

## **LWR avanzati: la sperimentazione condotta dalla SIET**

Gustavo Cattadori\*, Alfredo Luce\*\*,  
Stefano Monti\*\*\*

\*SIET

\*\*ENEA, Amministratore delegato SIET

\*\*\*ENEA, Presidente SIET

*In un ambito industriale indirizzato alla realizzazione ed esercizio di impianti nucleari di potenza, le grandi facility sperimentali della SIET SpA costituiscono in Italia uno strumento unico di grande efficacia a supporto sia dell'Agencia nazionale per la sicurezza per gli iter autorizzativi, sia dell'industria del settore per lo sviluppo e la qualificazione di componenti e sistemi di LWR avanzati da realizzare in Italia e all'estero*

## **Advanced LWRs: SIET Experiments**

*In an industry sector committed to building and managing nuclear power plants, the large experimental facilities of SIET SpA represent in Italy a unique and efficient instrument in support of both the National Safety Agency for licensing procedures and the national industry, for the development and qualification of components and systems of advanced LWR to be erected in Italy and abroad*

“Nel 1986, l'incidente di Chernobyl ha decretato la fine del nucleare italiano...”, “Con il referendum del 1987 l'Italia esce definitivamente dal sistema di produzione di energia elettrica da fonte nucleare...”. Quante volte abbiamo sentito e letto queste frasi negli ultimi vent'anni? Le decisioni politiche conseguenti stroncarono una delle più brillanti intuizioni della storia industriale italiana del '900. Nonostante questo, alcune società italiane, allora operanti quasi esclusivamente nel settore nucleare, sono riuscite a mantenere il *know-how* acquisito negli anni precedenti grazie all'impegno sul mercato internazionale. Tra queste è sicuramente da annoverare una Società di Piacenza, la SIET SpA – partecipata di ENEA, ENEL, Ansaldo e Politecnico di Milano – che ha continuato ad operare, anche negli anni post-referendum, in attività di R&S e di certificazione di componenti e sistemi di reattori LWR (*Light Water Reactors*), su commesse provenienti da Stati Uniti, Giappone, Corea del Sud. In uno scenario in cui anche in Italia si riapre l'opzione nucleare, il presente articolo si prefigge lo scopo di illustrare le potenzialità di questa Società, con l'auspicio che esse possano essere sempre più impiegate anche a livello nazionale.

## La storia

SIET SpA nasce nel 1983 da un accordo tra ENEA e CISE con lo scopo primario di effettuare test per la sicurezza di componenti e sistemi destinati ad impianti nucleari per la produzione di energia elettrica. L'azienda viene dotata di strutture sperimentali ad elevatissimo contenuto tecnologico in grado di simulare, a piena scala o in scala ridotta, i principali circuiti termoidraulici delle centrali nucleari esistenti o di nuova generazione. Fin dalla sua fondazione la sede della società è ubicata nell'area della centrale termoelettrica di Piacenza, attualmente di proprietà Edipower, situata sulle rive del Po. L'edificio che ospita la Società è un magnifico esempio di architettura industriale degli

anni venti, progettato dall'insigne architetto Piero Portaluppi.

La particolare localizzazione della SIET all'interno di una centrale termoelettrica in esercizio, consente lo sfruttamento, per le attività sperimentali, dei fluidi utilizzati nel ciclo di produzione dell'energia elettrica, in particolare vapore surriscaldato ed acqua ad elevata portata. Ciò costituisce, ancora oggi, una prerogativa pressoché unica a livello internazionale. Con queste potenzialità a disposizione e con un gruppo di tecnici altamente qualificati e di grande professionalità, SIET avvia quella che rimane una tra le più affascinanti esperienze di Ricerca e Sviluppo che il nostro Paese può annoverare nella sua recente storia energetica.

Nel periodo 1984-'95 la SIET partecipa a numerosi ed importanti programmi di ricerca in campo nucleare. Due campagne sperimentali, fra le tante, vanno citate per importanza:

- la certificazione sperimentale del reattore AP-600 (Westinghouse) mediante il simulatore fisico SPES (Simulatore Pressurizzato per Esperienze di Sicurezza);
- la qualifica sperimentale a piena scala degli scambiatori di calore PCC (*Passive Containment Condenser*) e IC (*Isolation Condenser*) del reattore SBWR (*Simplified Boiling Water Reactor*) della General Electric.

Oltre alle commesse tipicamente “nucleari”, ENEL ed Ansaldo commissionano a SIET altre attività per la qualifica di grandi componenti di impianti quali valvole, turbine a vapore, scambiatori di calore. A partire dal 1995, in seguito al forte ridimensionamento dell'interesse nazionale per il nucleare, la SIET affronta un periodo di crisi e avvia un processo di diversificazione. Le attività di ricerca in campo nucleare proseguono, ma sono realizzate esclusivamente per il mercato estero. In contemporanea, facendo tesoro delle competenze tipiche delle attività ‘nucleari’, sono sviluppati nuovi settori quali: ‘Certificazione di Prodotti Termotecnici’, ‘Metrologia’, ‘Ingegneria e Formazio-

ne'. Questa diversificazione garantisce a SIET la continuità operativa negli ultimi quindici anni, con il mantenimento sia delle competenze tecniche chiave sia degli impianti sperimentali.

È opportuno sottolineare come SIET, in tutta la sua storia, non abbia mai abbandonato il settore nucleare grazie alla partecipazione ai programmi quadro della Commissione Europea, a programmi nazionali gestiti dall'ENEA e ad importanti contratti acquisiti dall'estero per lo sviluppo sperimentale di componenti e sistemi.

Non è certo un caso, quindi, che la Società si sia trovata pronta a rispondere alle recenti rinnovate esigenze nazionali di R&S nel settore degli impianti nucleari di nuova generazione partecipando, insieme con l'ENEA, al programma di ricerca sul reattore IRIS finanziato nell'ambito dall'Accordo di Programma tra il Ministero dello Sviluppo Economico e l'ENEA stessa.

Recentemente i Soci, con l'approvazione del piano industriale 2009-2011, hanno manifestato la volontà di supportare SIET nel rilancio del *core business*, fornendole gli strumenti tecnici e finanziari necessari. È infatti previsto un rinnovato impegno di SIET nel settore nucleare, in piena sintonia con i recenti indirizzi del governo, con l'ambizione di cavalcare l'onda del 'rinascimento nucleare' che, indubbiamente, si sta manifestando a livello internazionale.

### Principali settori di attività

L'esperienza e le competenze acquisite costituiscono le basi solide sulle quali si fonda SIET che si avvale di una ventina di addetti tra ingegneri e tecnici, motivati e con una forte propensione per la ricerca sperimentale. Il processo di diversificazione delle proprie attività avviato nel 1996 ha consentito all'azienda di affermarsi rapidamente anche nel panorama delle piccole-medie imprese nazionali, senza mai perdere di vista i clienti istituzionali (ENEA, in primis) e quelli industriali (*Vendors e Utilities* del settore nucleare). Lo sviluppo graduale del processo di diversificazione ha consentito di sfruttare al meglio le sinergie intrinseche dei vari settori di attività, nel seguito elencati:

- Ricerca/Sviluppo e Qualificazione Sperimentale di Componenti e Sistemi di Impianti per la produzione dell'energia elettrica, prevalentemente impianti nucleari;
- Certificazione di prodotti del settore termotecnico;
- Ingegneria e Formazione;
- Metrologia.

### La 'ricerca e sviluppo' nucleare

Molti dei reattori raffreddati ad acqua leggera attualmente funzionanti nel mondo presentano almeno un componente del circuito primario o secondario che, per la parte termoidraulica, è stato sviluppato o qualificato a Piacenza, nei laboratori della SIET. Trattasi di cluster di elementi di combustibile BWR, valvole di regolazione e di sicurezza dei vari circuiti idraulici, scambiatori di calore dei circuiti di rimozione del calore in condizioni di emergenza, fasci tubieri e separatori acqua-vapore dei generatori di vapore PWR o del reattore BWR, sistemi integrali di PWR di II e III generazione ecc. Altri reattori potrebbero, nel medio-breve termine, essere attrezzati con dispositivi di sicurezza sviluppati da SIET in collaborazione con prestigiosi centri di ricerca ed istituti universitari o primarie organizzazioni industriali del settore.

In effetti la SIET gestisce impianti sperimentali, unici al mondo per dimensioni e specificità, indirizzati alla R&S di componenti e sistemi per la produzione di energia. L'ubicazione dei laboratori SIET all'interno di una centrale termoelettrica di potenza favorisce la disponibilità di energia e fluidi di prova a livelli elevatissimi di potenzialità: vapore surriscaldato (8 kg/s, 10 MPa, 500 °C), acqua (200 kg/s, 16 MPa, 330 °C), energia elettrica (9 MW-AC, 7 MW-DC). Le principali facility sperimentali sono:

- SPES, simulatore di reattori pressurizzati, utilizzato per la certificazione sperimentale di sistemi integrali PWR;
- GEST, per prove su Generatori di Vapore PWR;
- IETI, per prove su componenti speciali (es.: *Steam Injector*) e di termoidraulica in genere (misure di perdite di carico, scambio termico, flusso termico critico).

Informazioni su queste facility sono riportate nel seguito mediante la descrizione delle loro caratteristiche salienti e delle loro prestazioni, evidenziando di volta in volta le campagne sperimentali effettuate o da effettuarsi su tali impianti.

### L'Impianto Sperimentale SPES

All'interno del vastissimo edificio in cui la Società ha sede, SIET dispone di una struttura sperimentale, denominata SPES (Simulatore Pressurizzato per Esperienze di Sicurezza, *figura 1*), che riproduce in scala significativa il circuito termoidraulico primario, parte del secondario e tutti i sistemi di emergenza di una centrale nucleare di tipo pressurizzato. Lo SPES, le cui principali caratteristiche sono riportate in *Tabella 1*, opera con gli stessi fluidi ed alle stesse condizioni termodinamiche del reattore; la potenza termica generata nel combustibile del reattore è simulata nella facility sfruttando l'effetto Joule di un'elevatissima corrente elettrica (fino a 70.000 A) passante nelle barre del canale di potenza. Lo SPES costituisce uno strumento prezioso per verificare la risposta del reattore ad eventi incidentali ed a tran-



**Figura 1**  
Facility SPES di SIET: simulatore fisico dei circuiti termoidraulici di una centrale nucleare di tipo PWR  
Fonte: SIET

sitori operativi ma, soprattutto, per la messa a punto dei codici di calcolo termoidraulico impiegati sia per il progetto del reattore, sia per le verifiche imposte dalle Autorità di sicurezza.

**Tabella 1 – Principali caratteristiche dell'impianto SPES nella configurazione originale**

<b>Impianto</b>	Potenza	7 MW
	Pressione di progetto circuito primario	20 MPa
	Temperatura di progetto circuito primario	365 °C
	Pressione di progetto circuito secondario	10 MPa
	Temperatura di progetto circuito secondario	311 °C
	Fattore di scala in elevazione	1:1
	Fattore di scala per volumi e potenza	1:400
<b>Canale di Potenza</b>	Barre	n. 97 a riscaldamento elettrico diretto
	Diametro e passo delle barre	9,5/12,6 mm
	Lunghezza riscaldata delle barre	3.660 mm
	Distribuzione assiale del flusso termico	uniforme
	Materiale delle barre	Inconell 600
<b>Generatori di Vapore</b>	Numero	3
	Tubi	n. 13 ad U, per ciascun GV (Generatore di Vapore)
	Diametro e passo dei tubi	17,46 / 24,89 mm
	Lunghezza media dei tubi	17.620 mm
	Materiale dei tubi	Inconell 600
<b>Pompe Primarie</b>	Numero	3
	Tipo	centrifughe monostadio
	Portata fluido	0,016 m <sup>3</sup> /s
	Prevalenza	100 m
	Velocità di rotazione	2.950 rpm ( <i>route per minute</i> - giri minuto)
	Motore	elettrico a corrente continua
	Campo di regolazione della velocità	(-200 ÷ 200) % della velocità nominale

Fonte: SIET

I test sull'impianto SPES sono eseguiti con l'impiego di un numero molto elevato di strumenti (circa 600) per la misurazione delle grandezze termodinamiche ed i parametri di controllo dell'impianto. Un potente sistema di acquisizione dati garantisce la registrazione di tutte le grandezze fisiche misurate per l'intera durata dell'esperimento (diverse ore) e la loro elaborazione mediante software dedicato.

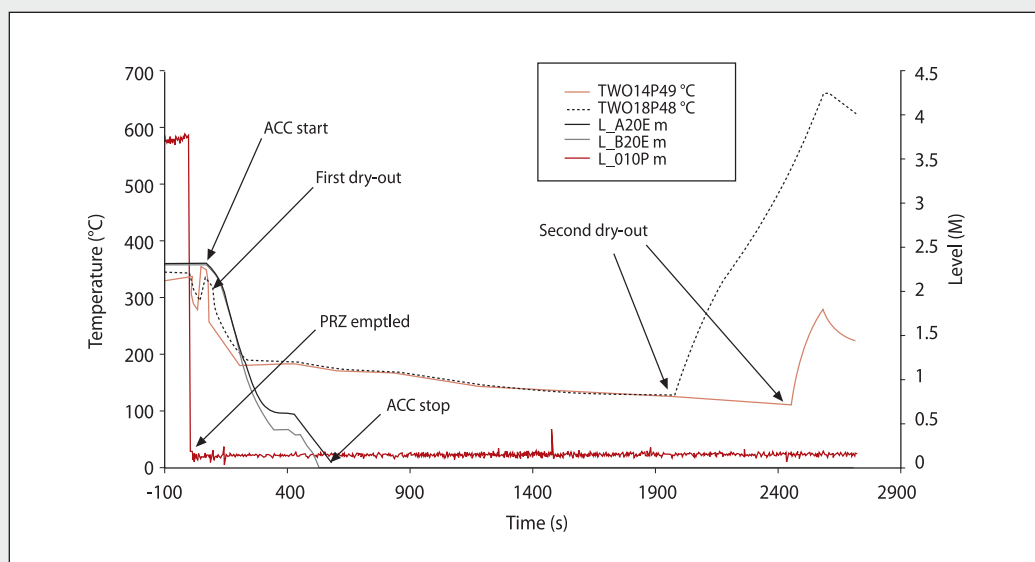
Situazioni tipiche dell'analisi di sicurezza dei reattori che si possono riprodurre sulla facility SPES sono:

- rotture piccole ed intermedie in diverse zone del circuito primario;
- mancata richiusura delle valvole di sfioro e sicurezza del pressurizzatore;
- rottura della linea principale del vapore alla turbina;
- rottura di tubi del generatore di vapore;
- arresto delle pompe primarie;
- trip di turbina;
- black-out in centrale;
- perdita di acqua di alimento ai generatori di vapore;
- transitori in mancanza di scram del reattore.

Progettato originariamente negli anni '80 per simulare il reattore PWR-PUN (Progetto Unificato Nucleare), lo SPES venne modificato negli anni '90, su richiesta Westinghouse, per simulare il reattore di III generazione AP-600, caratterizzato dall'introduzione nel progetto di numerosi sistemi di sicurezza passivi.

Nella configurazione originale (a tre loop) la facility SPES ha operato nel periodo 1988-1991, effettuando nove esperimenti per la validazione di codici di calcolo termoidraulici in ambito ICAP (*International Code Assessment Program*, figura 2). Tra questi esperimenti si segnala, in particolare, il transitorio *Loss of main feed-water with EFW delayed*, oggetto di un *International Standard Problem* (ISP-22). Altri due transitori, *SBLOCA 6 with decay power* e *SBLOCA 6 at full power* vanno segnalati in quanto oggetto di un confronto di dati sperimentali (*counterpart test program*) tra varie facility internazionali analoghe a SPES: il LOBI dell'Euratom (Ispra), il Bethsy (CEA-Grenoble) e LSTF (Giappone).

In configurazione modificata a due loop, denominata SPES-2, la facility, nell'ambito di un accor-



**Figura 2**  
Impianto SPES: simulazione incidente loca 10'' in reattore PWR. Variazione temporale di parametri  
Fonte: SIET

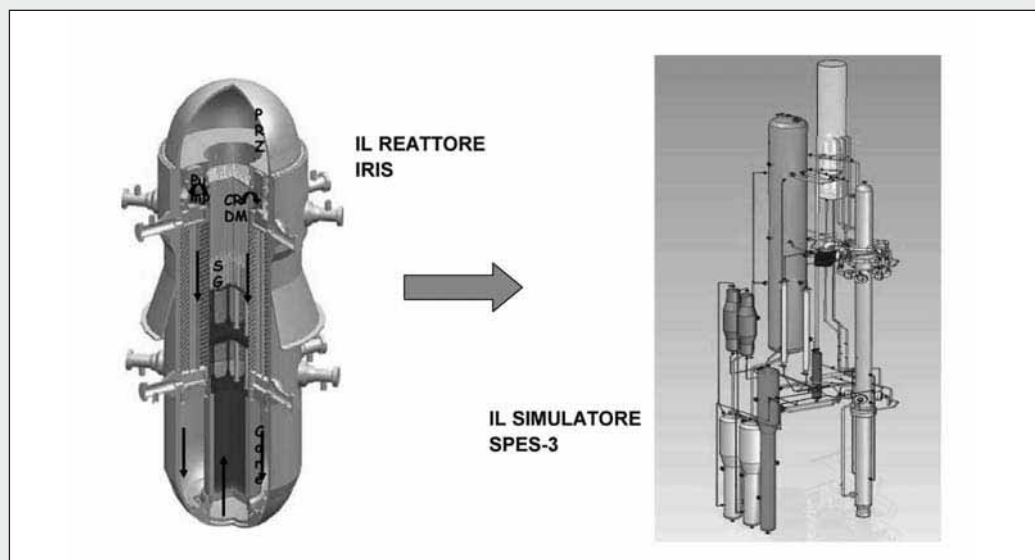
do tra Westinghouse, Ansaldo, ENEA, ENEL e SIET fu impiegata per il programma di certificazione sperimentale del reattore AP-600 nel periodo 1992-1994, effettuando un programma sperimentale composto da quindici diversi transitori incidentali. Le prove eseguite presso i laboratori SIET costituirono parte fondamentale del programma di certificazione del reattore AP-600 (poi divenuto AP-1000), ai fini della positiva chiusura del processo di *licensing* intrapreso da Westinghouse presso NRC (anno 1997).

Nel 1999 lo SPES-2 fu ancora impiegato per l'effettuazione di un LOCA di dimensioni intermedie, nell'ambito di un contratto di ricerca sottoscritto con ENEA.

Sulla base dell'esperienza acquisita su SPES-2, SIET, in collaborazione con le aziende interessate (Westinghouse, Ansaldo Nucleare, Mangiarotti Nuclear, ENSA) e gli Enti partecipanti al progetto IRIS, tra cui l'ENEA, sta ultimando la progettazione di una nuova facility per effettuare le prove per le verifiche di affidabilità e sicurezza del nuovo impianto IRIS (*International Reactor Innovative and Secure*), reattore evolutivo di generazione III+ di tipo

integrale (tutti i componenti del circuito primario sono installati all'interno del vessel del reattore). La nuova facility, denominata SPES-3 (*figura 3*), costituirà un simulatore fisico di IRIS, a piena scala in elevazione ed in scala 1:100 sui volumi. A differenza di SPES-2, che simula i circuiti primario, secondario e di emergenza, SPES-3 simulerà anche il contenimento del reattore IRIS. Ciò consentirà, per la prima volta a livello internazionale (in facility integrali di tale potenza), di studiare gli effetti dell'accoppiamento circuito primario-contenimento ai fini della rimozione del calore di decadimento del reattore in condizioni di incidente. Saranno effettuati quindici esperimenti, allo scopo di verificare la capacità del sistema di sostenere situazioni di emergenza e per la messa a punto dei codici di calcolo numerici per le verifiche di sicurezza del reattore.

Come riportato nell'articolo a pag. 6 di questo stesso numero, il progetto di R&S è finanziato dall'ENEA nell'ambito dell'Accordo di Programma tra Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA. Per quanto concerne i tempi di realizzazione del programma SPES-3, entro l'anno corrente sarà



**Figura 3**

Il reattore di generazione III+ IRIS ed il suo simulatore fisico denominato SPES-3 in fase di realizzazione presso SIET

Fonte: SIET e Politecnico di Milano

portata a termine la progettazione esecutiva della facility, nel 2010 inizierà l'approvvigionamento dei componenti dell'impianto che saranno installati nei laboratori SIET entro il 2011. Il programma sperimentale vero e proprio inizierà nel 2012 e si concluderà nel corso dell'anno successivo.

Infine è importante sottolineare che, in concomitanza con la realizzazione di SPES-3, sarà riportata in servizio anche la facility SPES-2, che con SPES-3 condivide tutti i sistemi ausiliari. Questa scelta è dettata dall'opportunità di mantenere in vita uno strumento unico in grado di sperimentare reattori PWR di II e III generazione (come ad esempio AP-1000) nell'attuale situazione di rinnovato interesse per l'energia nucleare anche in Italia.

### **L'Impianto Sperimentale GEST**

L'impianto sperimentale GEST (*GEnerator – Separator Tests*) è stato progettato e realizzato per eseguire prove di ricerca e sviluppo su generatori di vapore PWR in condizioni operative reali (miscela acqua-vapore ad alta pressione). È un impianto unico al mondo per dimensioni, potenza e condizioni di progetto. A testimonianza di ciò, il gran numero di campagne sperimentali effettuate, in particolare sui separatori di vapore, per conto di primarie organizzazioni internazionali impegnate sul nucleare (GE, Westinghouse, Mitsubishi, Toshiba, Doosan Heavy Industry).

L'impianto GEST include due facility distinte che, per ragioni di ottimizzazione impiantistica, condividono alcuni sotto-sistemi di impianto: la facility GEST-GEN e la facility GEST-SEP.

La facility GEST-GEN consente di eseguire prove sul componente Generatore di Vapore concernenti gli studi sullo scambio termico (globale e locale) tra i fluidi primario e secondario attraverso il fascio tubiero.

La facility GEST-SEP è invece progettata per lo studio sperimentale del fenomeno della separazione acqua-vapore che, mediante vari componenti interni del Generatore di Vapore installati tra la chioma del fascio tubiero ed il bocchello di uscita, permette di portare il titolo del vapore da circa il 15% a quasi il 100%.

La *Tabella 2* riporta le principali caratteristiche degli impianti GEST-GEN e GEST-SEP.

Grazie alla flessibilità intrinseca, l'impianto sperimentale GEST può consentire attività di R&S e prove di qualificazione su componenti di processo di impianti industriali convenzionali e/o nucleari.

Le principali applicazioni in tal senso sono illustrate nel seguito.

**Caratterizzazione di scambiatori di calore acqua-vapore e acqua-acqua** (misure di efficienza, vibrazione) per impianti di potenza e di processo. Da ricordare, a tale proposito, la campagna sperimentale effettuata nel 1997 sullo scambiatore di calore a tubi elicoidali del reattore ISIS (20 MW), progettato da Ansaldo Nucleare.

**Qualificazione di valvole** (di regolazione, di intercettazione, di non ritorno, di sicurezza, di sfioro ecc.) in un ampio campo di condizioni termodinamiche. Esempi di prove già eseguite sono la qualificazione di valvole a tre vie per impianti a ciclo combinato per conto di ENEL e la caratterizzazione di una valvola di sicurezza vapore con relativo silenziatore allo scarico, per conto di Ansaldo.

**Misura dell'efficienza di iniettori a vapore** per l'acqua alimento di reattori BWR o di generatori di vapore PWR. Studi di fattibilità per prove su dispositivi a piena scala sono stati eseguiti per conto di Toshiba in relazione ad impieghi sul ciclo termico del reattore ABWR.

**Misura dell'efficienza di sistemi di iniezione passivi** di reattori vari. Sul GEST sono stati provati con successo sia il sistema PDS (Passive Depressurization System) di Ansaldo Nucleare sia il sistema SIP-1 (Sistema Iniezione Passiva), progettato dalla SIET.

**Prove di sistemi per la rimozione del calore residuo di reattori**, sia ad alta pressione (ciclo primario reattore) sia a bassa pressione (contenimento del reattore).

Per tale impiego, l'impianto sperimentale base GEST è stato integrato, negli anni '90, da una nuova facility sperimentale denominata PANTHERS (*Performance, Analyses and Testing of HEat Removal System*). Questa facility è stata utilizzata per le campagne sperimentali per la certificazione dei sistemi *Isolation Condenser System* (ICS) e *Passive Containment Condenser System* (PCCS) del reattore SBWR (*Simplified Boiling Water Reactor*) della General Electric (*figura 4*).

**Tabella 2 – Principali caratteristiche dell'impianto gest**

<b>Gest-Gen</b>	Fluido (primario e secondario)	acqua demineralizzata
	Pressione di progetto circuito primario	17,2 MPa
	Massima portata fluido primario	200 kg/s
	Pressione di progetto circuito secondario	10,0 MPa
	Pressione di esercizio fluido secondario	6,8 MPa
	Portata di vapore prodotto	11,2 kg/s
	Massima temperatura (fluido primario e secondario)	saturazione
Potenza termica del generatore di vapore	20 MW	
<b>Gest-Sep</b>	Fluido	miscela acqua-vapore
	Pressione di progetto	10,0 MPa
	Temperatura di progetto	311 °C
	Volume interno vessel	45 m <sup>3</sup>
	Diametro vessel	2,3 m
	<b>Compressore di vapore</b>	
	Costruttore	Franco Tosi
	Tipo	Girante Monostadio a flusso misto
	Portata vapore	40 kg/s
	Pressione in aspirazione	7,0 Mpa
	Potenza motore	1.000 kW
	Regolazione velocità	a giunto idraulico da 0 a 11.000 RPM
	<b>Pompe primarie (n. 2 in parallelo)</b>	
	Costruttore	Byron Jackson
Tipo	Girante Monostadio a flusso misto	
Portata	2 x 100 kg/s	
Prevalenza	100 m	
Potenza motore	2 x 200 kW	

Fonte: SIET

Scambiatore di Calore per reattore SBWR-GE  
(Potenza Termica: 22 MW)Separatore Acqua-vapore  
per reattore ABWR Toshiba**Figura 4**

Impianto GEST: prove di componenti di impianti nucleari di potenza eseguite presso SIET

Fonte: SIET



Nel 2002 SIET, in collaborazione con ENEA, ha proposto e sperimentato sull'impianto PANTHERS un innovativo sistema di rimozione del calore con scambiatore immerso in piscina (denominato PERSEO), attivato mediante 'allagamento' della piscina a bassa pressione (il progetto GE per SBWR prevede lo *start-up* del sistema lato primario, mediante azionamento di valvola ad alta pressione). I risultati della campagna sperimentale effettuata in SIET hanno dimostrato la funzionalità del sistema, successivamente confermata anche dal confronto con i risultati delle simulazioni numeriche eseguite con il codice RELAP.

### L'impianto Sperimentale IETI

L'impianto sperimentale IETI (Impianto per Esperienze Termo-Idrauliche), le cui principali caratteristiche sono riportate in *Tabella 3*, è una facility *multipurpose* che consente di effettuare test su componenti di diversa tipologia con acqua, vapore, o miscela bifase, in un campo molto ampio di condizioni termodinamiche.

Le più frequenti attività di R&S riguardano gli studi sperimentali sullo scambio termico in regime bi-fase con applicazione a componenti di impianto, in particolare i reattori nucleari di potenza. Nel seguito si riportano esempi di tali applicazioni.

### I canali di potenza dei reattori

La qualificazione e sviluppo dei cluster di barre dei reattori rappresenta l'applicazione regina della facility IETI. In effetti è possibile provare, alle stesse condizioni termodinamiche del reat-

tore, fasci di barre in scala 1:1 rispetto all'elemento di combustibile del reattore. La potenza termica è generata per effetto Joule sfruttando correnti elettriche fino a 70.000 A passanti nelle barre: ciò consente una riproduzione molto fedele delle condizioni di scambio termico, a flusso imposto, tipiche degli elementi di combustibile LWR. In alcuni casi, ad esempio il cluster '64 barre' del BWR General Electric, è stato possibile studiare le condizioni locali di innesco della crisi termica, realizzando una sezione di prova a flusso termico variabile, con legge cosinusoidale, lungo l'asse del cluster di barre.

### Lo scambio termico in geometrie innovative

L'ampissimo range di condizioni del fluido ottenibile sull'impianto IETI consente di verificare la validità delle correlazioni di scambio termico disponibili ed eventualmente sviluppare nuovi strumenti di calcolo per flussi bi-fase in geometrie non comuni nelle normali applicazioni industriali. Recenti campagne sperimentali sono state focalizzate su tubazioni a sviluppo elicoidale, proposte per impiego nei generatori di vapore del reattore di generazione III+, IRIS (*figura 5*).

### Scambio termico ad elevatissimi flussi

Un'interessantissima campagna sperimentale sul raffreddamento degli schermi termici (divertori) del reattore a fusione NET (*Next European Thorus*) è stata portata a termine da SIET sull'impianto IETI, in collaborazione con ENEA. In questo caso è lecito parlare di indagine sullo scambio termico 'di frontiera', essendo richiesto il raggiungimento di flussi termici dell'ordine delle decine di MW/m<sup>2</sup>. In quest'occasione, grazie all'impiego di materiali ad elevata conduttività termica (rame speciale) e tecniche di scambio innovative (*hypervapotron*), nei laboratori SIET si sono raggiunti valori di flusso termico di 37 MW/m<sup>2</sup> senza provocare il burnout del materiale in prova. È stato anche possibile visualizzare i fenomeni fisici indagati, impiegando materiali trasparenti e video-camera veloce.

**Tabella 3** – Principali caratteristiche dell'impianto IETI

fluido	acqua / vapore
pressione di progetto	25 mpa
massima portata acqua	15 kg/s
massima portata vapore	5 kg/s
massima temperatura del fluido	430 °c
massima potenza alla sezione di prova	9 mw
massima elevazione per la sezione di prova	15 m

Fonte: SIET



**Figura 5**  
 Impianto IETI: sperimentazione termo-fluidodinamica su generatori di vapore per reattori LWR avanzati  
 Fonte: SIET

### *I dispositivi speciali per la sicurezza passiva*

L'impianto IETI si presta anche allo studio di sistemi di sicurezza passivi per LWR che garantiscono l'iniezione di fluido refrigerante nel reattore o nel generatore di vapore quando non sono disponibili sistemi di sicurezza attivi, come ad esempio pompe azionate da motori elettrici. Un tipico esempio di dispositivo passivo sviluppato presso i Laboratori SIET è lo *Steam Injector* o *Steam Jet Pump*, consistente in un eiettore a vapore in grado di iniettare acqua nel circuito del reattore utilizzando, come fluido motore, lo stesso vapore presente nel contenimento in seguito ad incidente LOCA. Diverse campagne sperimentali sono state condotte in questo campo: vanno ricordate le prime effettuate negli anni novanta su uno *steam injector* progettato dal CISE e quelle più recenti (2006-2007) svolte nell'ambito di un'attività di ricerca commissionata dalle giapponesi Toshiba e Tepco.

### **Le altre attività della SIET**

I servizi della SIET si rivolgono prevalentemente al mercato 'nucleare' senza però trascurare altre opportunità che rappresentano un naturale sviluppo e sfruttamento delle competenze tecniche del personale e delle potenzialità degli impianti sperimentali e dei Laboratori. Nel seguito si riporta una presentazione sintetica delle competenze acquisite da SIET in cam-

pi alternativi, competenze che peraltro si sono spesso rivelate sinergiche con quelle tipicamente nucleari.

### **Le prove su componenti convenzionali e la certificazione di prodotto**

Sfruttando le esperienze acquisite e le infrastrutture disponibili, SIET ha diversificato l'offerta relativa alle prove di laboratorio rivolgendosi ai settori petrolchimico, alimentare, farmaceutico e *automotive*. SIET ha raggiunto la leadership nazionale nel settore delle prove per lo sviluppo e la certificazione di componenti destinati agli impianti per la produzione di energia e di processo, in particolare per i componenti di grandi dimensioni e potenze.

I laboratori SIET svolgono test sui singoli componenti d'impianto, siano essi valvole, pompe, scambiatori di calore ecc. e, nello stesso tempo, realizzano prove su sistemi e sottosistemi per verificarne il funzionamento globale. Le aziende produttrici di componenti industriali possono oggi considerare SIET partner affidabile per la verifica ed il miglioramento delle prestazioni delle apparecchiature di loro produzione.

La lista dei prodotti sperimentati, collaudati e qualificati presso i Laboratori SIET è certamente curiosa: dalle pale di una turbina a vapore di potenza alle valvole termostatiche dei termosifoni, dagli ammortizzatori di moto di grande cilindrata ai radiatori delle automobili, dallo

scambiatore di calore per l'industria alimentare alla valvola di sicurezza di una caldaia, dai compensatori di dilatazione per il *piping* alle turbine idrauliche ecc.

Per alcuni di questi prodotti SIET opera nel settore della certificazione, costituendo Laboratorio di riferimento per gli enti preposti sia a livello nazionale (UNI) che europeo (CEN).

### **L'ingegneria**

SIET fornisce consulenza d'ingegneria verso l'esterno ma, soprattutto, a supporto dei propri programmi sperimentali nel settore nucleare. SIET si occupa, in particolare, della progettazione di test facility e dell'effettuazione di calcoli con codici numerici nel campo della termo-fluidodinamica degli impianti nucleari. L'unione delle competenze ingegneristiche con quelle tipiche della ricerca sperimentale su impianti, anche di grande dimensioni, costituisce un valore aggiunto molto importante, non facilmente riscontrabile in altre realtà, anche a livello internazionale.

### **La metrologia**

SIET gestisce un laboratorio metrologico interno per la taratura di un'ampia gamma di strumenti per le misure termo-fluidodinamiche (pressione, temperatura, portata di fluido, ...) e per la misurazione di parametri elettrici (tensione, corrente, resistenza elettrica, ...) e meccanici (forza, coppia, dimensioni...). SIET detiene l'accreditamento SIT per le tarature nell'area pressione e temperatura. La sinergia tra attività metrologiche ed attività su impianti sperimentali è evidente se si considera che i risultati di queste ul-

time dipendono fortemente dalle prestazioni della strumentazione impiegata e, soprattutto, dalla conoscenza che di essa hanno gli operatori.

### **Conclusioni**

L'insieme degli impianti sperimentali della SIET SpA rappresenta un complesso unico in Italia e con pochissimi concorrenti a livello mondiale. In un ambito industriale indirizzato alla realizzazione e gestione di impianti nucleari di produzione dell'energia elettrica, le facility sperimentali di SIET costituiscono uno strumento di grande efficacia a supporto sia dell'Autorità istituzionale di sicurezza per gli iter autorizzativi, sia dell'industria nazionale per lo sviluppo e la qualificazione di componenti e sistemi venduti in Italia ed all'estero. Come già avvenuto in passato, alcune facility potrebbero essere impiegate anche per attività di training del personale delle Utilities e per la formazione, a livello universitario e post-universitario, di giovani ingegneri nucleari. Nonostante i depauperamenti subiti a seguito del Referendum del 1987, SIET ha mantenuto impianti e competenze a livello di eccellenza grazie sia ad attività di testing commissionate da importanti organizzazioni estere del settore, sia a programmi di ricerca della Commissione Europea e programmi nazionali di R&S coordinati da ENEA. SIET si candida, quindi, per un ruolo fondamentale nell'ambito del nuovo programma nucleare italiano che dovrà avere, fra i punti chiave, la riqualificazione del sistema industriale in vista delle attese realizzazioni di impianti nucleari LWR avanzati in Italia ed all'estero.