



## Nucleare da fissione Qualifica di componenti e sistemi

### Scenario di riferimento

I processi di qualifica di componenti e sistemi rivestono un ruolo significativo in campo nucleare. Le attività seguono due differenti approcci. Il primo, focalizzato sullo sviluppo di metodologie per le analisi di sicurezza, prevede l'utilizzo di codici e piattaforme di calcolo specifiche per la modellistica termoidraulica e per il trasporto di contaminanti sia in condizioni operative che incidentali. Il secondo, teso alla predisposizione di sistemi già esistenti o di componenti innovativi alle necessità di qualifica, è rivolto alla definizione e alla valutazione delle esigenze di adeguamento degli impianti e dei requisiti per l'esecuzione delle specifiche campagne sperimentali. Numerose attività sono state svolte in collaborazione tra ENEA e CIR-TEN.

### Obiettivi

Le attività abbracciano tutti gli aspetti legati al processo di qualifica, con ricadute in termini di validazione di processi, innovazione e contributi a livello normativo e procedurale. Gli obiettivi principali riguardano:

- sviluppo e validazione di strumenti di metodologie e di analisi;
- sviluppo impianti sperimentali;
- sviluppo procedure e messa a punto di tecnologie innovative per test di componenti;
- normativa e sviluppo di test di appoggio e qualificazione ambientale, meccanica ed elettromagnetica.

### Risultati

#### Sviluppo e validazione di strumenti di metodologia e di analisi

Sono state studiate, in stretta collaborazione tra ENEA e CIR-TEN, le piattaforme di calcolo per termofluidodinamica e dinamiche di trasporto dei contaminanti distribuiti nell'impianto in fase incidentale, secondo tre direttrici:

- Attività su modelli e piattaforme di calcolo per le analisi incidentali e di sicurezza: modellistica avanzata per simulazione T/H multi-scala sui dati sperimentali relativi ad uno scambiatore in piscina per la rimozione del calore residuo; simulazione neutronica applicata a unità di tipo LWR, acquisendo la catena di codici deterministici «A P O L L O 2 - C R O N O S 2» per calcoli di cella e di reattore tramite soluzione dell'equazione del trasporto di neutroni; modellistica per analisi di sicurezza, mediante lo studio dell'analisi di sensibilità della risposta del codice integrale MELCOR al variare di parametri critici di sistema e d'impianto.

Sono stati implementati modelli e validato il codice ICARE-CATHARE V2.3 (IRSN) per lo studio dei fenomeni di "debris bed reflooding" ed è stato sviluppato, validato e applicato il codice DRACCAR (IRSN) per la simulazione del comportamento termo-meccanico di elementi di combustibile durante incidenti di perdita di refrigerante (LOCA) in reattori pressurizzati e raffreddati ad acqua leggera. Il gruppo Dati Nucleari (ENEA) ha prodotto due librerie di sezioni d'urto multi-gruppo



per i calcoli di schermaggio nei reattori ad acqua leggera.

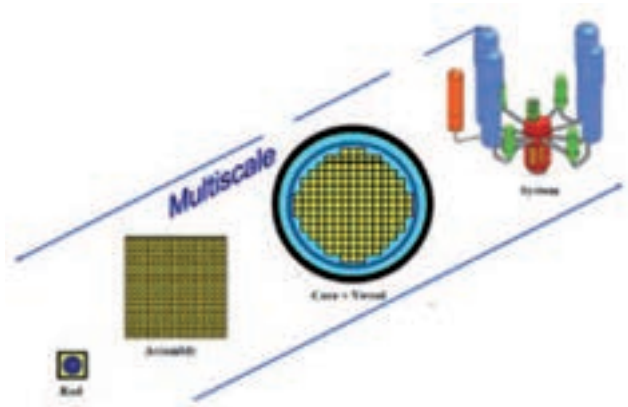
L'accoppiamento dei codici è uno dei principali compiti della piattaforma NURISP. Rilevanti informazioni sono state raccolte durante gli studi (CIRTEN) riferiti ai codici SALOME, NEPTUNE TRIO\_U, SATURNE e CATHARE di detta piattaforma implementata nel sistema CRESCO dell'ENEA. Analisi di impatto ambientale post-incidentale e/o ad analisi previsionali basate su dati statistici da applicare nell'interfaccia di rilascio tra impianto e sito sono state ottenute dallo sviluppo modelli del codice di calcolo RadCal-III (ENEA).

- Realizzazione di un database con raccolta critica di informazioni su sistemi e componenti caratterizzanti un impianto nucleare PWR evolutivo da 1600 MWe, per attività di sviluppo e validazione dei modelli di calcolo e per la valutazione delle evoluzioni incidentali e delle relative conseguenze. I dati impiantistici raccolti rappresentano una buona approssimazione di dati costruttivi reali e non sono collegabili ad un singolo impianto reale.
- Studio e sviluppo critico di metodi di analisi delle incertezze nei processi di analisi del rischio. Si è proceduto anche alla identificazione degli adeguati strumenti analitici per associare la giusta confidenza ai risultati ottenuti e alle decisioni gestionali. Le attività hanno riguardato sia un approccio probabilistico di sicurezza (PSA) rivolto alla determinazione della frequenza di danneggiamento del nocciolo, alla sostenibilità, all'analisi integrata "incertezza-probabilità" focalizzata sulle misure di importanza, sia l'identificazione delle incertezze relative ai codici di calcolo contenute nei risultati. È stata redatta una "guida" contenente un confronto con altre metodologie e corredata da un esempio di applicazione pratica. Lo studio è stato completato con valutazioni dell'efficienza teorica di un sistema totalmente passivo.

### Sviluppo impianti sperimentali

ENEA e CIRTEN hanno svolto attività propedeutiche al ripristino della funzionalità dell'impianto termoidraulico VAPORE, realizzato per test ad alta pressione su componenti tipici dei circuiti principali di reattori nucleari ad acqua.

L'ENEA ha selezionato il progetto di una valvola prototipo di grandi dimensioni per linee ad alta pressione di vapore o di miscela acqua/vapore, allo scopo di verificare tramite simulazione con codice RELAP l'adeguatezza dell'impianto VAPORE, e progettato l'installazione del prototipo sull'impianto fornendone le specifiche di esercizio; ha infine programmato le azioni necessarie per il riallineamento del sito dell'impianto VAPORE



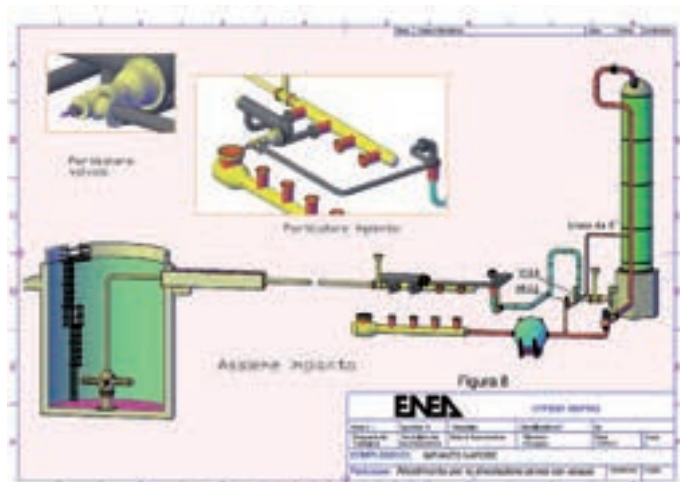
*Sviluppo e validazione di modellistica avanzata per simulazione T/H multiscala*

alle vigenti normative e ne ha avviato l'attuazione.

Il CIRTEN ha simulato tramite codice RELAP le prove per la qualifica del prototipo (sulla base di specifiche ENEA) e fornito i dettagli della gestione dell'impianto per l'eventuale esecuzione della campagna sperimentale; ha inoltre formulato proposte tecniche di modifica strutturale ove necessario.

L'attività ha consentito di ricostituire un gruppo di esperti nella gestione del codice RELAP specificamente studiato per la termoidraulica di circuiti complessi. Punto di forza è stata la disponibilità di dati reali provenienti da precedenti campagne di qualifica di componenti sull'impianto VAPORE

Procedure sperimentali per test di materiali per irraggiamento da neutroni sono state sviluppate in collaborazione tra ENEA, CIRTEN e Politecnico delle Marche avvalendosi dei reattori nucleari di ricerca TRIGA RC-1 (neutroni termici) e RSV Tapiro (neutroni veloci). Sono stati condotti: test di nuovi rivelatori per neutroni a diamante sintetico a singolo cristallo (la loro resistenza alle radiazioni li rende adatti nei processi di qualificazione dei materiali); analisi di danneggiamento mediante simulazioni Monte Carlo con il codice



*Schema (in scala) dell'installazione della valvola prototipo su VAPORE per prove con miscela acqua-vapore*

MCNPX per componenti elettronici (schede) destinati a operare in ambiente ostile; realizzazione di un sistema di acquisizione e monitoraggio dati per i reattori TRIGA e TAPIRO basato sul Compaq RIO della National Instrument; lavori di adeguamento del canale tangenziale passante per l'installazione di una facility di radiografia e tomografia neutronica; indagine sul comportamento di materiali innovativi per la rivelazione di neutroni, considerando gli effetti dell'irraggiamento neutronico su granulati di acido borico, acciai e campioni in Fe( $\alpha$ ); caratterizzazione delle fluenze neutroniche di ciascuna location di irraggiamento utilizzando nuovi rivelatori NaI(Tl), operando un confronto tra i dati sperimentali e dati di fluensa simulati con MCNPX.

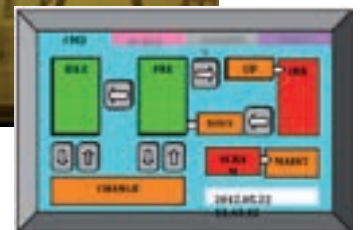
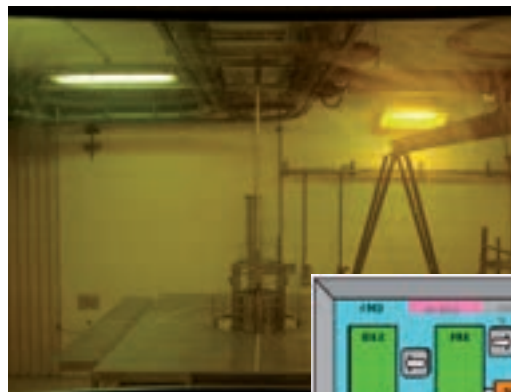
### Sviluppo procedure e messa a punto di tecnologie innovative per test di componenti

L'attività ha avuto il duplice scopo di caratterizzare materiali compositi a matrice ceramica ( $C_f/C$  e  $SiC_f/SiC$ ) per componenti di reattori nucleari a fissione di nuova generazione, sviluppati da FN S.p.A. (società partecipata ENEA) e di redigere un protocollo di prove e procedure per la qualifica dei materiali, dei metodi e delle apparecchiature impiegate. Sono stati redatti i documenti di assicurazione qualità relativi all'attività da svolgere, conformemente alla ISO 9001: 2008 (piano di qualità, piano di fabbricazione e controllo, piano di qualifica) e definite le prove fisico-meccanico-strutturali e termiche cui sottoporre i campioni. Sono stati definiti i piani di taglio per l'ottenimento del massimo numero di provini e sperimentate diverse tecniche di taglio (mole diamantate, elettroerosione a filo, laser). L'esame dei provini porta a concludere che la tecnica ibrida di realizzazione CVI+PIP (Chemical Vapour Infiltration + Polymer Infiltration Pyrolysis) presenta aspetti molto interessanti, tenendo anche conto della sua maggiore economicità rispetto al solo trattamento di CVI. Test a temperatura ambiente sono stati effettuati presso FN S.p.A., quelli ad alta temperatura a cura CIR-TEN.

Nell'ambito dello sviluppo di nuove procedure per test di qualifica di componenti e sistemi è stata progettata una nuova consolle di concezione avanzata per la facility di irraggiamento gamma CALLIOPE (C.R. ENEA Casaccia), che presenta caratteristiche uniche sia a livello italiano che europeo. È perciò in grado di rispondere a numerose richieste nazionali e internazionali, consentendo di effettuare test di qualifica, di affidabilità e di valutazione della resistenza a radiazione di sistemi e componenti.



*Prova di trazione presso FN*



*Cella di irraggiamento dell'impianto CALLIOPE e schermata di controllo della nuova consolle*



*Sistema di fotocellule e argano con piattaforma porta sorgente*

L'impianto CALLIOPE è attualmente dotato di una console di comando di concezione tradizionale di grande affidabilità ma che non consente operazioni di monitoraggio e acquisizione a distanza. L'attività è stata svolta in collaborazione con CIRTEN. Basandosi su una architettura concettuale avanzata che prevede l'impiego di microprocessori PLC, sarà resa possibile la disponibilità di informazioni in tempo reale e il conseguente sviluppo, nel rispetto delle normative di riferimento nazionali e internazionali, di nuove metodologie di test. Sono stati definiti (CIRTEN) i requisiti del sistema e del software di controllo (livello di sicurezza SIL 3), sono stati proposti il revamping del Sistema di Controllo Sorgente e l'implementazione di un Sistema di Acquisizione e Reporting. Tutte le attività sono state condotte rispettando il criterio generale della netta separazione tra funzioni di controllo di sicurezza e di processo. È stato infine studiato e progettato (ENEA) un sistema di monitoraggio della movimentazione della sorgente di  $^{60}\text{Co}$  mediante l'impiego di sensori ottici: pur risultando completamente svincolato da qualsiasi componente dei sistemi di sicurezza e degli organi di movimentazione della sorgente dell'impianto (come richiesto da normativa), esso permette di definire in modo univoco e in tempo reale i parametri necessari per la determinazione della dose assorbita dai provini sottoposti a irraggiamento. In tal modo, i dati relativi a ogni irraggiamento saranno direttamente registrati e inviati ad un apposito terminale che permetterà l'emissione dei certificati richiesti per ogni singolo test.

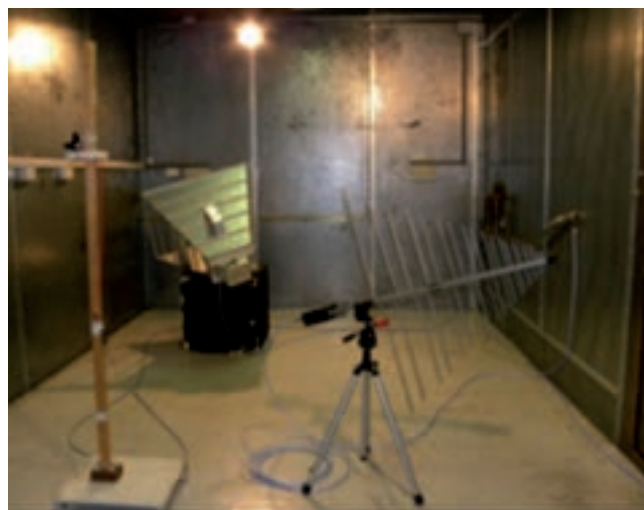
#### **Studio di metodologie innovative di prova e di integrazione tra prove di tipo e metodo analitico per le qualifiche ambientali, meccaniche, sismiche ed elettromagnetiche di componenti e sistemi per le centrali nucleari**

Sono state svolte attività congiuntamente da ENEA e da CIRTEN secondo i due filoni di seguito descritti.

- Prove di compatibilità elettromagnetica (EMC): verifica della possibilità di eseguire in camera reverberante prove di immunità radiata su sistemi e componenti (parte del processo di qualificazione nucleare), con modalità presumibilmente più severe delle prove eseguite in camera semianecoica. Si è inteso realizzare una camera reverberante trasformando una camera schermata già in dotazione al Laboratorio ENEA. Una volta realizzata questa infrastruttura, si procederà a confrontare l'esito di prove di immunità radiata eseguite in camera re-

verberante, secondo quanto prescritto dalle norme CEI EN 61000-4-21 o MIL-STD-461E/F, con i risultati di analoghe prove eseguite in camera semianecoica, secondo le norme CEI EN 6100-4-3 e MIL-STD-461E/F. Allo stato attuale, la camera è predisposta per l'installazione del sintonizzatore-agitatore; le catene di misura sperimentali (a meno del controllo remoto del sintonizzatore-agitatore) sono state allestite e collaudate; il software di gestione è stato realizzato e collaudato sulle catene sperimentali da 200 MHz a 1 GHz e predisposto per l'integrazione fino a 18 GHz.

- Qualificazioni meccaniche e sismiche: studio dell'integrazione fra prove di tipo e simulazioni numeriche, utilizzando sistemi di acquisizione dei dati sperimentali per mezzo di telecamere ad alta risoluzione nella banda dell'infrarosso vicino e codici numerici di simulazione meccanica e sismica. Obiettivo finale è lo studio dei limiti di applicabilità dei risultati delle analisi numeriche ai processi di qualificazione nucleare su sistemi complessi simili, l'attività di ricerca è stata al momento rivolta al confronto e alla valutazione della relativa accuratezza delle risposte tra dati sperimentali ottenuti mediante prove su tavola vibrante, acquisiti mediante il sistema STEx della MTS e il sistema di monitoraggio innovativo denominato 3DVision installato nel laboratorio di prove dinamiche e controllo vibrazioni in ENEA Casaccia.



*Camera reverberante*

**Area di ricerca:** Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale  
**Progetto 1.3, linea progettuale 5:** Qualifica di componenti e di sistemi

**Referente:** P. Meloni, [paride.meloni@enea.it](mailto:paride.meloni@enea.it)

S. Baccaro, [stefania.baccaro@enea.it](mailto:stefania.baccaro@enea.it)