



Collaborazione ai Programmi Internazionali per il Nucleare di IV Generazione

SCENARIO DI RIFERIMENTO

Nell'ambito dell'iniziativa europea ESNII (European Sustainable Nuclear Industrial Initiative), emanazione dello Strategic Energy Technology-Plan (SET-Plan), di cui ENEA è membro, si è rilanciato in Europa lo sviluppo tecnologico di sistemi nucleari veloci di quarta generazione.

Tra i sistemi di quarta generazione considerati nella strategia europea, particolare interesse rivestono i sistemi refrigerati a sodio (SFR – ASTRID, sviluppo di breve termine) o a metallo liquido pesante (LFR – ALFRED, ADS – MYRRHA, sviluppo di medio termine), in fase di



progettazione avanzata, in vista di richiedere all'autorità di sicurezza dei singoli stati membri l'autorizzazione alla costruzione ed esercizio nel periodo 2014-2020. I sistemi nucleari di quarta generazione devono rispondere ai seguenti requisiti:

- sostenibilità, ovvero massimo utilizzo del combustibile e minimizzazione dei rifiuti radioattivi;
- economicità, ovvero basso costo del ciclo di vita dell'impianto e livello di rischio finanziario equivalente a quello di altri impianti energetici;
- sicurezza e affidabilità, in termini di bassa probabilità di danni gravi al nocciolo del reattore e ampia tolleranza anche a gravi errori umani, con l'obiettivo finale di non dover richiedere piani di emergenza per la difesa della salute pubblica, escludendo qualsivoglia scenario credibile per il rilascio di radioattività fuori dal sito;
- 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 e da assicurare un'aumentata protezione contro attacchi terroristici.

In particolare i sistemi a spettro neutronico veloce permettono la chiusura del ciclo del combustibile e quindi la minimizzazione del volume di scorie e della loro radiotossicità.

In tale contesto, l'impegno italiano è focalizzato ai sistemi LFR – Lead cooled Fast Reactor (anche del tipo SMR – Small Modular Reactor) nella configurazione a piscina integrata, poiché potenzialmente soddisfano tutti i requisiti introdotti per i sistemi nucleari di quarta generazione.

L'uso di un refrigerante chimicamente compatibile con aria e acqua, con ottime proprietà intrinseche di schermaggio delle radiazioni e di ritenzione dei prodotti di fissione tipicamente responsabili della contaminazione ambientale in caso di incidente severo, e operante a bassa pressione, permette di aumentare sensibilmente la protezione fisica della popolazione residente nelle zone limitrofe alla installazione nucleare, riducendo inoltre la necessità di robusti e complessi sistemi di protezione contro eventi catastrofici (anche terroristici).

OBIETTIVI

Le attività di ricerca sono focalizzate sulla tecnologia dei reattori a piombo sia in una prospettiva futura di sviluppo del nucleare, sia per l'interesse e le competenze espresse dall'industria Italiana.

L'obiettivo principale è quindi il supporto alle attività di ricerca e sviluppo finalizzate alla costruzione

del reattore dimostrativo a piombo, di concezione ENEA-ANSALDO, denominato ALFRED. Sono state individuate tre macro aree di intervento, tutte afferenti allo sviluppo dei reattori di IV generazione e dei sistemi SMR refrigerati a piombo, che rappresentano altrettanti ambiti di criticità per ALFRED.

La prima macro area di intervento è denominata “progettazione di sistema e analisi di sicurezza”. Il progetto di un sistema LFR di grande o di piccola taglia (ALFRED, SMR-Lead), deve rispondere ai tre requisiti fondamentali di sicurezza, sostenibilità ed economicità per essere accettato e attuato. Vengono quindi approfonditi gli aspetti di sostenibilità, e tramite il reattore TAPIRO (ENEA) si sono avviati studi di dinamica neutronica in sistemi veloci. Si prosegue con le attività di concettualizzazione e progettazione del nocciolo del DEMO-LFR, e sono attivati studi e analisi di sicurezza sia sul sistema LFR che sul combustibile nucleare. Infine proseguono le attività di studio relativamente al rilascio e migrazione dei prodotti di fissione in caso di scenari di “core degradation” e dell’interazione “fuel-coolant”.

La seconda macro area ricade nell’area dei materiali e studi di fabbricazioni, ed è principalmente dedicata a esplorare l’applicabilità di differenti tecnologie di protezione dei materiali strutturali quando proposti per la realizzazione di guaine di combustibile per reattori refrigerati a piombo. Si tratta di tecnologie sviluppate da centri di ricerca italiani che verranno applicate e qualificate sperimentalmente in condizioni simili a quelle operative.

La terza macro area, afferente alla termoidraulica del refrigerante, ha carattere teorico-sperimentale e viene condotta con gli impianti di prova (NACIE, CIRCE, HELENA) del centro Brasimone. Le attività si articolano su: preparazione delle esperienze, conduzione delle prove, analisi numerica dei risultati, messa a punto e accoppiamento dei metodi di calcolo.

In sintesi gli obiettivi proposti sono:

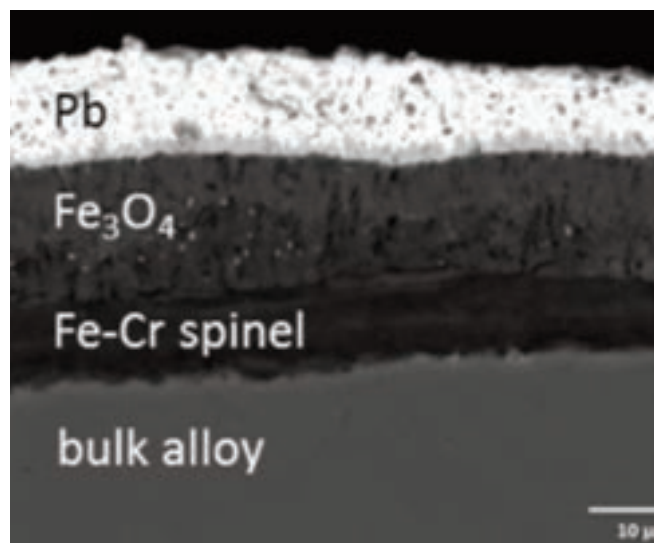
- qualifica e caratterizzazione sperimentale di componenti critici e strumentazione prototipica; realizzazione di campagne sperimentali per la validazione di modellistica e codici di calcolo;
- sviluppo e validazione di codici di calcolo per l’analisi termo-fluidodinamica dei sistemi LFR e SMR refrigerati a piombo; progettazione di dettaglio del nocciolo del dimostratore; studi di dinamica spaziale; progettazione del sistema primario e dei sistemi di rimozione del calore (SG, DHR, RVACS)
- caratterizzazione di acciai e rivestimenti strutturali in condizioni di irraggiamento e corrosione da



Vista del laboratorio di chimica del piombo presso il CR ENEA Brasimone

piombo;

- implementazione di infrastrutture di ricerca (HELENA), e aggiornamento di infrastrutture esistenti (CIRCE, NACIE), per la caratterizzazione del fascio di barrette, la caratterizzazione sperimentale dei sistemi di trasporto termico (DHR, SG), l’implementazione e la qualifica di strumentazione proto tipica; implementazione del laboratorio di termoidraulica dei metalli liquidi per la completa caratterizzazione dei refrigeranti per sistemi nucleari veloci;
- studi e sperimentazione in supporto alla progettazione del combustibile nucleare per reattori veloci, interazione refrigerante-combustibile-camicia.



Analisi SEM di acciaio strutturale soggetto a corrosione in piombo stagnante (550 °C, 1000 h)



Vista griglia spaziatrice del DEMO-LFR ALFRED (FN SPA)

RISULTATI

I principali risultati delle attività hanno riguardato lo sviluppo e validazione di codici di calcolo per l'analisi termo-fluidodinamica e la progettazione di dettaglio del nocciolo, la progettazione del sistema primario e dei sistemi di rimozione del calore (SG, DHR, RVACS) e lo sviluppo di strumentazione e sistemi di controllo a supporto del progetto.

Si è inoltre provveduto ad avviare, e in parte completare, la caratterizzazione di acciai e rivestimenti strutturali in condizioni di irraggiamento e corrosione da piombo, di particolare rilevanza per lo sviluppo della tecnologia degli LFR.

Infine si sono implementate infrastrutture di ricerca di enorme rilevanza (HELENA), e aggiornate le infrastrutture esistenti (CIRCE, NACIE), con lo scopo sia di caratterizzare lo scambio termico nel nocciolo, sia di caratterizzare sperimentalmente i sistemi di trasporto termico (DHR, SG).



Fuel Pin Bundle Simulator, Impianto NACIE

Riguardo la progettazione del nocciolo LFR sono stati affrontati diversi aspetti della ricerca che hanno condotto ai seguenti risultati:

- l'esperimento GUINEVERE critico con combustibile metallico e analisi coefficienti di correlazione con MHYRRA;
- la caratterizzazione neutronica e termoidraulica del nocciolo di AFRODITE. Nell'ambito delle analisi di sicurezza sono state avviate attività di supporto alla progettazione del combustibile nucleare e i risultati ottenuti si possono riassumere secondo il seguente elenco:
 - modelli di rilascio dei gas di fissione per combustibili MOX ad elevato burnup, validazione mediante database sperimentali; analisi del comportamento del combustibile in condizioni nominali e incidentali;
- qualifica di codici di calcolo dedicati alle analisi di sistema avanzati, con determinazione dei parametri di sicurezza del core e dell'andamento del burnup di un reattore veloce refrigerato a metallo liquido;
- analisi di uno scenario di flow-blockage, parziale congelamento e "core compaction" in un sistema LFR.

Per il rilascio e la migrazione dei prodotti di fissione i principali risultati ottenuti consistono in:

- studio sulle tecniche di abbattimento degli off-gas e studi sulle interazioni fra gas di fissione e refrigerante in un reattore LFR; studi di interazione combustibile-refrigerante;
- tecniche di ri-processamento del combustibile irraggiato per sistemi "adiabatici", e sperimentazione pirometallurgica sull'impianto pilota Pyrel III.

Riguardo la qualifica di coating e materiali strutturali per sistemi LFR sono stati riportati, descritti e discussi i risultati relativi alla realizzazione e alla successiva caratterizzazione microstrutturale, morfologica e meccanica di rivestimenti di FeAl, FeCrAl e Al_2O_3 per la protezione degli acciai dalla corrosione da metalli liquidi pesanti. I risultati ottenuti sono:

- sviluppo di sistemi multilayer per la protezione di materiali strutturali operanti in sistemi nucleari refrigerati a piombo;
- sviluppo di layer per la protezione di materiali strutturali operanti in sistemi nucleari refrigerati a piombo mediante tecniche

di ablazione laser;

- caratterizzazione di coating realizzati mediante ablazione laser, attraverso prove di irraggiamento con ioni pesanti.

Nell'ambito degli studi sulla chimica del refrigerante e sulla fabbricazione di componenti prototipici si è proceduto con gli studi di fabbricazione relativi a componenti prototipici del sistema primario di un sistema LFR progettati da ENEA. I risultati ottenuti sono:

- fine fabbricazione di elementi prototipici del sistema primario dell'LFR;
- implementazione del laboratorio della chimica del piombo.

Sono stati svolti studi per la sperimentazione e la modellazione della termoidraulica del metallo liquido refrigerante nei reattori di IV generazione che hanno condotto ai seguenti risultati:

- progettazione e fornitura di un generatore di vapore per sistemi LFR con tubi a baionetta a doppia parete;
- prove sperimentali di termoidraulica in sistemi integrali a piscina (Impianto CIRCE);
- prova e analisi dei risultati sperimentali ottenuti per la qualifica del prototipo di GV a spirale piana per sistemi LFR;
- accoppiamento di codici CFD e codici di sistema, sviluppo di codici di calcolo (FEM-LCORE).

Gli studi sperimentali per lo scambio termico nei sistemi LFR e SMR hanno riguardato sperimentazioni sullo scambio termico nei sistemi LFR e SMR e hanno condotto ai seguenti risultati:

- completamento del circuito primario dell'impianto HELENA e progettazione del circuito secondario ad acqua in pressione; progettazione e realizzazione del sistema di controllo e potenza;
- up-grade impianto a metallo liquido NACIE, e progetto del circuito secondario ad acqua in pressione.



Vista del Generatore di Vapore (GV) a spirale piana per applicazione in sistemi a piombo



Vista sezione di prova impianto CIRCE

Area di ricerca: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto B.3.1 – L.P.2: Collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV generazione

Referente: M. Tarantino, mariano.tarantino@enea.it