

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - REATTORI EVOLUTIVI

Partecipazione al programma internazionale IRIS e studi sulle opzioni tecnologiche dei sistemi International Near Term Deployment

Scenario di riferimento

I reattori evolutivi sono caratterizzati, rispetto agli attuali sistemi, da: maggiore standardizzazione e semplificazione del progetto, minor vulnerabilità ai malfunzionamenti operativi, vita più lunga, riduzione del rischio di fusione del nocciolo, miglior sfruttamento del combustibile e riduzione del volume di rifiuti ad alta radioattività. IRIS appartiene alla classe di reattori evolutivi di cui si prevede la messa in commercio entro i prossimi 10-15 anni (sistemi INDT – International Near Term Deployment) ed è sviluppato da un ampio consorzio internazionale guidato da Westinghouse, con 20 partners (università, industrie, enti di ricerca e utility) di 10 paesi (USA, Brasile, Croazia, Giappone, Italia, Messico, Spagna, Regno Unito, Lituania ed Estonia). È un reattore pressurizzato modulare da 335 MWe che ospita all'interno del vessel reattore i componenti del circuito primario: generatori di vapore, pompe, pressurizzatore e meccanismi di azionamento delle barre di controllo. La maggior sicurezza è dovuta all'eliminazione delle grandi tubazioni del circuito primario (l'88% degli incidenti di classe IV viene eliminata all'origine: safety-by-design™) e, soprattutto, al mantenimento dell'equilibrio tra le pressioni del sistema primario e del sistema di contenimento, che interrompe la perdita di refrigerante dal vessel in caso di Loss-of-Coolant-Accident (LOCA).

L'ENEA ha sottoscritto con i partner italiani già presenti nell'IRIS Team (CIRTEN, Ansaldo

Nucleare e Mangiarotti Nuclear) una dichiarazione di intenti per lo sviluppo congiunto del progetto, e firmato un accordo di cooperazione su IRIS con l'Oak Ridge National Laboratory (ORNL) del Department of Energy (DOE). Nel 2007, inoltre, l'Italia ha aderito all'iniziativa internazionale GNEP (Global Nuclear Energy Partnership), rivolta, in particolare, allo sviluppo di sistemi nucleari avanzati di piccola-media taglia per venire incontro alle necessità energetiche dei paesi in via di sviluppo, impedendo la diversione o la produzione non dichiarata di materiali nucleari. IRIS è il reattore esempio di piccola taglia per la GNEP.

Obiettivi

Attraverso la partecipazione al programma internazionale IRIS, lo studio di tematiche di carattere generale dei reattori evolutivi e l'esame esaustivo delle possibili opzioni tecnologiche dei reattori INTD, si intende contribuire nel breve e medio termine a ricreare competenze diffuse e capacità industriali nel settore nucleare; in particolare:

- Lo sviluppo del reattore IRIS prevede:
 - Prova integrale, finalizzata alla realizzazione di un simulatore sperimentale presso SIET SpA;
 - Sviluppo componenti, che consiste nella verifica analitica e sperimentale delle prestazioni di componenti critici o di nuova concezione, come ad esempio i generatori di vapore;
 - Analisi integrata di sistema, finalizzata anche

allo studio di soluzioni impiantistiche avanzate per lo schermaggio, l'isolamento sismico ecc.

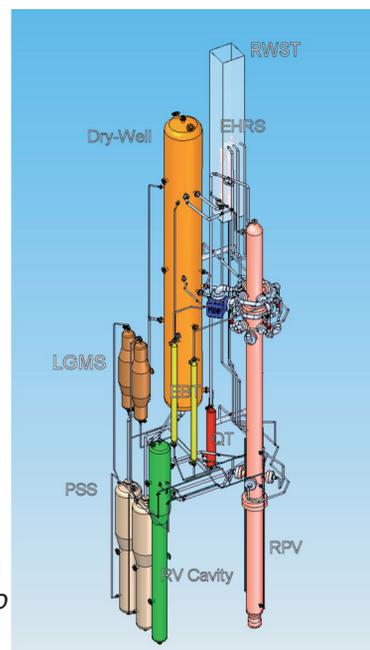
- Lo sviluppo di altri reattori riguarda: la definizione di noccioli, l'analisi di sequenze incidentali ecc.

Risultati

Sviluppo del reattore IRIS

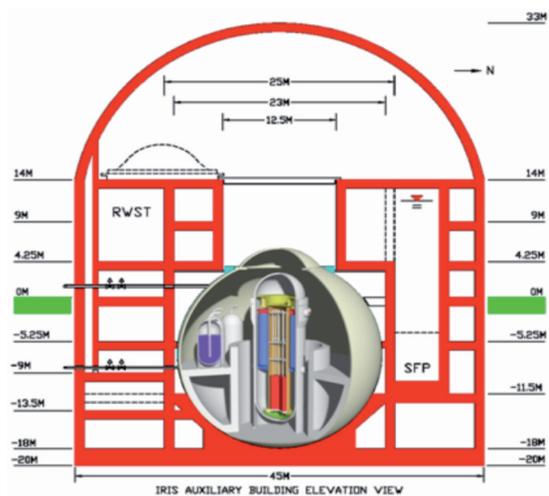
Prova integrale del reattore IRIS

Lo scopo della prova integrale, fondamentale per la certificazione del reattore, è di disporre di un impianto sperimentale (SPES-3) in grado di simulare i transitori operativi ed incidentali del reattore IRIS (piccoli LOCA, rottura delle linee vapore ecc.), al fine di produrre dati sufficienti per validare i codici di calcolo per l'analisi di sicurezza e studiare l'accoppiamento termo-fluidodinamico tra il contenimento e l'impianto durante un LOCA. L'attività svolta ha riguardato principalmente la progettazione dell'impianto sperimentale da realizzare presso SIET SpA. È stata definita la configurazione impiantistica sulla base di una serie di requisiti concordati con Westinghouse ed è stato eseguito il dimensionamento meccanico, termico ed idraulico dei componenti. L'impianto simula, in scala 1:100 in volume e a piena altezza, i sistemi del reattore IRIS. Per semplificare il progetto, la



Schema dell'impianto SPES-3

configurazione integrale del reattore IRIS è stata mantenuta solo per il sistema primario di SPES-3, ad eccezione della pompa primaria che è posta all'esterno del recipiente in pressione (RPV); il contenimento e i sistemi di sicurezza sono simulati con serbatoi connessi da tubazioni. Il prodotto finale è il dossier di progettazione esecutiva da utilizzarsi per l'approvvigionamento delle parti dell'impianto (tubazioni, valvole, serbatoi ecc.) e per la realizzazione della struttura portante. L'attività di progettazione è stata eseguita dalla SIET, società partecipata dell'ENEA, con la collaborazione dell'ENEA. L'attività del CIRTEN è stata focalizzata sia sulla selezione della strumentazione per misure in bifase sia sulla verifica della capacità dell'impianto sperimentale di simu-



Impianto IRIS



Sezione del fondo e della parte alta del vessel di SPES-3

lare i transitori incidentali. Per la strumentazione sono state affrontate le problematiche della scelta e qualificazione dei metodi di misura nelle condizioni operative di pressione e temperatura per le grandezze di interesse (portata, densità, grado di vuoto, flow pattern).

In particolare, sono state valutate le potenzialità e prestazioni degli strumenti commerciali o sviluppati da laboratori internazionali. Inoltre sono stati sviluppati da ENEA sensori a termoresistenza con la relativa elettronica per misure di velocità del fluido.

Sviluppo componenti

I componenti oggetto delle attività, i.e. gli scambiatori immersi e i generatori di vapore, sono stati selezionati sia per l'esperienza che il sistema Italia può vantare per il loro sviluppo, sia per assicurare commesse agli operatori industriali nazionali nella fase realizzativa di reattori IRIS.

Per gli scambiatori immersi è stata sviluppata una correlazione di scambio termico basata sulla teoria della condensazione a film su parete, validata con le precedenti esperienze da ENEA (PERSEO) e da SIET su prototipo in scala reale di un condensatore a tubi verticali. Tale correlazione è stata implementata nel codice di sistema RELAP5.

Per i tubi elicoidali dei generatori di vapore di IRIS sono state sviluppate e validate correlazioni per valutare le perdite di carico e lo scambio termico in condizioni di crisi termica (dryout) e post-dryout, sia con dati sperimentali che con dati reperibili in letteratura. Le prove sperimentali sono state eseguite presso l'area sperimentale della SIET e presso il CIRTEN. Tali correlazioni sono state successivamente implementate nel codice RELAP5.

Sono state eseguite anche analisi meccaniche per la valutazione del carico di collasso di tubi elicoidali. I risultati delle analisi meccaniche hanno supportato la preparazione di un nuovo "code case" accettato dalle ASME per la progettazione di tubi sottoposti ad una pressione esterna maggiore

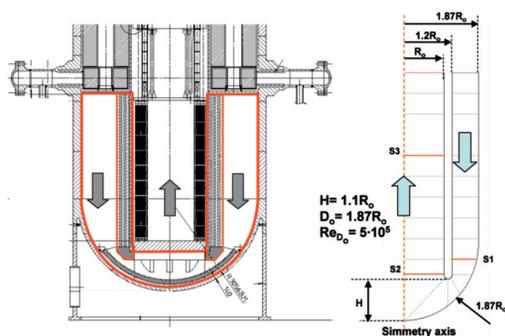
di quella interna.

Un altro risultato significativo raggiunto a supporto della progettazione del downcomer e lower plenum del reattore IRIS riguarda lo sviluppo di modelli non lineari di turbolenza per superare alcune delle limitazioni dei codici CFD (Computational Fluid Dynamics) commerciali, oltre alla messa a punto di protocolli di accuratezza per raggiungere standard elevati, riproducibili e tracciabili. Tale modello è stato implementato nel codice FLUENT.

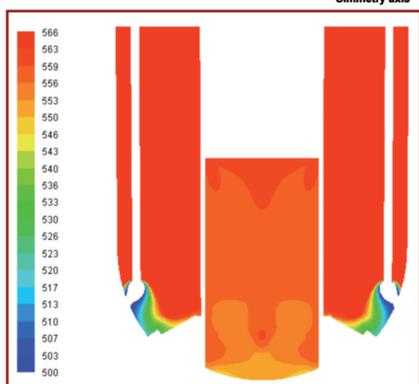


Impianto sperimentale presso SIET per la caratterizzazione termofluidodinamica dei tubi elicoidali dei generatori di vapore di IRIS

Per studiare il miscelamento del boro durante l'intervento dei sistemi di sicurezza sono state eseguite simulazioni dinamiche del miscelamento di temperatura e boro a supporto della progettazione di una apparecchiatura sperimentale (fattore di scala 1:5), che simula il downcomer e la parte bassa del vessel. È stata anche definita la configurazione dell'apparecchiatura sperimentale. Le attività di sviluppo componenti sono state principalmente eseguite dal CIRTEN.



Miscelamento del boro, risultati della simulazione

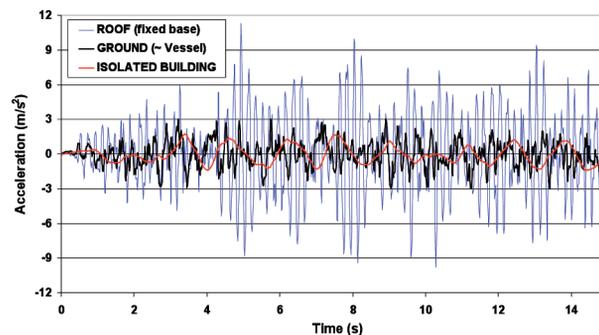


Analisi integrata di sistema – analisi sismiche

I risultati ottenuti riguardano:

- 1) Lo sviluppo di una nuova procedura per il calcolo della probabilità di rottura al sisma, basata su tecniche numeriche consolidate (Finite Element Method, Montecarlo ecc.) e capace di eliminare o ridurre le incertezze dei metodi tradizionali;
- 2) La riduzione degli effetti del sisma sugli edifici e sui componenti interni con l'utilizzo di isolatori sismici. Sono state definite le dimensioni geometriche degli isolatori, il fattore di forma, il tipo di mescola, il loro numero e la disposizione, che deve prevedere anche l'accessibilità per l'ispezione e l'eventuale sostituzione. È stato valutato il comportamento dell'edificio isolato e non isolato sismicamente al terremoto di progetto. È stata anche effettuata una valutazione preliminare dei costi connessi all'utilizzo di questa tecnologia.

L'attività è stata effettuata da ENEA e CIRTEN.



Sistema isolato e non isolato sismicamente

Sviluppo di altri reattori

È stato affrontato lo studio e la progettazione di noccioli che consentano sia un incremento del tasso di irraggiamento rispetto ai reattori di II Generazione, sia la possibilità di estendere il periodo di irraggiamento tra successive ricariche. In particolare è stato analizzato un nocciolo di reattore pressurizzato ad acqua leggera idoneo a produrre una potenza termica dell'ordine dei 600 MW (circa 220 MWe). Il principale risultato è la definizione di un nocciolo con uno schema di ricarica del combustibile a ciclo unico (once-through), che offre la possibilità di gestire il reattore con contratti di leasing del combustibile, con importantissimi risvolti per quel che riguarda la difesa dal rischio di proliferazione. L'attività è stata effettuata dal CIRTEN.

Documentazione disponibile

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