento dei codici.