

NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - REATTORI INNOVATIVI

Partecipazione in ambito Euratom e Generation IV International Forum (GIF) ai programmi per lo sviluppo di sistemi Lead Fast Reactor e Very High Temperature Reactor

Scenario di riferimento

I reattori di IV generazione sono sistemi ancora allo stadio concettuale che potranno divenire operativi all'orizzonte del 2040 e dovranno rispettare i seguenti requisiti:

- Sostenibilità, massimo utilizzo del combustibile e minimizzazione dei rifiuti radioattivi;
- Economicità, basso costo del ciclo di vita dell'impianto e rischio finanziario equivalente a quello di altri impianti energetici;
- Sicurezza e affidabilità, in particolare bassa probabilità di danni gravi al nocciolo del reattore e tolleranza a gravi errori umani, nessuno scenario credibile per il rilascio di radioattività e nessuna necessità di piani di emergenza per la difesa della salute pubblica;
- Resistenza alla proliferazione e protezione fisica tali da rendere non conveniente il furto o la produzione non dichiarata di materiale nucleare o l'uso illecito della tecnologia.

I Paesi inizialmente aderenti al GIF sono: Argentina, Brasile, Canada, Francia, Giappone, Gran Bretagna, Repubblica di Corea (Sud), Repubblica del Sud Africa, Svizzera, e Stati Uniti; anche l'Euratom, per l'Unione Europea, aderisce al Forum. Hanno recentemente aderito al GIF anche Cina e Federazione Russa. Esperti dei Paesi aderenti al GIF hanno esaminato un centinaio di alternative tecnologiche e, con l'emissione (2002) di una Technology Roadmap for Generation IV

Nuclear Energy Systems, hanno selezionato i sei concetti più promettenti, intorno a cui organizzare il successivo programma di ricerca e sviluppo:

- Gas-Cooled Fast Reactor (GFR) - reattori a spettro veloce, refrigerati a elio;
- Lead-Cooled Fast Reactor (LFR) - reattori a spettro veloce, refrigerati a piombo o eutettico piombo-bismutoi;
- Molten Salt Reactor (MSR) - reattori a fissione prodotta in una miscela circolante di sali fusi;
- Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR) - reattori a spettro veloce, refrigerati a sodio;
- Supercritical-Water-Cooled Reactor (SCWR) - reattore refrigerato ad acqua a temperatura e pressione oltre il punto critico;
- Very-High-Temperature Reactor (VHTR) - reattore moderato a grafite e refrigerato ad elio. Questo reattore è ottimizzato per la produzione termochimica di idrogeno, oltre che di elettricità.

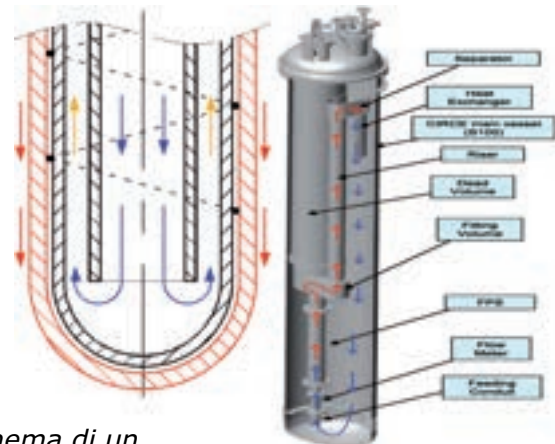
Obiettivi

L'obiettivo principale è quello di partecipare a pieno titolo allo sviluppo di un reattore di quarta generazione quale il Lead-Cooled Fast Reactor e/o il Very-High-Temperature Reactor e si articola nelle seguenti attività elementari:

- Prove integrali di grandi componenti del Lead-Cooled Fast Reactor (LFR);

- Tecnologie dei materiali e sistemi di purificazione del metallo liquido pesante;
- Sviluppo di programmi di calcolo di termofluidodinamica per sistemi nucleari raffreddati a metallo liquido pesante;
- Progettazione di noccioli innovativi di reattore LFR, incluso il nocciolo dell'impianto dimostrativo;
- Progettazione di isolatori sismici per LFR e relative prove sperimentali;
- Prove sperimentali e qualifica di codici di termofluidodinamica per Very High Temperature Reactors (VHTR);
- Qualifica codici di calcolo neutronico per VHTR.

L'attività sperimentale è volta a qualificare il componente monitorando: portata, pressione e temperatura dell'acqua all'ingresso dello scambiatore; sovrappressione all'uscita dello scambiatore (sulla testata) determinata dalle perdite di carico rispetto all'atmosfera, portata e temperatura del vapore prodotto.



Schema di un elemento scambiatore a tre pareti del DHR

Sezione di prova

Risultati

Specifica di prova e progettazione sezione di prova del Decay Heat Removal System (DHR) di un LFR

Sulla base della specifica funzionale di prova è stato sviluppato il progetto della sezione di prova da installare nell'impianto CIRCE presso il Centro ENEA Brasimone. Il componente prototipico DHR, frutto della collaborazione tra ENEA, l'operatore industriale DEL FUNGO GIERA ENERGIA SPA ed il CIRTEN, è costituito essenzialmente da un fascio di tubi a baionetta immerso in un bagno di piombo fuso. Una soluzione come quella proposta, caratterizzata da una doppia parete metallica con intercapedine riempita in elio, interposta tra il primario e il secondario negli elementi di scambio termico dello scambiatore immerso, permette di ottenere una barriera costituita da due pareti meccanicamente indipendenti, ciascuna delle quali dimensionata per resistere da sola ai carichi imposti. Si ottiene nel contempo un mezzo di monitoraggio in continuo, durante il funzionamento, dell'integrità di ciascuna delle due pareti, grazie al riempimento dell'intercapedine in elio.

Vista isometrica dell'impianto CIRCE



Realizzazione della girante di una pompa primaria di LFR

Una delle possibili configurazioni dei LFR presenta un circuito primario di tipo a piscina con circolazione forzata del fluido refrigerante (piombo) realizzata mediante un sistema di pompaggio meccanico. La girante di queste pompe si troverà ad operare in un ambiente particolarmente ostile: piombo fluente con velocità relativa dell'ordine di 10 m/s alla temperatura di 500 °C circa. Il corpo pompa sarà quindi soggetto a fenomeni di

corrosione/erosione combinati. L'attività è consistita nella progettazione e realizzazione di un prototipo di girante e nella ricerca e verifica sperimentale di un materiale costituente che presentasse elevata resistenza a corrosione/erosione. Il composto ternario Ti_3SiC_2 selezionato è stato testato attraverso una campagna sperimentale. Non si sono riscontrate né formazioni di ossidi superficiali né dissoluzione del materiale nel metallo liquido; il piombo non è penetrato attraverso le porosità aperte del Ti_3SiC_2 . È stata realizzata una girante interamente in Ti_3SiC_2 mediante lavorazione meccanica e elettroerosione, con ottimi risultati.



Girante, interamente realizzata in Ti_3SiC_2 , di pompa primaria di un LFR

Sviluppo sistemi di purificazione e di controllo dell'ossigeno in piombo

La concentrazione di ossigeno disciolto nel metallo liquido è un parametro di vitale importanza; il suo controllo permette di evitare la formazione di PbO , che causerebbe la solidificazione irreversibile dell'intero sistema e, al contempo, permette di gestire la formazione di ossidi di ferro superficiali sulla superficie degli acciai strutturali, evitandone la corrosione. Lo studio della chimica di questo tipo di refrigeranti ha due fondamentali aree di applicazione: l'analisi della reale composizione delle impurezze nel sistema e lo sviluppo di efficaci metodiche di campionamento; l'applicazione di tecniche sviluppate in laboratorio o in circuiti dedicati a sistemi più realistici a piscina. La prima attività ha portato interessanti risultati sulla composizione delle impurezze solide in Pb e PbBi, con anche sviluppo e miglioramento di sistemi di filtrazione. La seconda attività ha portato ad un primo prototipo di sistema integrato di controllo e monitoraggio dell'ossigeno nel sistema a piscina

CIRCE, nel quale vengono testati sensori elettrochimici precedentemente qualificati in impianti a loop.

Sviluppo di un codice di termofluidodinamica per noccioli a piombo

L'attività si inserisce nell'ambito degli studi di neutronica e termofluidodinamica di nocciolo e di messa a punto di metodi per la progettazione del core di un reattore veloce raffreddato a metallo liquido pesante. Per l'analisi di un nocciolo con elementi non inscatolati, raffreddati a piombo è stato seguito un approccio in due fasi:

- Utilizzo di un modello mono-dimensionale a canali indipendenti per una verifica dal punto di vista della termofluidodinamica e della sicurezza del progetto neutronico;
- Sviluppo di uno strumento per la valutazione degli effetti di mescolamento tra gli elementi per rimuovere l'eccessivo conservatorismo nelle analisi precedenti.

Diversi contributi hanno concorso al conseguimento dell'obiettivo:

- Sviluppo di un modulo CFD per la risoluzione delle equazioni di Navier-Stokes e dell'energia a livello di sub-assembly (Università di Bologna)
- Costruzione di un modello 3D di nocciolo a piombo con elementi non inscatolati e confronto con modello 1D multi-canale (ENEA)
- Simulazione CFD dettagliata di limitate regioni per una stima della viscosità turbolenta media e dei coefficienti di scambio d'energia tra sub-assemblies (CIRTEN).

Definizione concettuale del nocciolo dell'impianto dimostrativo (DEMO) di un LFR e sua integrazione nel sistema primario

L'attività è consistita in studi di neutronica per la definizione concettuale del nocciolo di un reattore

dimostrativo refrigerato a piombo, nonché nelle analisi combinate di neutronica e termoidraulica per la sua integrazione nel sistema primario. Sono state definite varie configurazioni di nocciolo DEMO per differenti valori dei parametri di riferimento e, in particolare, della temperatura massima della guaina del combustibile, da un lato per riprodurre le caratteristiche fondamentali dell'impianto LFR di taglia industriale e, dall'altro, per massimizzare il flusso neutronico ed effettuare nel DEMO prove di irraggiamento su materiali e combustibili avanzati per LFR.

Prove in regime transitorio sull'impianto HE-FUS3 dell'ENEA Brasimone funzionali allo sviluppo del VHTR e loro interpretazione

Scopo della campagna sperimentale era di fornire una base di dati sperimentali attendibili per la validazione dei codici di calcolo termo-idraulici per la progettazione e l'analisi di sicurezza dei reattori ad alta temperatura refrigerati a gas (VHTR). A tal fine sono state progettate e realizzate le necessarie modifiche meccaniche ed elettrostrumentali all'impianto ad elio HE-FUS3. Sono state effettuate prove sia in regime stazionario sia in regime transitorio (simulazione di eventi incidentali). Partendo da condizioni stazionarie del circuito, sono stati realizzati 4 transitori simulanti 4 diversi eventi incidentali: 2 Loss Of Flow Accident (LOFA) e due Loss Of Coolant Accident (LOCA). L'attività sperimentale è stata accompagnata da analisi numeriche di pre e post-test dei transitori effettuati sull'impianto HE-FUS3.

Simulazioni neutroniche e progettazione set-up TAPIRO per interfaccia core-riflettore di un VHTR

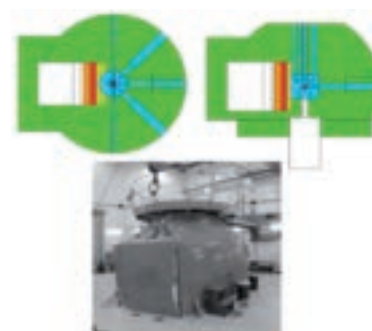
È stata effettuata un'estesa campagna di simula-

zioni, con metodi sia Monte Carlo sia di tipo deterministico, che ha permesso la progettazione di un set-up di prova e la definizione di una matrice di test, per l'analisi di interfaccia core-riflettore di reattori VHTR. La facility di irraggiamento verrà costruita nel vano colonna termica del reattore di ricerca Tapiro dell'ENEA Casaccia. Tale facility permetterà di realizzare flussi neutronici con distribuzione energetiche tipiche dei reattori a gas ad alta temperatura e di misurare le variazioni di tali flussi nell'attraversamento di sezioni di prova contigue di ferro, uranio e grafite. Le geometrie implementate, sebbene eterogenee, sono volutamente semplici in modo da poter essere riprodotte con facilità dai codici deterministici nell'ambito di un benchmark in via di definizione.

Impianto HE-FUS3 dell'ENEA Brasimone



Viste piana e laterale del modello MCNPX del Reattore TAPIRO e confronto con il sistema reale



Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.