



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile

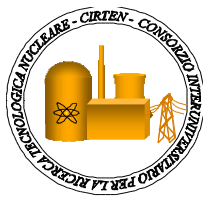


Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Qualificazione di sistemi e componenti in ambito nucleare

S. Baccaro



QUALIFICAZIONE DI SISTEMI E COMPONENTI IN AMBITO NUCLEARE

S. Baccaro, ENEA

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione e fonti energetiche

Tema: Nuovo Nucleare da Fissione

Responsabile Tema: Stefano Monti, ENEA

Titolo

QUALIFICAZIONE DI SISTEMI E COMPONENTI IN AMBITO NUCLEARE

Ente emittente: ENEA

PAGINA DI GUARDIA

Descrittori

Tipologia del documento: Documento organizzativo

Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE: tema di ricerca "Nuovo nucleare da fissione"

Argomenti trattati:

Sommario

Il processo di qualificazione nucleare è uno dei principi cardine di progettazione e realizzazione delle centrali nucleari e consiste nel sottoporre tutti i sistemi, i componenti e le strutture rilevanti ai fini della sicurezza nucleare ad un complesso sistema di prove sperimentali, alle specifiche condizioni ambientali dovute ad un incidente o ad un rischio esterno, per verificare che essi continuino a svolgere le funzioni per le quali sono stati progettati con la massima affidabilità, consentendo di mantenere sotto controllo il reattore in qualunque situazione. Il processo è regolato da norme internazionali che prevedono, essenzialmente, quattro metodi generali: prove di tipo, esperienza operativa, analisi, qualificazione combinata. Il metodo con il minor margine di incertezza, adottato nella grande maggioranza dei casi, è il ricorso alle prove di tipo, che implicano la necessità di condurre attività sperimentali di misura e prove in laboratori adeguati. Presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia (Roma) sono concentrati importanti laboratori e infrastrutture sperimentali di prova in cui è possibile condurre l'intero processo di qualificazione nucleare di componenti, dispositivi e sistemi inerenti la sicurezza nucleare: il Laboratorio di Prove Dinamiche ed Ambientali, il Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica, l'Impianto di Irraggiamento Gamma "Calliope", l'Impianto "Vapore". La possibilità di eseguire contestualmente tutte le prove di qualificazione previste dalle norme di sicurezza nucleare costituisce un'interessante opportunità per le industrie italiane che operano nel settore dell'energia nucleare e che potrebbe rilanciarle, con investimenti contenuti, anche nel contesto internazionale.

Nel dossier vengono riportate le schede tecniche che descrivono i laboratori e le infrastrutture sperimentali dell'ENEA e delle sue partecipate, le cui competenze possono dare un valido contributo alla qualificazione nucleare. Esse sono state suddivise in due sezioni: nella prima (Qualifiche nucleari) vengono descritti gli impianti direttamente coinvolti nell'esecuzione di misure e prove di qualifica nucleare; nella seconda sezione (Attività a supporto delle qualifiche nucleari)

Note:

Documento disponibile nel sito ENEA

Copia n.

In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	12.7.2010	NOME	NA	S. MONTI	NA
			FIRMA		<i>[Signature]</i>	



ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

DOSSIER

QUALIFICAZIONE DI SISTEMI E COMPONENTI IN AMBITO NUCLEARE

Competenze e strutture ENEA

*Ambiente
Energia
Innovazione*



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

DOSSIER

QUALIFICAZIONE DI SISTEMI E COMPONENTI IN AMBITO NUCLEARE

Competenze e strutture ENEA

Marzo 2010

A cura di:

Stefania Baccaro

Paolo D'Atanasio

INDICE

INTRODUZIONE	5
Parte I – QUALIFICHE NUCLEARI	9
Impianto di irraggiamento γ CALLIOPE	11
Laboratorio di compatibilità elettromagnetica	13
Laboratorio per qualifica sismica	15
Impianti sperimentali per la qualifica a vibrazioni	17
Laboratorio per prove di caduta ed urti	19
Laboratorio per qualifica climatica	21
Impianto VAPORE per prove termomeccaniche e fluidodinamiche su componenti e sistemi	23
Laboratorio ingegneria dei sistemi nucleari	25
SIET - Laboratorio per la qualificazione termoidraulica e meccanica di componenti e sistemi di impianti nucleari	27
SIET - Impianto IETI per prove termoidrauliche su componenti di impianti e dispositivi speciali	29
SIET - Laboratorio GEST per qualificazione a piena scala di componenti e sistemi di impianti nucleari	31
SIET - Laboratorio SPES per esperienze integrali di sicurezza su impianti PWR	33
Parte II – ATTIVITÀ A SUPPORTO DELLE QUALIFICHE NUCLEARI	35
Laboratorio CETRA di qualificazione matrici cementizie per il condizionamento di rifiuti radioattivi	37
Laboratorio metallografia e controlli	39
Laboratorio prove meccaniche	41
Impianto CERTem per prove ad alta temperatura su componenti in scala reale	43
Laboratorio di caratterizzazione non distruttiva ad ultrasuoni	45
Laboratorio di caratterizzazione microstrutturale e microanalitica	47
Impianti di saldatura ad elevata densità di energia	49
Impianto STAF, Scambio Termico ad Alti Flussi	51
Impianto VASIB, VALvole SICurezza in Bifase	53
Laboratorio per controlli non distruttivi	55
Laboratorio di caratterizzazione elettromagnetica dei materiali	57
Laboratorio di caratterizzazione pre- e post-irraggiamento γ	59
Laboratorio di caratterizzazione termomeccanica	61

Laboratorio di corrosione e della frattura assistita dall'ambiente	63
Laboratorio di metrologia Centro SIT n. 10	65
Laboratorio di radiochimica C-43 per la caratterizzazione radiologica di materiali radioattivi	67
Laboratorio virtuale DySCo per la qualifica a vibrazioni e sismica	69
Reattore nucleare di ricerca TAPIRO	71
Reattore nucleare di ricerca TRIGA RC-1	73
Tecnologie ICT per In Service Inspection di componenti e sistemi nucleari	75
Impianto FNG, generatore di neutroni da 14 MeV	77
In Vessel Viewing and ranging System (IVVS) per la visione in ambienti ostili	79
Laboratorio LIBS per la caratterizzazione di materiali	81
Laboratorio sensori in fibra ottica FBG per monitoraggi termici e strutturali	83
Bunker radiografico	85
Laboratori metrologici Centro SIT n. 156	87
Laboratorio per controlli non distruttivi	89
Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti	91
Istituto di Radioprotezione	93
Centro di taratura per le radiazioni ionizzanti	95
Servizio di dosimetria esterna	97
Servizio di valutazione della concentrazione di radon in aria	99
Servizio per il monitoraggio individuale di contaminazione interna	101
Servizio per misure di radioattività su campioni ambientali o di altra origine	103
Griglia computazionale ENEA-GRID e infrastruttura di calcolo ad alte prestazioni CRESCO	105
CETMA - Laboratorio modellistica e simulazione	107
CETMA - Sistema G.I.S.	109
CETMA Virtual Reality Center	111
ERSE - Gabbia di Faraday per misure di scariche parziali	113
ERSE - Laboratorio alte tensioni per prove dielettriche	115
ERSE - Laboratorio inquinamento per prove in atmosfera umida	117
FN - Laboratori di progettazione, sviluppo e caratterizzazione di materiali e componenti	119
NUCLECO - Qualificazione dei processi di condizionamento di rifiuti radioattivi	121

INTRODUZIONE

Qualunque impianto per la produzione di energia elettrica, quale che sia il metodo con cui essa viene prodotta, presenta indubbi vantaggi ma anche possibili effetti negativi e indesiderati. Questa asserzione è, a maggior ragione, valida per le centrali elettriche nucleari, poiché la reazione di fissione nucleare a catena è per sua natura un processo fisico il cui controllo richiede livelli di attenzione e precauzioni estremamente elevati, sia per la probabilità (piccola, ma non rigorosamente nulla) che la reazione a catena possa accidentalmente divergere e giungere ad uno stadio incontrollabile, che per il fatto che essa avviene a partire da elementi instabili radioattivi, i cui prodotti di decadimento sono tutti a loro volta instabili e radioattivi.

La progettazione, la realizzazione e l'esercizio delle centrali elettriche nucleari pongono dunque rilevanti problemi di sicurezza e affidabilità, rigidamente classificati e regolamentati a livello nazionale e internazionale. Come stabilito dall'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA), **l'obiettivo generale della sicurezza nucleare** è quello di *"(...) proteggere le persone, la società e l'ambiente predisponendo e mantenendo nelle installazioni nucleari sistemi efficienti di protezione contro i rischi radiologici (...)".*

In altri termini, la sicurezza nucleare prevede che l'esposizione alle radiazioni radioattive del personale professionalmente esposto e della popolazione sia mantenuta ai più bassi livelli possibili e sia completamente evitato il rilascio indesiderato di materiale radioattivo, riducendo ai minimi termini la probabilità di un incidente nucleare.

Questo approccio conduce alla strategia della **difesa in profondità** il cui scopo è duplice: in primo luogo, evitare gli incidenti e in secondo luogo, se la prevenzione dovesse fallire, limitare le conseguenze e prevenire ogni evoluzione verso condizioni più serie. **La prevenzione degli incidenti è, in ogni caso, la prima priorità.**

Perché siano assicurate **funzioni fondamentali di sicurezza** (controllo del processo di fissione nucleare, rimozione del calore dal nocciolo del reattore, confinamento della radioattività), la difesa in profondità è organizzata su cinque livelli, ognuno dei quali interviene in caso di fallimento del precedente.

Posto che un incidente sia accaduto, il **Livello 3** prevede che siano state progettate delle configurazioni ingegneristiche di sicurezza e protezione atte a prevenire l'evoluzione dell'incidente verso il livello di incidente grave e a confinare i materiali radioattivi dentro il sistema di contenimento. I sistemi di sicurezza devono, dunque, mantenere il controllo della reattività, rimuovere il calore residuo e contenere rilasci radioattivi, durante le fasi di pilotaggio e di conseguente mantenimento del reattore verso uno stato sicuro.

L'affidabilità dei sistemi di sicurezza viene garantita progettando l'impianto secondo diversi principi tra i quali l'adozione della **qualificazione dei sistemi, dei componenti e delle strutture per le specifiche condizioni ambientali dovute ad un incidente o ad un rischio esterno.**

Il processo di **qualificazione nucleare** è quindi uno dei principi cardine di progettazione e realizzazione delle centrali nucleari e consiste nel sottoporre tutti i sistemi, i componenti e le strutture rilevanti ai fini della **sicurezza nucleare** ad un complesso sistema di prove sperimentali, alle specifiche condizioni ambientali dovute ad un incidente o ad un rischio esterno, per verificare che essi continuino a svolgere le funzioni per le quali sono stati progettati con la massima affidabilità, consentendo di mantenere sotto controllo il reattore in qualunque situazione. Il processo è regolato da norme internazionali che prevedono, essenzialmente, quattro metodi generali: prove di tipo, esperienza operativa, analisi, qualificazione combinata.

Il metodo con il minor margine di incertezza e che, per questo, è quello adottato nella grande maggioranza dei casi è il ricorso alle **prove di tipo**. Questo implica la necessità di condurre attività sperimentali di misura e prove in laboratori adeguati.

Una tipica sequenza delle prove di tipo previste per la qualificazione nucleare è riportata nella tabella seguente.

PROVE	IMPIANTI E LABORATORI COINVOLTI
Acquisizione dati di base	Strumentazione di misura
Prove di invecchiamento	
<i>Agenti fisici</i>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura ▪ Umidità ▪ Cicli di temperatura/umidità 	Forni termostatici Camere climatiche
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vibrazioni 	Shaker elettrodinamici
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Irraggiamento ▪ Irraggiamento incidentale 	Impianto di irraggiamento γ Acceleratore β
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Compatibilità elettromagnetica ▪ Suscettibilità elettromagnetica condotta e radiata 	Camera semianecoica EMC/EMI Strumentazione di misura
Prove incidentali	
<i>Cause</i>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sisma ▪ Caduta d'aereo 	Tavole vibranti Macchina da shock
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Incidente base di progetto 	Impianto per prove LOCA

Presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia (Roma) sono concentrati, in un unico sito, un complesso di importanti laboratori e infrastrutture sperimentali di prova in cui è possibile condurre l'intero processo di qualificazione nucleare di componenti, dispositivi e sistemi inerenti la sicurezza nucleare, effettuando le prove riportate nella tabella: il **Laboratorio di Prove Dinamiche ed Ambientali**, il **Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica**, l'**Impianto di Irraggiamento Gamma "Calliope"**, l'**Impianto "Vapore"**.

La possibilità di poter eseguire **contestualmente** tutte le prove di qualificazione previste dalle norme di sicurezza nucleare costituisce un'interessante opportunità per le industrie italiane che operano nel settore dell'energia nucleare e che potrebbe rilanciarle, con investimenti contenuti, anche nel contesto internazionale: le industrie italiane che operano nell'ambito nucleare sono infatti capaci di contribuire in grande misura al complesso di forniture di componenti, dispositivi e sistemi di una centrale elettrica nucleare, purché siano in grado di qualificare i propri prodotti secondo le normative vigenti.

Il mantenimento e il costante aggiornamento e approfondimento delle competenze e delle sensibilità ereditate dalla sua storia pregressa come Comitato Nazionale per la Ricerca e lo Sviluppo dell'Energia Nucleare (CNEN) consentono inoltre all'ENEA di mettere a disposizione dell'industria nazionale tutto il suo patrimonio di professionalità e conoscenze, di avanzati e complessi laboratori ed infrastrutture sperimentali localizzati nei diversi Centri di Ricerca, per attività di studi, misure e prove multidisciplinari, a supporto del processo di qualificazione nucleare.

Seguendo la logica sin qui esposta, in questo dossier vengono riportate le schede tecniche che descrivono i laboratori e le infrastrutture sperimentali dell'ENEA e delle sue partecipate, le cui competenze possono dare un valido contributo alla qualificazione nucleare. Esse sono state suddivise in due sezioni: nella prima (**Qualifiche nucleari**) vengono descritti gli impianti direttamente coinvolti nell'esecuzione di misure e prove di qualifica nucleare; nella seconda sezione (**Attività a supporto delle qualifiche nucleari**) viene invece riportato un vasto panorama (peraltro non esaustivo) delle molteplici competenze tecnico-scientifiche e dei laboratori in grado di offrire un notevole ventaglio di ricerche, misure e prove a supporto dell'attività di qualificazione nucleare, dallo stadio di studio preliminare, alla fase di pre-qualifica fino al supporto alle verifiche funzionali durante il processo di qualifica vero e proprio.

La tecnologia della produzione nucleare di energia elettrica, per la sua complessità e per gli stretti vincoli di sicurezza, costituisce da sempre un potente volano per l'innovazione tecnologica che può senz'altro contribuire ad innalzare il livello di competitività dell'industria italiana anche in ambito internazionale.

Tenendo conto anche di quest'ultimo aspetto, il programma di ripresa della produzione di energia elettrica di origine nucleare in Italia non può prescindere dalla costituzione di una rete di laboratori in grado di eseguire le prove di qualificazione nucleare richieste dalle norme di sicurezza, a supporto delle imprese che già operano nel settore nucleare o che, forti di avanzate competenze tecnologiche, vogliono iniziare ad operarvi. In questo contesto, i laboratori dell'ENEA e delle sue partecipate possono ricoprire un ruolo importante o addirittura preminente, grazie alla dotazione di impianti sperimentali, alcuni dei quali unici in Italia e tra i pochi in Europa.

Parte I – QUALIFICHE NUCLEARI

L'impianto di irraggiamento γ CALLIOPE può essere utilizzato per: irraggiamenti gamma di rilevanza scientifica e industriale; servizio di irraggiamento con emissione di certificazione dosimetrica; attività di ricerca e didattica con Università ed Enti di Ricerca; laboratorio dosimetrico.

Potenziali utenti: Università, Enti di Ricerca ed Industrie nazionali ed estere.

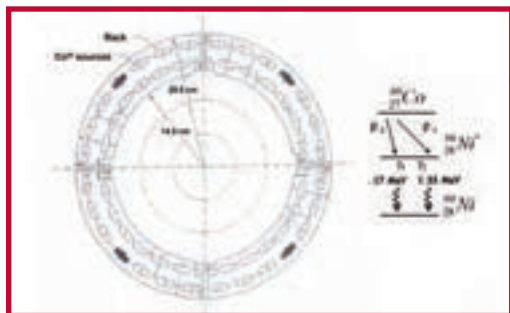
L'impianto di irraggiamento γ CALLIOPE, progettato e realizzato dall'ENEA nel 1970, è una facility di tipo a piscina, con sorgente radioisotopica di ^{60}Co (energia $\cong 1,25$ MeV) con una attività massima nominale consentita di $3,7 \cdot 10^{15}$ Bq e attività attuale di $0,34 \cdot 10^{15}$ Bq. L'impianto consente di selezionare l'intensità di dose a cui effettuare un irraggiamento e utilizza le seguenti tecniche dosimetriche: dosimetria assoluta di Fricke (20-400 Gy), dosimetria ad alanina (1 Gy-500 kGy) e dosimetria RedPerspex (5-40 kGy).

L'impianto è utilizzato per attività di ricerca e servizio. Le principali applicazioni riguardano:

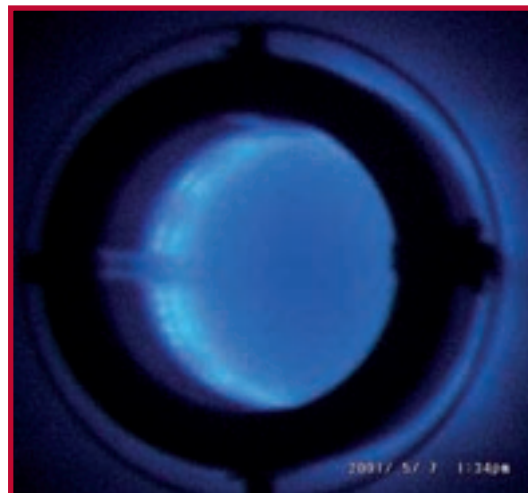
- lo studio degli effetti dell'irraggiamento γ sulle proprietà chimico-fisiche dei materiali (polimeri, fibre ottiche, cristalli e amorfi);
- esperienze in campo biologico finalizzate alla messa a punto di processi di risanamento nel settore agroalimentare, ambientale e recupero di beni culturali;
- l'irraggiamento di componenti dell'industria aerospaziale, nucleare ed elettronica in condizioni che riproducono l'ambiente radioattivo ostile nel quale questi dispositivi si troveranno a lavorare.

CALLIOPE è stato impiegato, tra l'altro, per:

- qualifiche di componenti elettronici per applicazioni spaziali secondo normativa ESA 22900 e MIL-STD-883;
- Progetti della Comunità Europea JET e NET;
- collaborazioni per esperimenti CMS ATLAS ed LHCb presso LHC al CERN di Ginevra (2001-2007);
- la qualifica dello statore per Ansaldo Impianti (marzo 1982);
- qualifiche di componentistica elettrica di potenza anche di grandi dimensioni per Nuova Pignone (settembre 1981-novembre 1986).



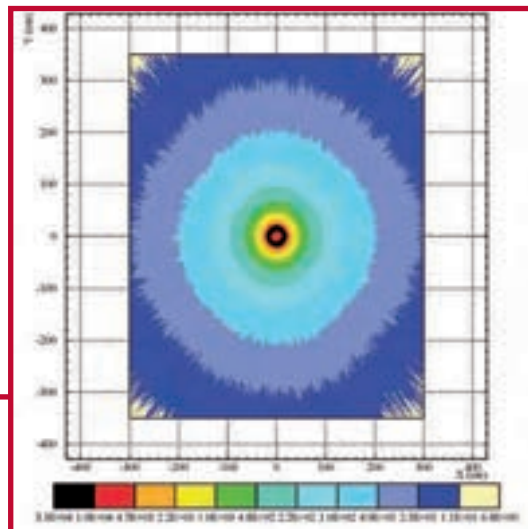
Schema della sez. XY della sorgente γ dell'impianto CALLIOPE con decadimento del ^{60}Co



Rastrelliera impianto CALLIOPE con sorgenti di ^{60}Co e visione dell'effetto Cherenkov



Vista della cella di irraggiamento e della rastrelliera contenente le sorgenti di ^{60}Co ; in primo piano la piattaforma per il posizionamento dei campioni



Simulazione nel piano XY dell'intensità di dose (Gy/h) al marzo 2005 sull'intera cella di irraggiamento

Il laboratorio può effettuare misure e prove di compatibilità elettromagnetica (EMC/EMI) secondo le norme (civili, militari ed avioniche): EN 61000-4-2; EN 61000-4-3 EN 61000-4-4; EN 61000-4-6 EN 61000-4-8; EN 55011; EN 55022; MIL STD 461 Rev. C/D/E/F e MIL STD 462 Rev. D; RTCA/DO-160C.

Potenziali utenti: Industrie operanti nei settori dell'elettronica civile, militare, della pubblica sicurezza, avionica, biomedicale, grandi infrastrutture di trasporto; Enti ed istituzioni pubbliche; Enti ed istituzioni di ricerca scientifica.

Il Laboratorio è dotato di una camera schermata semianecoica (Vecuvia, realizzata nel 2001 da Teseo SpA su dettagliate specifiche tecniche ENEA) per misure di compatibilità elettromagnetica ad una distanza di 3 m dalla sorgente di radiazione, nella gamma di frequenze comprese fra 10 kHz e 18 GHz. Vecuvia viene impiegata per prove di emissione ed immunità radiate e condotte; due ulteriori camere schermate fino ad 1 GHz vengono utilizzate per l'esecuzione di prove di immunità ed emissioni condotte. Il Laboratorio è dotato di un'ampia strumentazione per l'acquisizione dei dati sperimentali e per il controllo da remoto delle sessioni di prova.

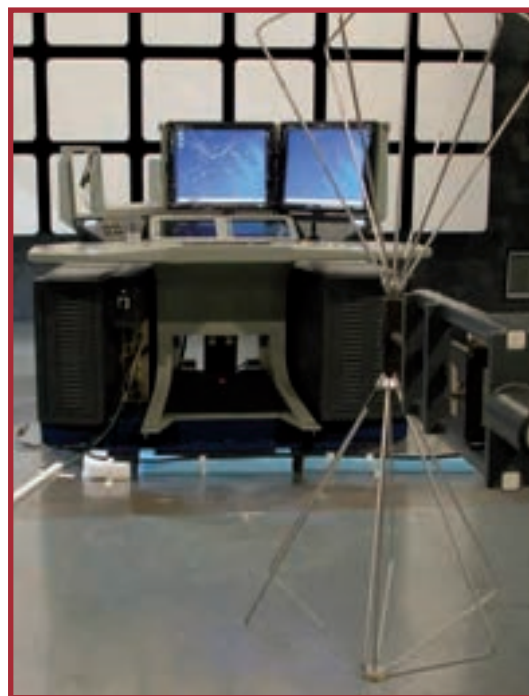
Le infrastrutture sperimentali del Laboratorio vengono utilizzate anche per misure di caratterizzazione elettromagnetica di materiali (permittività dielettrica e permeabilità magnetica) e di antenne (diagrammi di radiazione e misure di radar cross section).

Tra le campagne di prove di maggior rilievo effettuate dal laboratorio si citano:

- prove su apparecchiature scientifiche installate a bordo dell'aereo Geophysica, utilizzato in campagne di misura stratosferiche sull'Antartide (Dipartimento di Fisica dell'Università La Sapienza di Roma);
- prove su apparati elettronici di monitoraggio delle infrastrutture civili della linea ferroviaria ad alta velocità Roma-Napoli;
- prove su una consolle di controllo installata a bordo dell'incrociatore Garibaldi della Marina Militare Italiana;
- prove su una consolle di controllo installata a bordo della portaerei Cavour della Marina Militare Italiana;
- prove su vari apparati elettronici realizzati da aziende del gruppo Selex per le forze di sicurezza, la protezione civile e le forze armate.



Vista interna della camera semianecoica "Vecuvia"



Vista della consolle di controllo che è stata installata a bordo della portaerei "Cavour"

Il laboratorio è dotato di due tavole vibranti a 6 gradi di libertà (6GDL), tra le più grandi d'Europa, che consentono di effettuare prove sismiche triassiali per:

- qualifica sismica di sistemi e apparecchiature per impianti nucleari (norme IEEE STD 344-2004, IEC 60980-1989);
- qualificazione di componenti e sistemi per applicazioni industriali (normative MIL STD 167-1, AGERD A-0049), il trasporto ferroviario (normative F.S. - I.S.402), l'industria aerospaziale (normative DO-160C), l'ingegneria civile e la protezione del patrimonio artistico (normative OPCM-4274, OPCM-3431);
- caratterizzazione dinamica e verifica sperimentale dell'efficacia delle tecnologie innovative di protezione sismica di apparecchiature delicate e sistemi di controllo di infrastrutture strategiche in fase postsismica.

Potenziati utenti: PMI nazionali ed europee nei settori delle costruzioni e dell'industria meccanica e ferroviaria, istituzioni universitarie, Dipartimento della Protezione Civile.

Le prove su tavola vibrante hanno una fondamentale importanza ai fini della comprensione del comportamento dinamico delle strutture reali sotto l'azione dei carichi sismici, consentendo anche la validazione dei modelli numerici poiché forniscono i valori degli smorzamenti, delle frequenze critiche e dei principali modi di vibrare della struttura.

Le due tavole vibranti in dotazione del laboratorio consentono lo studio e la sperimentazione di nuove tecnologie e nuovi materiali per la protezione sismica di manufatti civili, industriali e storico/monumentali.



Test dinamico/funzionale su componentistica elettronica



Test dinamico/funzionali su sistema d'antenna radar

	MASTER	CHILD
Dimensioni	4m x 4m	2m x 2m
Gradi di Libertà	6	6
Frequenza	0-20 Hz	0-200 Hz
Accelerazione	2g Peak	2g Peak
Velocità	0.5 m/s (0-Peak)	1 m/s (0-Peak)
Smorzamento	0.20 m (0-Peak)	0.20 m (0-Peak)
Peso Caricamento Overturning	10 ton (2g peak) 300 kN a m	5 ton (2g peak) 50 kN a m
Potenza installata	950 KW	
Portata	0.70 l/min	
Pressione	210 MPa	

Impianto tavole vibranti: schema esemplificativo e specifiche tecniche

Gli impianti sperimentali consistono in Shaker elettrodinamici che consentono la qualifica di componenti e sistemi rilevanti per la sicurezza a fronte delle sollecitazioni vibratorie previste durante l'esercizio in condizioni normali ed anormali.

Potenziali utenti: industria meccanica, aerospaziale, dei trasporti e nucleare.

Un'apparecchiatura rilevante per la sicurezza deve essere qualificata a fronte delle sollecitazioni vibratorie previste durante l'esercizio in condizioni normali ed anormali. Vibrazioni tipiche di quest'ultima classe sono quelle autoindotte nelle parti di impianto su cui l'apparecchiatura da qualificare deve essere installata e trasmesse all'apparecchiatura stessa tramite le strutture di supporto. Per esempio, se l'apparecchiatura è montata su tubazioni, generatori o motori, le vibrazioni da tenere in considerazione sono quelle prodotte dall'avviamento e dal funzionamento a regime delle macchine, dalla circolazione del fluido nei tubi, dalle vibrazioni di apparecchiature vicine a quelle da qualificare e dalle stesse parti costituenti di quest'ultima.

Tra le attività di maggior rilievo condotte sugli impianti si citano le qualifiche a vibrazioni per:

- il microsatellite ALMASat QM-1 (specifiche ECSS-E-10-02A ed ECSS-E-10-03A);
- sistemi aeronautici FA ed HLA (specifiche M346 THERMAL INSULATING FOR ECS PIPES/DUCTS AND COCKPIT);
- lo Spettrometro Alpha Magnetic (AMS) per la stazione spaziale orbitante ESA (specifiche AMS-INFN in accordo con DO-160C).



Shaker elettrodinamici	SISTEMA 1	SISTEMA 2
Dimensioni della tavola	61,0 cm	50,4 cm
Capacità massima	14,5 ton	2,7 ton
Prestazioni del sistema		
Accelerazione	125 g (0-g-nd)	100 g (0-g-nd)
Velocità	2 m/s (0-g-nd)	1,2 m/s (0-g-nd)
Spostamento	2,34 mm (0-g-nd)	2,34 mm (0-g-nd)
Intervallo di frequenza	0 - 2000 Hz	0 - 2000 Hz
Dimensioni della tavola di ancoramento orizzontale	130 cm x 130 cm	60 cm x 60 cm

Shaker elettrodinamici per la qualifica a vibrazioni (Sistema 1 da 14,5 ton. di spinta e Sistema 2 da 2,7 ton. di spinta)



Microsatellite ALMASat QM-1



Spettrometro Alpha Magnetic (AMS)



Sistemi d'arma FA e HLA

Presso il laboratorio possono essere effettuate prove di caduta ed urti per la qualifica di componenti e sistemi per applicazioni industriali (normative MIL STD 167-1), nucleari (normative ANSI N14.5), il trasporto ferroviario (normative F.S. - I.S.402) e l'industria aerospaziale (normative DO-160C, ECSS-E-10).

Potenziali utenti: industria elettronica, meccanica, aerospaziale, trasporti, nucleare.

L'evento "caduta di aereo", insieme con l'evento sismico e la rottura del circuito di raffreddamento del reattore (Loss of Coolant Accident, LOCA), rientra tra gli incidenti base (Design Base Event) postulati in fase di progetto. La prova con la macchina da shock in dotazione al laboratorio riproduce una delle condizioni incidentali previste nelle prove di tipo per la qualifica nucleare, per verificare che le configurazioni ingegneristiche di sicurezza e protezione adottate siano idonee a prevenire l'evoluzione verso il livello di incidente grave.

Tra le attività maggiormente significative del laboratorio si citano le prove di tenuta su contenitore di trasporto per soluzioni di plutonio, secondo la normativa di riferimento ANSI N14.5-97 (American National Standard for Radioactive Material - Leakage Test on Packages for Shipment).



Macchina per shock test



Test di caduta da 70 cm

Il laboratorio può effettuare la qualifica climatica di componenti e sistemi nucleari mediante camere climatiche, camere a nebbia salina, stufe termostatiche e camere climatiche per prove combinate di invecchiamento termico e sollecitazioni meccaniche.

Potenziali utenti: industria elettronica, meccanica, aerospaziale, trasporti, nucleare.

La qualifica climatica consiste nel sottoporre i componenti e sistemi in esame ad un processo accelerato di invecchiamento termico per simulare in un breve periodo di tempo un funzionamento di lunga durata. Le sollecitazioni imposte sono definibili con leggi di degradazione fisica o chimica mediante parametri misurabili, al fine di ottenere proprietà fisiche e chimiche simili a quelle determinate da un lungo periodo di utilizzo nelle condizioni di funzionamento di esercizio.

Tra le più significative attività svolte dal laboratorio si citano:

- qualifica di contenitori di trasporto per soluzioni di plutonio (normative di riferimento: ANSI N14.5-1997, MIL STD 167-1, Nucleco IMIL-ILC 200.40.01. S 043, Nucleco IMIL-ILC 20.01.02.10 Q 004 REV. 1, UNI ISO 4628, UNI ISO 12944);
- prove RHEINMETALL (normativa di riferimento: MIL-STD 810 G).



Camere climatiche e camere a nebbia salina per qualifica ambientale di componenti e sistemi nucleari



Camera Climatica per prove combinate di cicli termici, sollecitazioni meccaniche e irraggiamento UV



Contenitore di rifiuti radioattivi dopo la prova di caduta da 9 m e invecchiamento termico a 800 °C per 30 minuti

L'impianto VAPORE consente di effettuare prove termomeccaniche e fluidodinamiche su componenti e sistemi di impianti nucleari e convenzionali. Rappresenta, pertanto, un importante supporto per le industrie del settore dell'impiantistica e della componentistica meccanica e strutturale di processo essendo l'accesso alle opportunità di mercato, presentate dal rilancio dell'opzione nucleare in Italia, subordinato all'offerta di componenti e sistemi, anche innovativi, da qualificare in condizioni operative reali secondo regime di GQ.

Potenziali utenti: Industrie del settore dell'impiantistica e della componentistica meccanica e strutturale di processo.

L'impianto, progettato da ENEA, è stato completato nel 1986 e potenziato nel 1992. È costituito da un pressurizzatore per impianti nucleari che funge da generatore di vapore e serbatoio di accumulo. Alimenta, con portate regolabili di vapore saturo o di acqua satura, componenti e sistemi tipici dei circuiti primari e secondari di impianti nucleari e di impianti convenzionali, riproducendo le sollecitazioni di processo e le condizioni ambientali necessarie per la qualifica funzionale delle apparecchiature in prova.

L'elasticità d'esercizio è una caratteristica peculiare di VAPORE: essa, grazie anche alla configurazione che presenta aspetti unici nel panorama degli impianti simili (come ad es. la piscina di scarico termicamente coibentata da 400 mc), consente di effettuare prove funzionali in una vasta gamma di tipologie e prestazioni.

Le prestazioni principali di VAPORE sono:

- Pressione di esercizio: regolabile fino a 18 MPa
- Temperatura di esercizio: da T ambiente a 357 °C
- Portata vapore saturo: regolabile fino a 300 kg/s
- Portata acqua satura: regolabile fino a 600 kg/s.

L'impianto VAPORE è stato impiegato, tra l'altro, per:

- attività di verifica sperimentale del sistema di scarico di reattore BWR General Electric;
- la qualificazione in Gestione della Qualità, per conto Nuovo Pignone, della fornitura di valvole di sfioro-sicurezza destinate alla centrale nucleare di Montalto di Castro;
- attività di qualifica in GQ, per conto Westinghouse, del sistema completo di depressurizzazione automatica del reattore PWR AP600 e per la determinazione sperimentale delle sollecitazioni sulle strutture del piping e dell'edificio reattore.



Fasi di realizzazione dell'impianto VAPORE:

- a: posizionamento del generatore di vapore
- b: piscina di scarico e sistema di riscaldamento dell'acqua di piscina
- c: particolare di alcune postazioni di prova e della tubazione di scarico
- d: particolare del sistema di gestione della fase vapore



Prove del sistema automatico di depressurizzazione del reattore AP-600 (Westinghouse). Vista d'assieme in una fase della campagna sperimentale



Allestimento sull'impianto VAPORE di 4 valvole di sfioro-sicurezza destinate alla centrale nucleare di Montalto di Castro (anno 1987)

Il laboratorio effettua studi di sicurezza, incluso probabilistic risk assessment – PRA – fino al livello 3, e offre supporto alla qualificazione analitica e sperimentale di componenti e alla definizione delle condizioni operative per la qualificazione sperimentale di sistemi e processi produttivi.

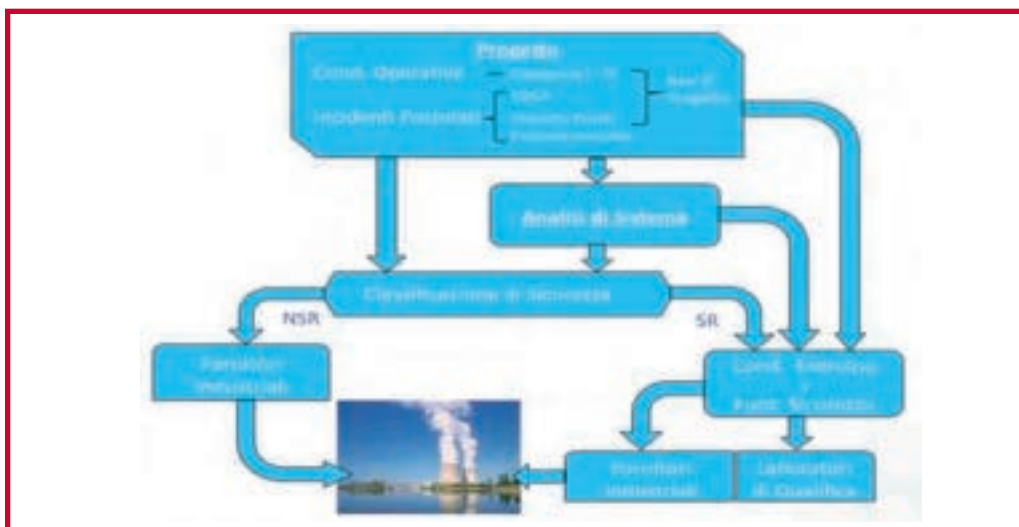
Il laboratorio è dotato di competenze per analisi di affidabilità e per l'implementazione di modelli in piattaforme di codici sviluppati e validati in collaborazioni europee per lo studio dell'evoluzione incidentale di reattori LWR di generazione 3 e 3+. Dispone delle basi dati sugli impianti e sulla normativa per la classificazione sismica e di sicurezza e per la qualificazione nucleare. Effettua analisi di sistema finalizzate all'avviamento, all'esercizio, alla gestione degli eventi base di progetto (DBA) e oltre (BDBA).

Potenziali utenti: enti e istituti per studi sulla sicurezza, enti di ricerca, Università, industrie del settore nucleare.

Il laboratorio, costituitosi alla fine degli anni 80 per attività sui reattori AP600 e SBWR nell'ambito della collaborazione di ENEA-ENEL-Ansaldo Nucleare con Westinghouse e General Electric, è stato impegnato in:

- Accordo di programma MSE-ENEA linea programmatica 5: "Supporto all'Autorità istituzionale di sicurezza per gli iter Autorizzativi dei reattori di III generazione. Comparazione delle attuali opzioni scientifiche e tecnologiche";
- Accordo ENEA-CIRTEN (Consorzio Interuniversitario per la ricerca tecnologica nucleare: Politecnici di Milano e Torino e Università di Roma, Palermo, Pisa, Bologna e Pavia);
- Accordo di collaborazione ENEA-Commissariat à l'Energie Atomique;
- tutti i 12 gruppi di lavoro UNICEN finalizzati alla qualificazione nucleare delle imprese.

Supporto alla qualificazione analitica e sperimentale di componenti e definizione delle condizioni operative per la qualificazione sperimentale di sistemi e processi produttivi



La SIET, Società per Azioni partecipata da ENEA, ENEL, Ansaldo, Politecnico di Milano e Tectubi-Raccordi è l'unica realtà nazionale che possiede impianti sperimentali di grande taglia in grado di simulare il comportamento termo-fluidodinamico di componenti e sistemi di reattori LWR. È in grado di eseguire prove per la sicurezza degli impianti nucleari di potenza in condizioni operative reali.

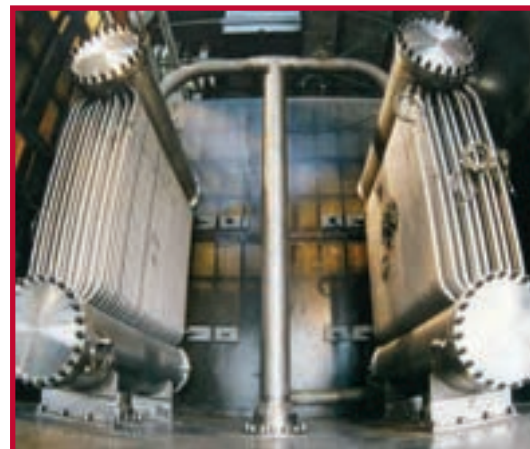
Potenziali utenti: Agenzia nazionale di sicurezza (per gli iter autorizzativi), industria nazionale (per lo sviluppo e qualificazione dei prodotti venduti in Italia e all'estero).

SIET è nata negli anni 80 con lo scopo di eseguire prove per la sicurezza degli impianti nucleari di potenza. In seguito ha mantenuto in esercizio i propri impianti sperimentali per attività dall'estero: Stati Uniti, Giappone, Corea del Sud ed ha partecipato, in collaborazione con ENEA, ai programmi quadro della UE nel settore "Fissione Nucleare". SIET partecipa al programma di ricerca sul reattore IRIS finanziato nell'ambito del AdP MSE-ENEA.

In termini di potenzialità SIET si colloca ai primi posti su scala internazionale: la maggior parte dei test è eseguita con i fluidi alle condizioni reali di funzionamento del reattore di riferimento. La Società può inoltre contare su un gruppo di specialisti esperti nelle discipline di interesse: la termo-fluidodinamica sperimentale, l'ingegneria degli impianti per il testing, la metrologia e il calcolo con codici numerici.

Il parco di impianti sperimentali SIET può offrire numerosi servizi di prova:

- Riproduzione di sequenze incidentali su simulatori integrali di impianti nucleari PWR;
- Prove termo-meccaniche di sistemi di rimozione del calore di decadimento di reattori LWR;
- Prove termo-fluidodinamiche di componenti di impianti nucleari: rod cluster del reattore, generatori di vapore, scambiatori di calore, separatori acqua-vapore, pompe a getto;
- Prove varie su valvole di regolazione, sicurezza, intercettazione: misura coefficiente di efflusso, misura di parametri di cavitazione, resistenza a cicli di apertura/chiusura e shock termici;
- Determinazione delle curve caratteristiche di pompe centrifughe ed alternative;
- Prove termo-meccaniche su tubazioni e raccordi: pressurizzazione a caldo con misure strutturali, misure di vibrazione e di rumore, prove di scoppio in acqua.



Prove termo-meccaniche di sistemi di rimozione del calore di decadimento di reattori LWR (PCC reattore SBWR: 10 MW, 175 m³)



Prove di crisi termica su fascio di barre reattore BWR (potenza: 10 MW; pressione: 70 bar)



Prove di pressurizzazione su valvola di intercettazione

L'impianto IETI è una facility "multipurpose" che consente di effettuare prove termoidrauliche su componenti di diversa tipologia con acqua, vapore o miscela bifase, in un campo molto ampio di condizioni termodinamiche. È impiegabile anche per attività didattica a livello universitario per gli studi nel campo della termo-fluidodinamica di base e applicata.

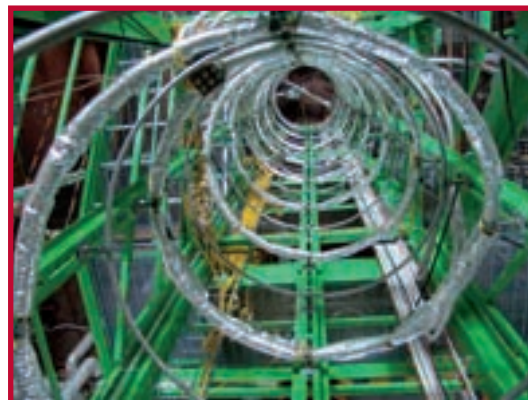
Potenziali utenti: Industria (per ricerca e sviluppo nonché qualificazione), Autorità di Sicurezza (per la verifica del progetto ai fini della sicurezza), Sistema Universitario (per studi sperimentali e per scopi didattici).

Condizioni operative dell'impianto:

- acqua (250 bar, 370 °C, 13 kg/s)
- vapore surriscaldato (100 bar, 500 °C, 4 kg/s)
- miscela bifase acqua-vapore (titolo 0÷100 %).

Principali prove effettuate sull'impianto IETI:

- Prove di crisi termica sul cluster "64 barre" finalizzate alla qualifica dell'elemento di combustibile del BWR General Electric;
- Prove di scambio termico su sezioni di prova tubolari ed anulari riproducti sotto-canali di reattori LWR e su fasci tubieri tipici di generatori di vapore PWR per ENEA;
- Prove di funzionalità di pressurizzatori PWR e relative valvole di sicurezza per ENEA;
- Prove di base su particolari fenomenologie termoidrauliche per applicazioni su componenti LWR (flooding pressurizzatore PWR, Reflux Condensation nei tubi dei GV PWR) per ENEA;
- Prove varie di dispositivi passivi per i circuiti di emergenza LWR (Steam Injectors) per conto di varie organizzazioni e istituzioni (Cise, Enel, Siemens, UE, Toshiba);
- Prove di scambio termico su tubi elicoidali del generatore di vapore del reattore IRIS per il Politecnico di Milano;
- Prove di ugelli idraulici per getti di grande potenza per la "descagliatura" di prodotti dell'industria siderurgica;
- Taratura e messa a punto di strumentazione speciale per misure su fluidi bifase.



Impianto IETI: prove di scambio termico su tubi elicoidali del generatore di vapore IRIS



Impianto IETI: prove di steam injector CISE per iniezione passiva in LWR (pressione: 20÷90 bar)



Impianto IETI: prove di scambio ad elevatissimi flussi termici (fino a 37 MW/m²)

Le elevatissime potenzialità del laboratorio GEST della SIET consentono l'effettuazione di test a piena scala e a condizioni reali di esercizio su diversi componenti caratterizzanti il ciclo termico degli impianti nucleari raffreddati ad acqua (LWR).

Potenziali utenti: Agenzia nazionale di sicurezza (per gli iter autorizzativi), industria nazionale (per lo sviluppo e qualificazione dei prodotti venduti in Italia e all'estero).

Il laboratorio è stato progettato per eseguire prove di ricerca/sviluppo e di qualificazione sperimentale di generatori di vapore PWR in condizioni operative reali (miscela acqua-vapore ad alta pressione). Include tre facility distinte che condividono alcuni sotto-sistemi di impianto: GEST-GEN, per test sui generatori di vapore, GEST-SEP per test su separatori acqua-vapore, PANTHERS per prove su sistemi per la rimozione del calore di decadimento di reattori nucleari.

- La facility GEST-SEP consente di misurare l'efficienza di separatori acqua-vapore per impieghi sia nel reattore bollente (BWR) sia nel generatore di vapore del reattore pressurizzato (PWR). Condizioni di prova tipiche: pressione: 60÷80 bar; portata di fluido: 50÷200 kg/s; titolo di vapore ingresso separatore: 5÷25 %. Nell'ultimo decennio sono state effettuate oltre venti campagne sperimentali per conto di organizzazioni internazionali quali Westinghouse, Mitsubishi, Doosan, Toshiba.
- La facility GEST-GEN consente di effettuare test su componenti quali generatori di vapore PWR (ma non solo) finalizzati alla misurazione dello scambio termico in regime stazionario oppure alla verifica del comportamento in regime transitorio o in condizioni di instabilità termoidraulica. Da segnalare la campagna sperimentale sul prototipo di generatore a tubi elicoidali del reattore ISIS (20 MW), progettato da Ansaldo Nucleare.
- La facility PANTHERS consente di eseguire test su sistemi di rimozione del calore del tipo a scambiatore immerso in piscina d'acqua. Su questa facility fu condotto il programma di certificazione dei sistemi PCCS e ICS del reattore SBWR, cui parteciparono SIET, ENEL, ENEA e General Electric.

Il laboratorio GEST nel suo complesso può essere impiegato per condurre test a caldo con elevate portate di acqua (fino a 200 kg/s) e vapore (fino a 40 kg/s) anche su altri componenti di impianti nucleari come valvole di regolazione e di sicurezza, scambiatori di calore, dispositivi per la misura della velocità dei fluidi.



Vessel Impianto GEST (volume: 45 m³, altezza: 15 m)



Isolation Condenser SBWR in prova su facility PANTHERS (potenza: 20 MW)



Compressore di vapore dell'impianto GEST (potenza: 1 MW, portata: 40 kg/s, pressione: 70 bar)

Il Laboratorio SPES (Simulatore Pressurizzato per Esperienze di Sicurezza) della SIET comprende impianti sperimentali in grado di simulare in scala significativa i principali sistemi di un reattore PWR, alle stesse condizioni termodinamiche del reattore (155 bar, 330 °C lato primario). Le prove tipiche effettuabili consistono nella riproduzione di transitori incidentali prevedibili per il reattore di riferimento come, ad esempio, incidenti di perdita di refrigerante (LOCA). SPES può inoltre essere impiegato per attività di training del personale tecnico delle Utilities e per attività formativa a livello universitario e post-universitario.

Potenziali utenti: Agenzia nazionale di sicurezza (per gli iter autorizzativi), industria nazionale (per lo sviluppo e qualificazione dei prodotti venduti in Italia e all'estero), Utilities (per training del personale tecnico), Sistema Universitario (per attività formativa a livello universitario e post-universitario).

Le prove effettuabili con l'impianto SPES consentono di prevedere il comportamento del reattore in situazioni critiche e di mettere a punto idonei strumenti di calcolo per le verifiche di sicurezza del reattore, in supporto sia al progettista sia all'agenzia di sicurezza.

Il laboratorio include due facility, SPES-2 e SPES-3, che condividono infrastrutture e sistemi ausiliari:

- La facility SPES-2 simula a piena scala in elevazione e in scala 1:400 per volumi e potenze il circuito primario, parte del secondario e tutti i sistemi di sicurezza del reattore AP-600 della Westinghouse. Su questa facility SIET ha condotto la parte principale del programma sperimentale di certificazione del reattore che si è concluso con l'ottenimento del licensing NRC.
- La facility SPES-3, in corso di realizzazione, è stata progettata da SIET per la simulazione del reattore di generazione 3+ IRIS (International Reactor Innovative and Secure). IRIS è un reattore ad acqua pressurizzata di tipo integrale. SPES-3 simula a piena scala in elevazione ed in scala 1:100 sui volumi il "Reactor Pressure Vessel", i sistemi di emergenza e il contenimento di IRIS. La potenza è pari a 6,5 MW. SPES-3 consentirà di studiare sperimentalmente l'accoppiamento termoidraulico circuito primario-contenimento di un reattore LWR, esperienze finora mai effettuate, a livello internazionale, su facility di potenzialità comparabili a quelle di SPES-3.



Impianto sperimentale SPES-2: vista laterale Nord zona sistemi sicurezza passivi (altezza totale impianto: 30 m)



Impianto sperimentale SPES-2: testata superiore del canale di potenza (potenza: 5 MW, n. 97 barre riscaldate)



Impianto sperimentale SPES-3: lay-out generale (altezza totale: 30 m; volume totale: 80 m³)

Parte II – ATTIVITÀ A SUPPORTO DELLE QUALIFICHE NUCLEARI

Il Laboratorio CETRA consente l'esecuzione di prove di caratterizzazione chimica, fisica e meccanica su matrici cementizie per il condizionamento di rifiuti tossici e/o radioattivi. Il Laboratorio studia, qualifica e mette a punto processi per il trattamento e il condizionamento di rifiuti radioattivi in accordo con i criteri stabiliti dal documento di riferimento nazionale Guida Tecnica n. 26 – ENEA-DISP (ora ISPRA) e dall'organo internazionale di controllo IAEA.

Potenziali utenti: Operatori del settore del ciclo del combustibile nucleare (Sogin, ENEL, Ansaldo ecc.).

La qualificazione dei processi di condizionamento consiste in una serie di attività finalizzate a dimostrare che le matrici risultanti dal processo di condizionamento rispettano i requisiti minimi richiesti per il deposito temporaneo, il trasporto e lo smaltimento finale dei rifiuti. Le proprietà chimiche, fisico-meccaniche e radiologiche delle matrici di condizionamento vengono determinate tramite opportuni test su "provini" di laboratorio o prototipi di manufatti in opportuna scala, simulanti i rifiuti condizionati.

Le prove principali previste dalla G.T. n. 26 sono: resistenza alla compressione, resistenza a cicli termici, resistenza all'irraggiamento, resistenza al fuoco, prova di lisciviazione, liquidi liberi, resistenza alla biodegradazione e resistenza all'immersione. Alcune prove (resistenza alla biodegradazione, prova di lisciviazione e resistenza all'irraggiamento) sono condotte in collaborazione con altri laboratori ENEA.

In aggiunta, nel Laboratorio si effettuano prove per la determinazione di alcune proprietà strutturali, fisiche, chimiche e meccaniche: calore di idratazione del cemento, tempo di presa, resistenza alle soluzioni aggressive, permeabilità all'acqua sotto pressione, finezza e porosità.



Resistenza a cicli termici
Camera climatica Angelantoni
Challenge CH 250 C



Stagionatura
Camera climatica Angelantoni Challenge
CH 500 VP



Resistenza a compressione
Pressa Tecnotest KC 150

Il laboratorio può essere impiegato per la post test analysis di materiali strutturali. È dotato di apparecchiature per l'analisi della superficie, della forma, della dimensione, della microstruttura e di alcune caratteristiche meccaniche. Consente l'analisi di materiali sottoposti a sperimentazione in ambiente ostile (metalli liquidi, sali fusi, alta temperatura, temperatura criogenica) e a prove distruttive.

Potenziali utenti: enti di ricerca, fabbricanti di componenti nucleari, soggetti ispettivi.

Il laboratorio, entrato in funzione nel 1976, ha ottenuto la certificazione ISO 9001 nel 2005. È stato continuamente aggiornato con acquisizione di nuove apparecchiature, le ultime delle quali sono state lo spettrometro a fluorescenza di raggi X e il diffrattometro a raggi X (2002).

Il laboratorio è stato ed è tuttora impegnato in differenti progetti riguardanti la Fusione (IFMIF, TBM per ITER), la Fissione nucleare (Tecla, Eurotrans, Europart, Acsept, Vella, Getmat, Elsy) ed il Solare Termico ad alta temperatura.

Il laboratorio ha partecipato alla raccolta di informazioni e conoscenze al fine di sviluppare la tecnologia dei reattori e sorgenti di spallazione in metallo liquido pesante. I risultati sono raccolti in "Handbook on Lead Bismuth eutectic alloy and Lead properties..." edito dalla NEA (ISBN 978-92-64-99002-9)



Diffrattometro per identificazione composti chimici



Microscopio elettronico con Microanalisi

Panoramica del laboratorio



Il laboratorio può effettuare prove di qualificazione delle proprietà meccaniche dei materiali strutturali anche in ambienti ostili e a temperature comprese tra i 20 e i 1200 K, essendo dotato, oltre che di apparecchiature per prove meccaniche, anche di camere in vuoto appositamente attrezzate.

Potenziali utenti: enti di ricerca, fabbricanti di componenti nucleari, soggetti ispettivi.

Il laboratorio, entrato in funzione nel 1990, è dotato di macchine per prove di fatica, trazione e compressione da 50, 100, 500 kN. Possiede, inoltre, una macchina per fatica compressiva da 8000 kN progettata e sviluppata dall'ENEA.

Il laboratorio è stato principalmente impegnato in progetti riguardanti la Fusione termonucleare ed ha operato anche in supporto a ditte private esterne, effettuando prove di attrito in ambiente criogenico per caratterizzazione di materiali anti-frizione e prove di fatica su materiali strutturali in ambiente ostile (lega piombo litio a 400 °C).



Macchina di fatica MTS da 500 kN



Macchina per fatica compressiva da 8000 kN

Panoramica del laboratorio



L'impianto CERtem (Corrosione, Erosione, TEMperature elevate) può essere utilizzato per sottoporre componenti in scala reale a condizioni di prova, in termini di temperature e portate dei fumi, che riproducono quelle reali di esercizio. In particolare, consente di eseguire: prove di ossidazione, erosione, corrosione.

Potenziali utenti: Industrie dei settori energetico, aeronautico e aerospaziale, siderurgico.

Nel contesto delle attività legate all'impianto viene offerta assistenza nella progettazione delle prove e delle sezioni di prova. A valle delle campagne di prova viene prodotto un resoconto dettagliato delle condizioni di prova (in termini di temperature e portate).

L'impianto CERtem svolge attività in collaborazione con i laboratori per:

- sviluppo, fabbricazione e caratterizzazione di barriere termiche ed ambientali ceramiche per componenti metallici e SiC-SiC di turbine realizzate mediante Air Plasma Spray (APS);
- caratterizzazione post prova (meccaniche, chimiche, NDT).

L'impianto è stato utilizzato nell'ambito di:

- Progetto CERtem: ENEA è stato capofila nel Progetto - in collaborazione con Ansaldo Ricerche, CSM, Pastis-CNRSM, Università di Pisa - che ha portato alla realizzazione dell'omonimo impianto. Ne ha seguito progettazione, realizzazione e collaudo e condotto l'esercizio.
- Progetto PUMA, in collaborazione con Ansaldo Ricerche, Saint-Gobain, Scanduzzi Sud, Stara Glass, Cetma: materiali per la realizzazione recuperatori di calore, media ed alta temperatura, da porre in coda al processo di produzione delle vetriere. Materiali metallici e ceramici costituenti tubi del recuperatore di calore.
- Progetto TEPLAN (commessa Cetma): prove su materiali refrattari per inceneritori al plasma.

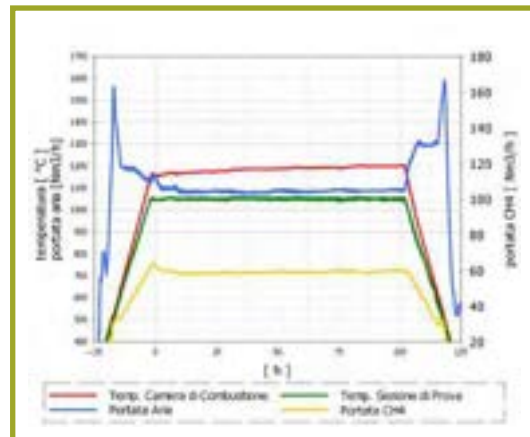


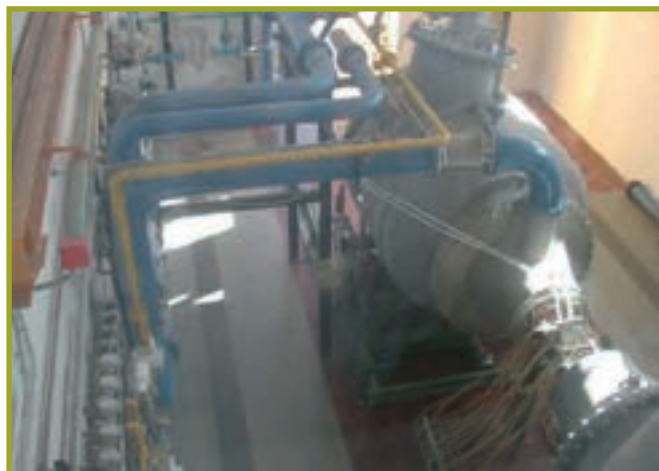
Diagramma di prova



Sezione di prova "turbogas" (dimensione sezione di passaggio fumi 90x280 mm)



Sezione di prova "combustione esterna" (dimensione sezione di passaggio fumi 600x600 mm)



Locale impianto CERtem

Il laboratorio utilizza tecniche ad ultrasuoni per il controllo di materiali. Può effettuare:

- ricerche su materiali avanzati finalizzate al controllo dei difetti interni e all'individuazione di differenti strutture metallografiche e trasformazioni di fase;
- correlazioni tra le variazioni strutturali del materiale rilevate con analisi non distruttive e con tecniche distruttive (prove meccaniche, microstrutturali, microanalisi);
- lo sviluppo e la sperimentazione di strumentazione prototipo per il monitoraggio delle variazioni strutturali di nuovi materiali in funzione di variabili quali tempo, temperatura, pressione, umidità.

Potenziali utenti: Imprese interessate alla progettazione e realizzazione di metodi di controllo innovativi applicabili a differenti settori merceologici, Enti ed istituzioni di ricerca scientifica.

Il laboratorio è stato coinvolto in:

- qualifica di giunzioni eterogenee ceramica-metallo;
- controllo in linea di processi di formatura di compositi a matrice termoindurente (collaborazione con l'Università di Lecce);
- programma sperimentale su una struttura in calcestruzzo armato in fase di demolizione, al fine di determinare una metodologia di indagini in situ del calcestruzzo (collaborazione con Università di Cosenza, Università di Napoli, Politecnico di Bari);
- analisi di differenti tipologie di giunto (eterogiunzioni metallo-ceramico, laminato in PP fibrorinforzato, calcestruzzo-frp);
- studio delle variazioni delle proprietà strutturali del composito di calcestruzzo + resine epossidiche al variare delle condizioni ambientali e in funzione del tempo.

Il laboratorio collabora con il CNR-ITEF di Padova per le analisi termografiche e ha collaborato con: ENEL, SKF, Avio, GE Nuovo Pignone, Consorzio CETMA.

Dispone del Sistema C-SCAN (Microscopio Acustico a Scansione), per visualizzare la posizione di un eventuale difetto presente nel materiale analizzato, e di strumentazione di avanguardia per la misura dei parametri ultrasonori. Si avvale, inoltre, per lo studio dei materiali, della collaborazione di laboratori per: caratterizzazione termo-meccanica; caratterizzazione micro strutturale; analisi chimiche; realizzazione di rivestimenti antiusura e barriere termiche e dell'impianto CERTem per prove ad alta temperatura su componenti.



Sistema C-Scan ad ultrasuoni

Il laboratorio è costituito da un sistema integrato di strumentazioni e competenze – tra i principali in Italia – per la caratterizzazione/qualificazione di materiali e componenti, sulla base della loro microstruttura. Consente di effettuare indagini approfondite sulla struttura, sulla microstruttura e sulle eterogeneità di carattere chimico presenti nella materia. Le informazioni ottenibili sono imprescindibili per programmi di sviluppo di materiali innovativi. Inoltre, alcuni indicatori microstrutturali sono utilizzabili a supporto ed integrazione di CND per la diagnostica sull’insorgere di anomalie e difetti, oltre che utili a fornire informazioni sulla vita residua di acciai sottoposti a carichi elevati e ad alta temperatura.

Potenziali utenti: la versatilità della strumentazione consente sia azioni di ricerca che analisi di servizio in collaborazione con il sistema della ricerca e con quello industriale.

Il laboratorio è dotato di:

- Microscopia elettronica in trasmissione (TEM)
- Microscopia elettronica a scansione (SEM)
- Diffrazione di raggi X per indagini strutturali mediante diffrazione ad alto e a basso angolo con ampia dotazione di strumentazione
- Spettroscopia di fotoelettroni (XPS) e di elettroni Auger per l’analisi chimica di superfici ed interfacce.



TEM FEI TECNAI G2 30 F



Diffrattometro a raggi X MPD Philips



Spettrometro XPS modello VG ESCALAB MK II dotato di doppio anodo, cannone ionico per depth-profiling, lampada UV per analisi UPS, raffreddamento nominale alla temperatura dell’azoto liquido e riscaldamento del campione sino a 800 °C in situ

Referenti

Microscopia Elettronica:

Amelia Montone
amelia.montone@enea.it

Diffrazione Raggi X:

Antonella Tagliente
antonella.tagliente@enea.it

Spettroscopia di superficie:

Rossella Giorgi
rossella.giorgi@enea.it

Gli impianti (un impianto Electron Beam e un Laboratorio laser) sono utilizzati per lo sviluppo e la qualificazione di procedimenti di saldatura e trattamenti superficiali. L'impianto EB permette un livello di qualità superiore ma la dimensione dei componenti è limitata dalla grandezza della camera da vuoto. Il Laboratorio laser consente invece la lavorazione su componenti di grande dimensione ma su un range di materiali e spessori più limitato.

Potenziali utenti: laboratori di ricerca e aziende del settore aeronautico ed aerospaziale, aziende che operano nella produzione di componenti per il settore nucleare da fusione e/o fissione.

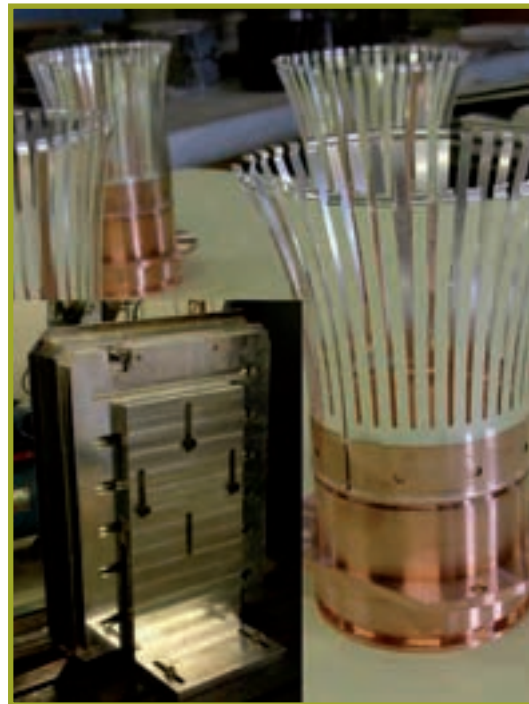
L'impianto Electron Beam (EB) sotto vuoto - situato nel Centro Casaccia - ha potenza massima di 50 kW, tensione di accelerazione di 80 kV e densità di energia superiori ai 10^9 W/cm². La camera da vuoto è di 1,3 m³ con tempo di evacuazione di 3 min. I tre assi motorizzati e controllabili mediante CNC permettono movimentazioni di 600 mm in Y e di 400 mm in X a cui si aggiunge un mandrino rotante. Le velocità di saldatura superano i 4 m/min con la possibilità di saldare, in un'unica passata, fino a 80 mm di spessore.

L'impianto, realizzato su specifiche ENEA alla fine degli anni 80 dalla TECHMETA, è utilizzato per lo sviluppo di procedimenti di saldatura e trattamenti superficiali su quasi tutti i materiali metallici, che vanno dagli acciai al carbonio alle super leghe al Nichel ma anche materiali meno comuni come leghe di Zirconia, il Niobio, Tungsteno Tantalio ecc.

Il laboratorio laser - situato nel Centro Trisaia - è una Hall di oltre 400 mq dotata di 4 stazioni laser e 4 stazioni di lavorazione con potenze che vanno da 2 a 6 kW. Le tre stazioni di lavorazione a portale hanno dimensioni che vanno da 500 x 500 x 300 mm³ fino a 2500 x 3500 x 500 mm³. A questa va aggiunto un sistema flessibile che permette lavorazioni 3D su un volume di circa 1 m³ realizzato da un antropomorfo a 6 Gdl e una tavola portapezzo a tre assi.

Il laboratorio è impiegato per lo sviluppo di procedimenti di saldatura ma anche per trattamenti superficiali e riporti. I materiali trattati sono principalmente leghe di acciaio, alluminio, titanio e nichel nell'ambito di progetti di ricerca nel settore dei trasporti e della fusione.

Il laboratorio è condiviso tra ENEA e il Consorzio CALEF; ciò consente di accedere a tutte le facilities oltre che di ENEA anche dei consorziati per lo Sviluppo di Procedimenti di Saldatura (WPS) e la loro qualificazione secondo le principali normative di riferimento. Il know how dei ricercatori ENEA e CALEF ne fa la struttura leader nel settore della saldatura laser e laser arco nel panorama nazionale.



Applicazioni Electron Beam CASACCIA: dx) Electron Beam Welding of copper Radiofrequency contact for CERN (CH); (sx) Electron Beam welding of aluminium cooling plate for aerospace application ALENIA for ESA



La hall tecnologica di circa 400 m² ospita 4 stazioni di lavorazione e 4 sorgenti laser con potenze comprese fra 1,8 e 6 kW utilizzate per lo sviluppo di processi di saldatura, trattamenti superficiali e la realizzazione di prototipi e piccole serie

L'impianto STAF può essere utilizzato per prove di critical heat flow (CHF) in sottoraffreddato, di ribagnamento di pareti ad alta temperatura (quenching e/o rewetting), di qualificazione, e per attività di formazione. La caratteristica fondamentale dell'impianto è la sua duttilità ad effettuare prove di diversa natura a seconda delle richieste dell'utente, simulando il comportamento di componenti differenti all'interno di uno stesso impianto.

Potenziali utenti: aziende coinvolte nel progetto termoidraulico, nella verifica e gestione in sicurezza del nocciolo di reattori ad acqua, SIET.

L'impianto è interamente realizzato in acciaio AISI 316; la sezione di prova, tipicamente un tubo di diametro interno fino a circa 10 mm (ma questo dipende dalle velocità e dalle potenze in gioco) può essere progettata ad hoc per effettuare misure sia di scambio termico in monofase ed in ebollizione, che di flusso critico in condizioni di sottoraffreddato.

Parametri principali dell'impianto:

- Fluido: acqua demineralizzata e degasata
- Portata fino a 2000 l/h
- Pressione fino a 7 MPa
- Temperatura di ingresso fluido: 20-75 °C
- Potenza elettrica disponibile fino a 90 kW (max 50 V, 1800 A).



Impianto STAF

L'impianto può svolgere attività nell'ambito del "nucleare da fissione" per ricerche sperimentali sulle problematiche bifase di scambio termico, studi sulla sicurezza (efflusso critico e flusso critico) e dimensionamento valvole di sicurezza in bifase.

L'impianto è stato progettato per effettuare prove sperimentali su: valvole di sicurezza/regolazione in bifase a basso titolo, anche in efflusso critico; perdite di carico in bifase, in tubazioni e pezzi speciali; strumentazione in bifase; flow-pattern in bifase.

Consente sperimentazioni finalizzate a ricerche su: scambio termico in bifase (ebollizione, condensazione); critical heat flux (flusso termico critico).

Potenziali utenti: Aziende di valvole di sicurezza e regolazione, enti e istituti per studi sulla sicurezza in caso di incidente o malfunzionamento (SIET, ISPESL ..)

L'impianto è realizzato interamente in acciaio inossidabile AISI 316.

Prestazioni dell'impianto:

- Fluido: H₂O
- Pressione fino a 1,8 MPa
- Portata fino a 1500 kg/h
- Temperatura max: 205 °C
- Potenza caldaia elettrica max 150 kW.

Con limitati interventi si può incrementare il range di esercizio in termini di portata evolvendo portandola a 2000-2500 kg/h.



Due viste dell'impianto sperimentale VASIB



Il laboratorio opera nella diagnostica in campo industriale, civile e dei beni monumentali. Può effettuare: caratterizzazione e analisi difettologica di componenti e nuovi materiali; caratterizzazione sonde e strumentazione per CND; sviluppo software sistemi automatici per i controlli non distruttivi; formazione.

Potenziali utenti: settore aeronautico, navale, fissione nucleare, fusione nucleare, automotive, trasporti ferroviari, costruzioni in muratura e in calcestruzzo, beni architettonici e monumentali.

Il laboratorio, entrato in funzione nel 1980, dispone di un laboratorio sistemi automatici e sviluppo software, un laboratorio laser e controlli visivi, un laboratorio termografia, un archivio difettologico e diagnostica civile (CLS), un bunker radiografico.

Effettua analisi non distruttive in settori industriali in cui siano coinvolti aspetti di sicurezza, per l'uomo e per l'ambiente, e di garanzia della qualità del prodotto. Applica metodi sia innovativi che tradizionali per la messa a punto dei processi di produzione, per controlli di qualità del prodotto e per l'ispezione in servizio di componenti di impianto.

Tra i progetti, le attività e le collaborazioni rilevanti si citano:

- Progetto ITER: controllo dei componenti del divertore e dei componenti a superconduttore
- Progetto AVIO: Controllo di materiali TiAl
- Monitoraggio dell'impianto di produzione di Idrogeno
- Sviluppo del sistema automatico per il controllo del divertore di JET e ITER
- Sviluppo del sistema automatico per il controllo di componenti aeronautici ed industriali
- Progetto Europeo AWFORS: controllo di palette di turbina con saldatura capacitiva
- Controllo delle saldature laser di componenti per la macchina per fusione ITER
- Controllo in linea della produzione di tubi di alluminio - ALURES
- Progetto FASP: controllo in linea di saldature laser su lamiere di acciaio
- Controllo ad ultrasuoni delle brasature in rame del volano alternatore della macchina FTU di Frascati
- Servizi svolti per ITER, AVIO, AGUSTA WESTLAND, MBDA.



Tubo in rame con tegole in tungsteno e CFC (Carbon Fiber reinforced Carbon) del Divertore componente del reattore ITER



Sistema automatico ad ultrasuoni a 6 gradi di libertà



Sistema automatico general purpose con sonde ad ultrasuoni ed Eddy current con 4 gradi di libertà



Sistema a 4 gradi di libertà per il controllo ultrasonoro di componenti. Nella foto il sistema sta ispezionando il tubo del divertore.

Il laboratorio è attrezzato per la misura della permittività elettrica ϵ^* e della permeabilità magnetica μ^* su materiali solidi e liquidi secondo i seguenti metodi:

- **banco in guida d'onda per la misura di ϵ^* e μ^* da 3,95 GHz a 6 GHz su materiali solidi;**
- **banco in airline per la misura di ϵ^* e μ^* da 100 MHz a 6 GHz su materiali solidi lavorabili a macchina;**
- **banco in cavità risonante per la misura di ϵ^* a $\approx 2,4$ GHz per materiali solidi e liquidi;**
- **banco basato sull'open ended coaxial probe per la misura di ϵ^* da 500 MHz a 6 GHz su materiali liquidi e biologici.**

Potenziali utenti: Industrie e laboratori impegnati nello sviluppo di materiali innovativi schermati o assorbenti la radiofrequenza, nello sviluppo di antenne; Enti ed istituzioni pubbliche; Enti ed istituzioni di ricerca scientifica.

I più importanti metodi di misura di ϵ^* e μ^* sono:

- A banda larga: metodo trasmissione e riflessione (TRM) e linea di corto circuito (SCL), che si basano sull'alterazione del percorso propagativo di un'onda elettromagnetica dovuta all'inserimento del materiale in prova nel percorso stesso; metodo della sonda coassiale con terminazione aperta, nel quale il materiale in prova altera la capacità di una linea coassiale aperta;
- A banda stretta: metodo di alterazione della frequenza di risonanza e del fattore di qualità di cavità risonanti a seguito dell'inserimento del campione nella cavità.

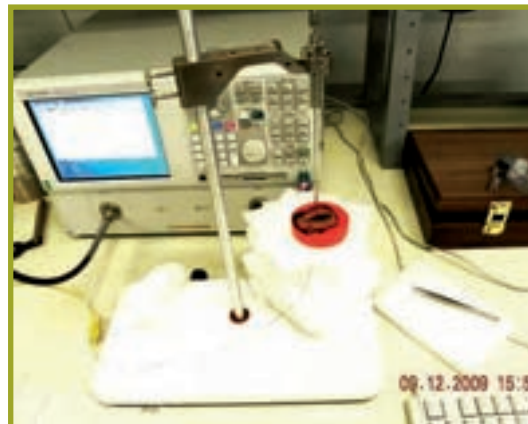
Il Laboratorio è dotato di un analizzatore di rete vettoriale di linee coassiali in aria, guide d'onda, linee coassiale aperte e cavità risonanti, nonché di software per l'inversione dei parametri di scattering; è possibile allestire banchi di misura con diversi percorsi propagativi.

Il Laboratorio ha eseguito diverse campagne di misure:

- su materiali solidi polimerici in banco a guida d'onda (Arylite, Kemafoil);
- in cavità risonante su materiali liquidi, solidi (Polistirene, TOPAS, PMMA, FR4, Zirconia, Biossido di Titanio) e solidi in forma di polvere ($Zn(SR)_2$, $Cd(SR)_2$);
- su materiali biologici (fegato suino e bovino) nell'ambito del progetto FILAS finanziato dalla regione Lazio "TAM" (Termo Ablazione a Micronde).



Vista del banco di misura in guida d'onda



Caratterizzazione elettromagnetica di un campione di fegato bovino sottoposto ad ablazione a microonde

Il laboratorio di caratterizzazione pre- e post-irraggiamento presso l'impianto di irraggiamento y CALLIOPE può essere utilizzato per:

- test di caratterizzazione ottica di materiali speciali
- fornitura di servizi di caratterizzazione ottica su materiali speciali
- attività di ricerca e didattica
- laboratorio di spettrofotometria
- laboratorio dosimetrico.

Potenziali utenti: Università, Enti di Ricerca ed Industrie nazionali ed estere.

Il laboratorio, progettato e realizzato dall'ENEA a partire dal 1985, è dotato di due spettrofotometri Perkin Elmer lavoranti nell'ultravioletto/visibile e nell'infrarosso, controllati da PC dedicati, che permettono misure di trasmissione e assorbimento anche su campioni diffondenti, nonché di uno spettrometro EMS-104 della Bruker per misure di Electron Spin Resonance per dosimetria con α -alanina e di radicali liberi in banda X ($n=9,4$ GHz) nell'intervallo di campo magnetico 3380-3580 Gauss.

Dispone anche di un estensore dinamometrico INSTRON mod.6022 da 5 kN con controllo ottico e di un banco da vuoto per test di irraggiamento in differenti atmosfere (ossigeno o azoto) rendendo possibile l'analisi di gas pre- e post-irraggiamento per mezzo di uno spettrometro di massa.

Altri spettrofotometri sono stati assemblati in collaborazione con l'INFN per:

- Progetto LUMEN: il banco ottico alloggia uno spettrofotometro a doppio fascio realizzato integralmente nel laboratorio, che consente misure di trasmittanza di campioni di grandi dimensioni nonché di microstrutture nel range 230-700 nm con acquisizione mediante Labview;
- Progetto MINIACCOR: Il sistema è impiegato per misure pre- e post-irraggiamento di trasmissione ottica longitudinale e trasversale di cristalli di grandi dimensioni (fino a 22 cm). È stato utilizzato per attività in collaborazione con INFN nell'ambito del progetto ECAL-CMS per la caratterizzazione di cristalli di tungstato di piombo ($PbWO_4$).

Il laboratorio è in grado di offrire a gruppi di ricerca e sviluppo universitari e privati sia collaborazione per ricerca congiunta sia servizi. È stato utilizzato, tra l'altro, per:

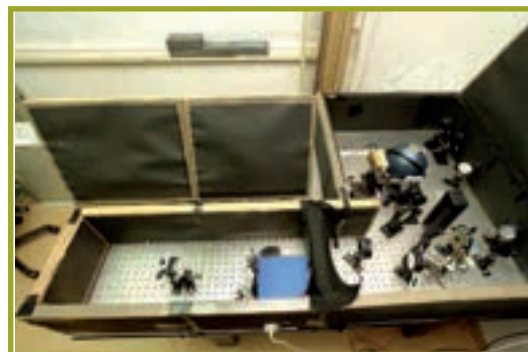
- attività in collaborazione con INFN nell'ambito del progetto ECAL-CMS per la caratterizzazione di cristalli di tungstato di piombo;
- la caratterizzazione dell'isolante di cavi elettrici provenienti dalla centrale nucleare del Garigliano.



Spettrofotometro Perkin Elmer Lambda 950 UV-VIS



Spettrofotometro PerkinElmer Spectrum™ 100 FT-IR



Banco LUMEN

Il laboratorio è costituito da un sistema integrato di attrezzature e competenze nel campo della caratterizzazione meccanica (trazione, compressione, flessione, fatica oligociclica, fatica termo-meccanica, creep, impatto ecc.). Può effettuare prove meccaniche tradizionali a caldo e a temperatura ambiente, prove di creep strumentato e prove di resilienza. L'insieme di tali prove si rende necessario per la verifica del comportamento meccanico a temperatura ambiente ed alle temperature caratteristiche di impiego nel settore energetico dei materiali strutturali. Si rende necessario altresì nello studio e nella determinazione di caratteristiche termo-meccaniche di nuovi materiali strutturali impiegabili nel settore energetico.

Potenziali utenti: Industrie del settore energetico.

Sin dal 1983, il laboratorio ha contribuito alla caratterizzazione meccanica di materiali di nocciolo veloce per poi passare, con la rinuncia ai programmi del nucleare da fissione, nel campo della caratterizzazione meccanica e termo-meccanica di leghe metalliche per la fusione, contribuendo allo sviluppo degli acciai martensitici a bassa attivazione in particolare nel campo della fatica termo-meccanica e nella caratterizzazione meccanica a freddo di materiali ceramici monolitici e compositi.

Il laboratorio è dotato di:

- due macchine universali per prove elettromeccaniche da 100 kN equipaggiate per prove in temperatura (max 1050 °C);
- una macchina per fatica termomeccanica da 100 kN per temperature massime di 750 °C;
- 12 macchine per prove strumentate di scorrimento viscoso (temperatura max 850 °C);
- pendolo strumentato charpy con mazza da 30 e da 50 J per prove di resilienza su micro campioni (micro-charpy klst), e studio della meccanica della frattura ad impatto;
- micromacchina universale elettromeccanica a bassa capacità (5–500 kg).



Vista di insieme delle macchine Mayes per prove di scorrimento viscoso (creep) strumentato



Macchine universali per prove meccaniche MAYES EMS 100 da 100 kN



Macchina Universale Mayes da 100 kN per fatica termo-meccanica (riscaldamento induttivo)



Pendolo Strumentato Wolpert da 30 e 50 J

Il laboratorio di corrosione e della frattura assistita dall'ambiente (EAC, Environmental Assisted Cracking) è dotato di impianti e sistemi prototipi per lo studio della tensocorrosione, corrosione a fatica e infragilimento da idrogeno dei materiali (e saldature) in ambienti di servizio simulati. Il laboratorio è equipaggiato con macchine elettromeccaniche Instron 8862 in grado di raggiungere velocità di deformazione estremamente ridotte (10^{-3} - 10^{-7} mm s⁻¹) accoppiate a:

- un circuito a ricircolo con autoclave che consente la caratterizzazione a EAC di materiali strutturali per il circuito primario dei reattori nucleari a fissione raffreddati ad acqua pressurizzata, in particolare EPR;
- un sistema prototipo a nitrati fusi che permette la caratterizzazione a EAC di materiali strutturali per il circuito intermedio dei reattori veloci di IV generazione raffreddati a sodio (SFR) secondo il concetto CEA per ESFR;
- un sistema prototipo per il caricamento elettrochimico di idrogeno che consente la caratterizzazione dell'interazione idrogeno-materiali strutturali nei reattori nucleari ibridi pilotati da fascio di protoni e finalizzati alla trasmutazione dei rifiuti radioattivi.

Potenziali utenti: produttori di impianti nucleari.

Il circuito a ricircolo con autoclave, realizzato su specifiche ENEA dalla ditta finlandese Cormet-Oy nel 1992 per la simulazione dei refrigeranti acquosi ad alta temperatura e pressione con chimica controllata (pH, conducibilità, gas (O₂, H₂) disciolti), è stato utilizzato per la caratterizzazione a fatica oligociclica di materiali strutturali per i componenti della macchina ITER e del reattore DEMO.

Il sistema prototipo a nitrati fusi con estensimetria compatibile è stato sviluppato dall'ENEA nel periodo 2002-2003 per lo studio della corrosione a fatica dei materiali strutturali per il circuito primario dell'impianto solare termodinamico Archimede.

Il sistema prototipo per il caricamento elettrochimico di idrogeno fino a 300 °C durante prove meccaniche è stato sviluppato dall'ENEA dal 2000 in versioni bassa (elettrolita acquoso) e alta (elettrolita a solfati fusi) temperatura per attività finanziate da CE circa l'infragilimento da idrogeno di materiali strutturali per la finestra della sorgente di spallazione delle macchine ADS (Accelerator Driven Systems) e per il blanket del reattore DEMO.

Le macchine sono equipaggiate da forni verticali compatibili per prove di riferimento in atmosfera inerte.



Circuito a ricircolo con autoclave per prove meccaniche in acqua ad alta temperatura e pressione: circuito bassa temperatura per il condizionamento e controllo della chimica dell'acqua



Analizzatore di idrogeno LECO RC412 modificato, uno dei componenti del dispositivo prototipo per prove di infragilimento da idrogeno con caricamento elettrochimico in-situ



Macchina elettromeccanica Instron 8862 con sistema di gestione remota/acquisizione dati, uno dei componenti del dispositivo prototipo per prove meccaniche in nitrati fusi

Il Centro SIT n. 10 dell'ENEA s'inserisce nel Sistema Nazionale di Taratura (SNT) istituito con la legge 273 dell'Agosto 1991. In ambito SNT opera il SIT (Servizio Italiano di Taratura), che è composto dall'INRIM (Istituto Nazionale per la Ricerca Metrologica) per le grandezze meccaniche, elettriche ed ottiche e l'ENEA-INMRI per le radiazioni ionizzanti.

Il Centro SIT n. 10 effettua tarature riconosciute SNT per le seguenti grandezze fisiche: temperatura (-80÷250 °C); grandezze elettriche in continua.

I certificati emessi per le grandezze accreditate sono riconosciuti a livello internazionale per l'accordo di mutuo riconoscimento EA.

Potenziali utenti: Pubblica amministrazione locale e piccola e media impresa.

Il laboratorio svolge anche le seguenti attività:

- corsi di formazione per personale operante in laboratori di taratura;
- partecipazione ad audit nazionali ed internazionali sulle misure di competenza;
- partecipazione a gruppi di lavoro e comitati tecnici del SIT.

Recentemente è stato sperimentato con successo nel laboratorio il Sistema STASI (Sistema per la Taratura di Accelerometri e Sismometri) per la taratura di sismometri ed accelerometri (frequenze 0,01 ÷ 10 Hz). Il sistema è attualmente unico in Europa per frequenze < 0,5 Hz e si integra perfettamente con il sistema tradizionale da 10 a 10.000 Hz già presente nel laboratorio.



Sistema STASI per la taratura di accelerometri (frequenze 0,01 ÷ 10 Hz)



Sistema tradizionale per la taratura di accelerometri (frequenze 10 ÷ 10.000 Hz)



Sistema di taratura strumenti per la misura di temperature

Sistema di taratura strumenti per misure di grandezze elettriche



Il Laboratorio consente la caratterizzazione radiologica di materiali e rifiuti radioattivi mediante tecniche di misura non distruttive, che cioè non modificano la natura chimica e fisica del campione.

Potenziali utenti: operatori del settore del ciclo del combustibile nucleare (Sogin, ENEL, Ansaldo ecc.), Autorità di Controllo (ISPRA), Gruppo G8-NPEG per la prevenzione e lotta al traffico illecito di materiale nucleare.

La tipologia e l'attività del materiale radioattivo vengono determinati tramite misure non distruttive quali: Spettrometria gamma a scansione o in situ e Misure neutroniche passive.

Il Sistema per la Spettrometria gamma a scansione implementa tre tecniche di misura (Segmented Gamma Scanning, Angular Scanning, Tomografia in emissione e trasmissione) che permettono la ricostruzione della distribuzione di attività dei radionuclidi in manufatti contenenti rifiuti radioattivi (fusti da 200 o 400 litri), nonché la distribuzione della densità della matrice di contenimento.

Il Sistema per la Spettrometria gamma in situ consente di ottenere l'efficienza di rivelazione nella configurazione di misura descrivendo al software la geometria e i materiali presenti, senza necessità di taratura. Queste caratteristiche permettono vari tipi di applicazioni: mappatura di contaminazione superficiale, stima dell'attività presente in oggetti di varie dimensioni, rivelazione di materiale radioattivo in condizioni altrimenti difficilmente monitorabili (condotte, pompe...).

Il Sistema di misura neutronico passivo permette di determinare la massa di materiale fertile (isotopi pari del plutonio) presente nel manufatto da caratterizzare.

Il Laboratorio è membro permanente dello European Network of Testing facilities for the quality checking of RAdioactive waste Packages (www.en-trap.ue), rete di laboratori costituita dalla UE come riferimento tecnico-scientifico per le autorità di sicurezza nazionali interessate alla caratterizzazione dei rifiuti radioattivi.



Misure su manufatti contenenti gamma-emettitori: Sistema di misura SRWGA (Sea Radioactive Waste Gamma Analyser)



Misure su campioni di varie geometrie contenenti gamma-emettitori: Sistema di misura ISOCS (In Situ Object Counting System)

Il Laboratorio virtuale DySCo (structural Dynamics, numerical Simulation, qualification tests and vibration Control) è il primo esempio in Italia di laboratorio per la partecipazione a distanza, da parte dei partner e committenti interessati, alle prove su tavole vibranti e shaker elettrodinamici di componenti e sistemi da qualificare a vibrazioni e sollecitazione sismica, con scambio dei dati in tempo reale.

Potenziali utenti: industria e costruttori di componenti e sistemi, anche nucleari, da qualificare per resistenza a vibrazioni e sollecitazione sismica.

L'acquisizione dei dati è realizzata mediante un sistema innovativo denominato 3D_Vision, di tipo "motion capture 3D ad alta risoluzione", che utilizza una costellazione di telecamere all'infrarosso (NIR) ad alta risoluzione per rilevare il moto nello spazio di speciali marcatori la cui traiettoria definisce il moto completo dei punti selezionati (spostamenti, velocità e accelerazioni). I dati sono direttamente assimilabili via Internet, attraverso l'infrastruttura ENEA-GRID, nei data base e nei modelli numerici disponibili presso il "Centro computazionale di RicErca sui Sistemi COMplessi" (CRESCO) ed in linea con l'approccio agli spostamenti nella progettazione strutturale in ingegneria sismica.

Tramite sistema di autenticazione e intuitiva interfaccia web, il generico utente remoto dispone inoltre sia dei diversi software di analisi strutturale distribuiti nell'infrastruttura di calcolo che dell'intera potenza di elaborazione parallela della griglia computazionale ENEA-GRID.

Il laboratorio virtuale DySCo è stato realizzato da ENEA nell'ambito dei progetti di ricerca TREMA, RELUIS e TELLUS STABILITA per la protezione sismica di edifici in muratura, in c.a. e misti. Le competenze presenti nel laboratorio hanno consentito la caratterizzazione dei dispositivi antisismici EARLYPROT, per la protezione sismica di componenti e sistemi nucleari, apparecchiature delicate e opere d'arte.



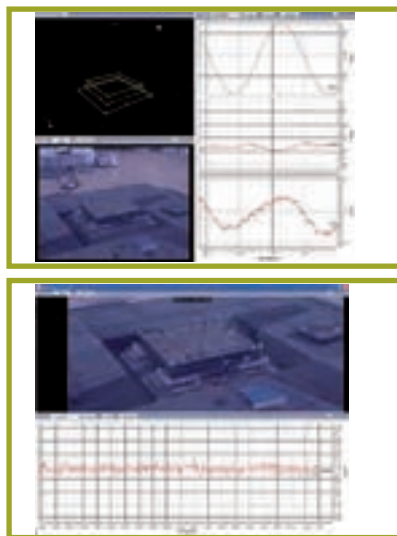
Schema di funzionamento sistema 3D_VISION



Struttura del laboratorio DySCo: il partner della sperimentazione condivide le immagini e i dati in remoto durante la prova e collabora nell'interpretazione dei risultati e nella gestione dell'esperimento



Esempio di condivisione in tempo reale della prova di caratterizzazione dispositivi antisismici innovativi EARLYPROT



Schema concettuale della messa in rete nazionale dei laboratori di qualifica nucleare in analogia con il grid ENEA. I laboratori indicati sono quelli UNICEN (sottocommissione 3 – impianti nucleari) per la ricezione delle norme internazionali nelle norme italiane per il nucleare

Il reattore nucleare di ricerca TAPIRO (TARatura Pila Rapida a potenza 0) è una sorgente di neutroni veloci per il supporto allo sviluppo di reattori di nuova generazione. Può essere utilizzato per: la validazione dei codici di calcolo di nocciolo impiegati nella progettazione dei reattori di IV Generazione; la sperimentazione per la produzione di dati nucleari; la valutazione del danno indotto da neutroni su componentistica esposta a campi neutronici; la qualificazione di catene di rivelazione innovative; la produzione di fasci di neutroni di differenti energie a supporto della sperimentazione della terapia oncologica con neutroni; supporto alla didattica dei corsi di Ingegneria Nucleare.

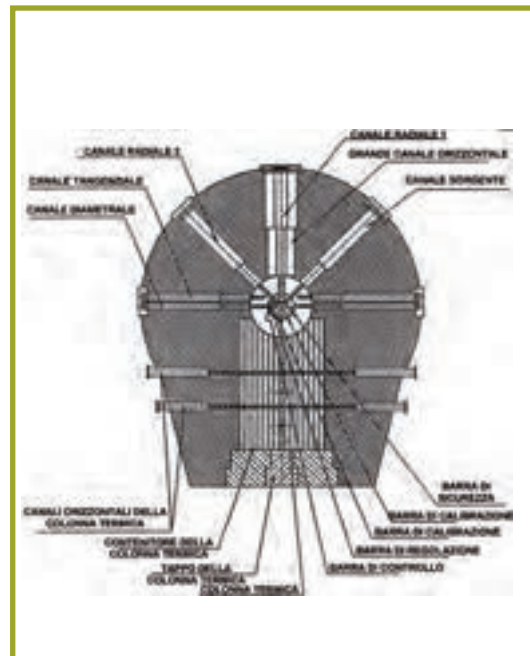
Potenziali utenti: Università ed enti di ricerca del settore nucleare e medico, produttori di reattori e componenti nucleari.

Interamente progettato e realizzato dall'ENEA, ha raggiunto la prima criticità nell'aprile del 1971 ed è stato utilizzato per:

- la qualificazione di materiali schermanti per reattori veloci in collaborazione con il CEA (F);
- lo studio degli effetti indotti da neutroni veloci su campioni biologici e su componentistica aerospaziale;
- la messa a punto di tecniche dosimetriche associate alla terapia mediante cattura di neutroni (NCT).

Queste le sue caratteristiche principali:

- Potenza massima: 5 kW
- Flusso neutronico max: $5,0 \cdot 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ @ 5 kW
- Raffreddamento mediante He
- Facilities di irraggiamento:
 - 3 canali radiali orizzontali
 - 1 canale tangenziale verticale
 - 1 colonna termica (Volume max: 1.6 m^3) dotata di 2 canali passanti.



Sezione orizzontale



Schermo biologico

Il reattore nucleare di ricerca TRIGA RC-1 (Training Radio Isotope General Atomic Reattore Casaccia 1) è una sorgente di neutroni termici che può essere utilizzata per: radiografia e tomografia con neutroni; irraggiamento neutronico di materiali; qualificazione di rivelatori di neutroni; supporto alla didattica dei corsi di Ingegneria Nucleare.

Potenziali utenti: Università ed enti di ricerca del settore nucleare e medico, produttori di reattori e componenti nucleari.

Realizzato nel 1960 nella versione a 100 kW nell'ambito dell'iniziativa USA Atom for Peace, portato nel 1963 alla potenza a 1 MW su progetto ENEA, è stato utilizzato:

- come strumento di formazione delle competenze italiane di fisica dei neutroni e di ingegneria nucleare
- per la produzione di neutroni per irraggiamenti a supporto della scienza dei materiali, della biologia e dello sviluppo di radio farmaci.

Queste le sue caratteristiche principali:

- Potenza massima: 1 MW
- Flusso neutronico max: $2,7 \cdot 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ @ 1 MW
- Raffreddamento ad acqua in circolazione naturale
- Facilities di irraggiamento
 - 1 canale centrale
 - 40 postazioni in rastrelliera girevole
 - 1 colonna termica
 - 1 fascio di neutroni collimati
 - 5 canali orizzontali di estrazione di neutroni.



Nocciolo con radiazione Cherenkov



Sala reattore e schermo biologico

Il laboratorio sviluppa know-how e tecnologie ICT per applicazioni di realtà virtuale finalizzata all'ispezione in ambienti ostili e per la messa a punto di sistemi di monitoraggio on-line mediante reti neurali e sistemi a risonanza.



Esempio di taglio e rimozione di un componente

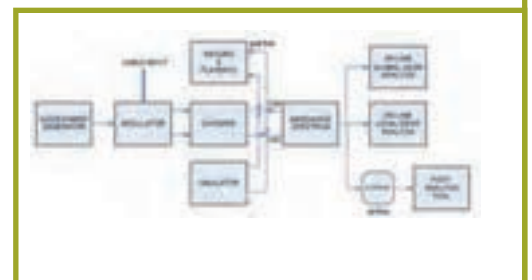
Potenziali utenti: costruttori ed esercenti di sistemi di controllo e impianti complessi come i sistemi nucleari e/o per i quali sia necessario validare i dati provenienti dai sensori.

Tutti i sistemi di controllo delle nuove centrali nucleari sono fortemente digitalizzati. Strumentazione e controllo, e relative piattaforme hardware/software, utilizzano sempre più sistemi di monitoraggio on-line e simulazione virtuale. ENEA ha da tempo maturato esperienza nel settore attraverso collaborazioni, nazionali e internazionali, riguardo ad esempio:

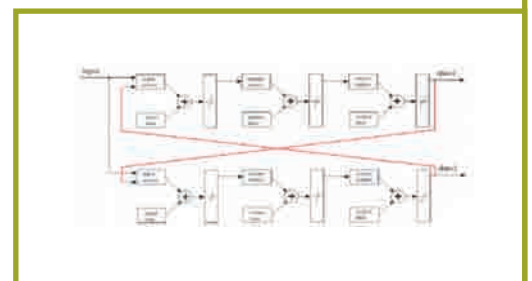


Visualizzazione della radiazione

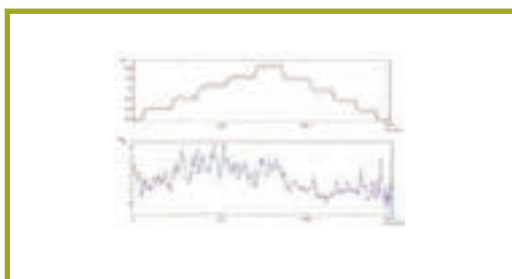
- Il sistema VIRTUALDECOM sviluppato per lo smantellamento delle SaG del laboratorio plutonio (IPU) del Centro Ricerche ENEA Casaccia, applicazione di realtà virtuale finalizzata a:
 - simulazione delle operazioni
 - visualizzazione della radiazione
 - calcolo della dose occupazionale.
- Il sistema LIRA (Line Resonance Analysis), sviluppato nell'ambito dell'attività comune con OECD-NEA Halden Reactor Project (HRP), che permette di tenere sotto controllo il sistema di cablaggio e di identificare i malfunzionamenti dei cavi elettrici.
- I sistemi a reti neurali, sviluppati in collaborazione con il Politecnico di Milano, per la costante validazione di dati provenienti da sensori, con un'applicazione che ha riguardato in particolare la determinazione della posizione delle barre di controllo mediante dati provenienti da termocoppie posizionate all'interno del nocciolo del reattore TRIGA. I risultati ottenuti dalle simulazioni individuano un basso errore percentuale fra dati calcolati e reali.



Schema a blocchi del sistema LIRA



Struttura della rete neurale



Risultati simulazione

Il generatore di neutroni da 14 MeV FNG (Frascati Neutron Generator) è utilizzato principalmente per validare i dati nucleari alle energie dei neutroni della prossima generazione di impianti per la fusione termonucleare controllata (progetto ITER). È usato anche per prove di qualificazione, calibrazione, resistenza al danneggiamento di rivelatori nucleari e componenti e per lo studio di nuovi rivelatori per neutroni.

Potenziali utenti: Istituti di Ricerca ed Università, nazionali ed esteri.

L'impianto FNG, in grado di fornire flussi di neutroni veloci accuratamente misurati fino a $5 \cdot 10^9 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, si basa sulla reazione di fusione $T(d,n)\alpha$; produce fino a $1 \cdot 10^{11} \text{ n/s}$ in modo continuo o impulsato. Produce anche neutroni da 2,5 MeV utilizzando bersagli deuterati mediante la reazione di fusione $D(d,n)^3\text{He}$.

FNG è stato progettato e costruito all'ENEA di Frascati per effettuare esperimenti di neutronica nell'ambito delle ricerche europee sulla fusione termonucleare controllata. Il progetto neutronico del mantello e dello schermo dei reattori a fusione di prossima generazione necessita di una verifica sperimentale la più accurata possibile delle sezioni d'urto nucleari utilizzate per i calcoli e una validazione dei metodi di calcolo utilizzati per il trasporto dei neutroni. Per fare questo è necessaria un'apposita attività sperimentale denominata "esperimenti benchmark".



Un blocco di Carburo di Silicio in posizione per l'irraggiamento



Preparazione di un irraggiamento di alcuni campioni da attivare con i neutroni prodotti da FNG

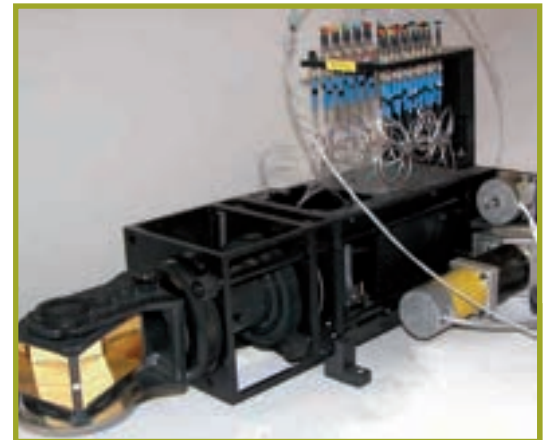
Il sistema, basato su un laser radar modulato in ampiezza, è in grado di fornire simultaneamente immagini in intensità e range con elevata accuratezza. Sviluppato dai laboratori ENEA di Frascati per i reattori a fusione nucleare, può trovare applicazione anche per la visione e diagnostica dei componenti attivati dei reattori a fissione, in celle calde e in generale in tutti gli ambienti con elevati flussi e dosi di radiazioni ionizzanti.

Potenziali utenti: industria nucleare (Sogin, Enel, Ansaldo ecc.)

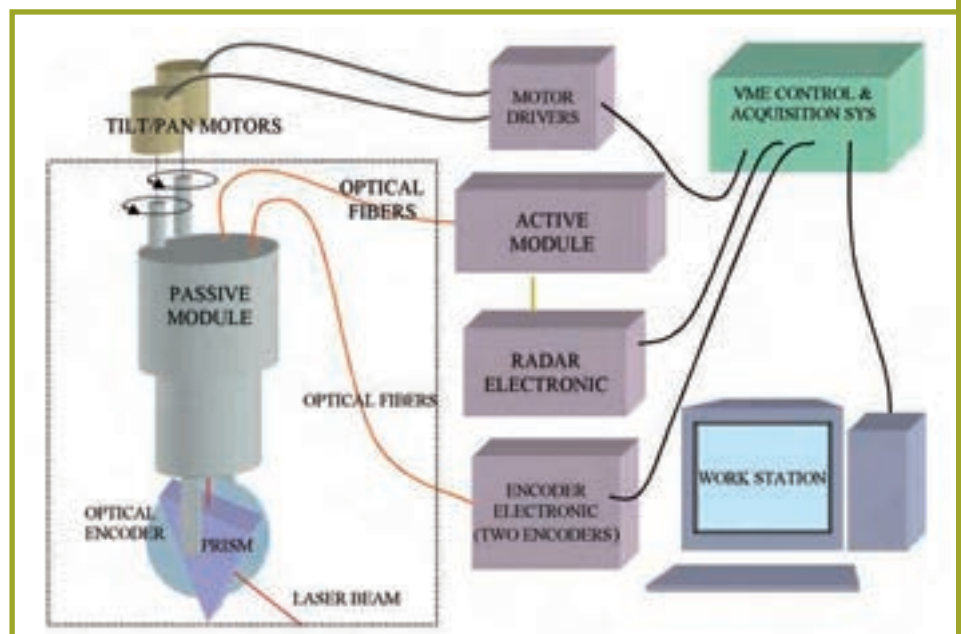
I reattori a fusione nucleare necessitano di ispezioni periodiche per controllare il degrado dei componenti del vessel durante il funzionamento. Per superare questo problema un prototipo di Laser In Vessel Viewing and Ranging System (IVVS) è stato sviluppato presso i laboratori del Centro di Ricerche ENEA di Frascati, nell'ambito del progetto internazionale ITER. Il sistema potrà essere utilizzato anche per le ispezioni negli impianti nucleari a fissione di nuova generazione in cui, essendo prodotti elevati flussi neutronici e radioattività gamma, non potranno essere utilizzati all'interno del vessel sistemi TV, ccd camera e altri apparati elettronici.

Il sistema è basato su un laser radar modulato in ampiezza (500 MHz), in grado di fornire simultaneamente immagini in intensità e range con elevata accuratezza (1 mm a 10 m di distanza e tempi di integrazione di 1 ms per pixel) e sarà usato in ITER nelle seguenti condizioni operative:

- pressione in UHV 10^{-3} Pascal
- temperatura 120-240 °C
- flusso gamma 5 kGy/h
- dose gamma di radiazione totale 10 MGy
- flusso neutronico $5 \cdot 10^{13}$ neutroni/cm²
- campo magnetico fino a 8 T.



Modulo passivo



Architettura del sistema

Il laboratorio opera nello sviluppo di tecniche spettroscopiche laser, applicabili sul campo, per la misura della composizione di materiali. Si propone, in particolare, per lo sviluppo di sistemi diagnostici laser per la caratterizzazione, locale e remota, di componenti di impianto in fase di esercizio (anche sotto vuoto e in presenza di fluidi) operanti in ambiente ostile (alte/basse temperature, presenza di radiazioni ionizzanti).

Potenziali utenti: Gestori di impianti per produzione di energia elettrica (combustori tradizionali e nucleari da fusione o fissione).

Il laboratorio detiene specifiche competenze nello studio di plasmi indotti da laser e nello sviluppo di tecnologie laser innovative destinate a diversi campi di applicazione.

La tecnica LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) è proposta da tempo come metodica analitica adatta al riconoscimento di elementi sia in processi industriali che in applicazioni di controllo e salvaguardia dell'ambiente, o di interesse per i beni culturali. I vantaggi della LIBS rispetto a tecniche analitiche più convenzionali per la determinazione elementare di singoli costituenti superficiali sono evidenti in quanto la LIBS non richiede in principio alcun tipo di pretrattamento del campione e fornisce risposte in tempi immediati. La tecnica è stata messa a punto per effettuare in situ analisi qualitative, quantitative e profilometria, risultando particolarmente utile per applicazioni sul campo.

Presso il laboratorio è stata sviluppata una specifica attività per l'ottimizzazione della tecnica su materiali rilevanti per la Fusione Nucleare. Attività di studio e di sviluppo della tecnica LIBS sono state condotte per la determinazione qualitativa, semiquantitativa e quantitativa di contaminanti sulla superficie dei componenti interni alla camera da vuoto di un tokamak.



Sistema LIBS ad alta risoluzione, trasportabile, presente presso il Centro Ricerche ENEA di Frascati; sul fondo la camera di prova per esaminare remotamente i campioni sottovuoto (a distanza di 2 metri)

Il laboratorio opera nello sviluppo, progettazione e realizzazione di sistemi distribuiti in fibra ottica per il monitoraggio strutturale e termico di apparecchiature, impianti, strutture e componenti. In particolare il laboratorio si propone per lo sviluppo di sistemi custom di monitoraggio permanente di strutture e componenti di impianto la cui criticità richieda misure di temperatura, l'applicazione di tecniche SHM in fase di esercizio, prove di caratterizzazione, test di qualificazione in ambienti ostili.

Potenziali utenti: costruttori e utilizzatori di componenti critici.

Il laboratorio detiene specifiche competenze nello sviluppo, progettazione e realizzazione di sistemi di sensori FBG (Fiber Bragg Grating) idonei a monitorare gradienti termici e distribuzioni di deformazione. La tecnologia adottata consente la realizzazione di sistemi distribuiti di minima invasività, caratterizzati da alta densità di punti senzienti, alta risoluzione, ampio campo di misura, risposta dinamica ed elevatissima stabilità a lungo termine. Inoltre, i sensori FBG sono immuni da disturbi e.m. e possono essere prodotti con spiccate caratteristiche di Radiation Hardness. Presso il laboratorio è stata condotta specifica attività di sviluppo e caratterizzazione RadHard di sensori FBG per applicazioni finalizzate ad impianti nucleari.

I sensori FBG sono al contempo sensori di deformazione e sensori di temperatura; tipicamente lunghi 5 mm, sono realizzati direttamente all'interno della fibra ottica senza modificarne né le dimensioni né le caratteristiche meccaniche e la loro piccola dimensione consente un monitoraggio di tipo 'puntuale'. La produzione di più sensori in una stessa fibra ottica consente la realizzazione di sistemi di monitoraggio distribuiti per la mappatura di campi/gradienti di temperatura o di deformazione.

Il laboratorio detiene inoltre specifiche competenze nell'embedding dei sensori FBG in materiali compositi, ceramici e metallici, per lo sviluppo di sistemi di monitoraggio permanente integrati (Smart Structure).



Esecuzione di prove di caratterizzazione RadHard di sensori FBG presso l'impianto Frascati Neutron Generator del Centro Ricerche ENEA di Frascati



Silicon Microstrip Vertex Detector dell'esperimento di fisica nucleare FINUDA. Il laboratorio ha curato la realizzazione di un sistema di sensori FBG integrato, finalizzato al monitoraggio in tempo reale delle deformazioni strutturali del supporto posizionato in presenza di alti flussi di radiazioni ionizzate e in alto campo magnetico

L'impianto consente di effettuare ricerche applicate su materiali metallici, materiali compositi, calcestruzzo e tessuti vegetali. In particolare, può essere impiegato per:

- la caratterizzazione e l'analisi difettologica di componenti e nuovi materiali;
- la certificazione di qualità di materiali metallici e materiali compositi;
- attività di formazione.

Potenziali utenti: industrie del settore della meccanica navale, industria aeronautica, ingegneria civile, industria nucleare, industrie del settore biologico.

L'impianto si distingue non solo per l'elevata potenza radiogena (spessori circa 160 mm di acciaio) ma anche per la sua elevata versatilità (range della potenza radiogena: 20 V - 0,5 mA; 450 kV - 2 mA).

Dispone di una attrezzatura innovativa: tubo x-ray "Yxlon" 450 kV - 5 mA; movimentazione automatica del tubo su tre direzioni x; y; z (up-down lungo l'asse y); sviluppatrice film radiografici "Agfa Structurix NDT S"; puntatore laser.

Tra le specifiche attività di ricerca svolte si citano:

- per l'industria navale: analisi radiografica di armature metalliche con spessori fino a 150 mm;
- per l'industria aerospaziale: analisi radiografica di condotti in alluminio fino a spessori di 0,5 mm e diametri di 5 mm;
- per l'ingegneria civile: analisi difettologica di pilastri in cemento armato con relativa armatura; sviluppo di PND per individuare mediante RX alterazioni interne nel tessuto legnoso.

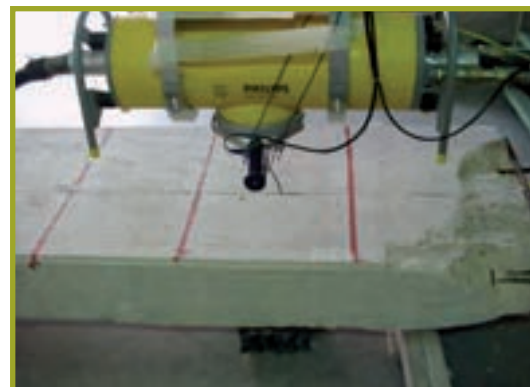
Collaborazioni rilevanti riguardano: Ignitor, Mitras, Punta Perotti, Sinave, Resis, Camper.



Bunker radiografico del Centro Ricerche Trisaia



Apparecchio radiografico 20÷450 kV, 15 mA



I laboratori metrologici del Centro Ricerche ENEA Trisaia offrono:

- **il servizio di taratura, con rilascio di certificazione SIT, di strumentazione elettrica in corrente continua e corrente alternata;**
- **attività di servizio, con riferibilità SIT, per la misura di lunghezza, per la misura della temperatura e caratterizzazione di elementi geometrici complessi;**
- **formazione.**

Potenziali utenti: Piccole e Medie Imprese operanti nei settori dell'elettronica civile, militare, della pubblica sicurezza, avionica, biomedicale, grandi infrastrutture di trasporto; Aziende Sanitarie Locali; Enti e istituzioni pubbliche; Enti e istituzioni di ricerca scientifica

I laboratori dispongono di avanzatissime strumentazioni per la taratura, con rilascio di certificazione SIT, di amperometri, resistori e voltometri in c.c. e c.a. e con riferibilità SIT di blocchetti piano paralleli, calibri, micrometri, termoresistenze, termocoppie, trasmettitori, visualizzatori digitali e caratterizzazione di elementi geometrici complessi.

È in corso la richiesta di estensione SIT per la temperatura, con la più bassa incertezza nazionale, pari a $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$. Per il raggiungimento di tale obiettivo si è sviluppata una metodologia e si è realizzato un dispositivo che raggiunge elevate stabilità termiche.

Il range di grandezze elettriche si estende da 10 mV a 1000 V . Il range di temperatura si estende spazia da $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1064\text{ }^{\circ}\text{C}$. Il range di lunghezza si estende da $0,01\text{ mm}$ a 1000 mm e incertezza $0,01\text{ }\mu\text{m}$.

I laboratori metrologici dispongono di un sistema di condizionamento che consente di mantenere costante la temperatura nell'intorno di $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, in particolare la stazione per la misura dei blocchetti è contenuta in una Glove Box coibentata e attrezzata con un sistema di monitoraggio della temperatura, oltre che con un sistema locale di condizionamento allo stato solido che consente di ottenere stabilità e uniformità della temperatura nell'ordine di $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto ai $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; inoltre la temperatura degli ambienti è continuamente monitorata da un sistema centralizzato.



Laboratorio metrologico per strumentazione elettrica



Laboratorio metrologico di strumentazione per la misura di lunghezza



Laboratorio metrologico di strumentazione per la misura di temperatura

Il Laboratorio effettua test di qualificazione su materiali e componenti per la verifica dello stato e dell'eventuale presenza di difetti che ne pregiudichino l'uso durante l'esercizio. Svolge anche il ruolo di trasferimento di R&S al tessuto imprenditoriale locale e nazionale, nei campi della: caratterizzazione e analisi difettologica di componenti e nuovi materiali; certificazione di qualità dei materiali metallici e dei materiali compositi; formazione.

Potenziali utenti: Industria manifatturiera in generale e industria dei materiali da costruzione o di produttori di componenti ad elevate prestazioni; Enti e istituzioni pubbliche; Enti e istituzioni di ricerca scientifica.

Il laboratorio fornisce consulenza e garanzia di qualità del componente, mediante: controlli radiografici; ispezioni termografiche; prove ultrasoniche ad alta frequenza; liquidi penetranti; prove ambientali. Il laboratorio è inoltre dotato di una pressa per prove di compressione.

Il controllo radiografico viene effettuato con strumentazione da 450 kV e 5 mA in grado di svolgere ricerca applicata su materiali metallici, compositi e calcestruzzo.

Le ispezioni termografiche su materiali e componenti verificano l'eventuale presenza di difetti superficiali e di anomalie di funzionamento realizzando transitori termici.

Altri controlli effettuati nel laboratorio: rilevamento di difetti di fabbricazione (giunti, cricche da ritiro, criccate da tempra e di lavorazione meccanica) e di servizio (cricche da fatica, tenso corrosione); controlli di saldature e di trattamenti termici dei metalli; controllo difettologico di saldature, fusioni, laminati, fucinati, stampati, materiali compositi, plastici, ceramici; caratterizzazione dei materiali; misura delle caratteristiche elastiche dei materiali; controllo di spessori.

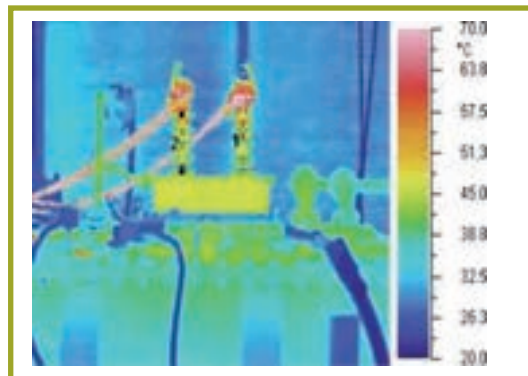
Le prove ambientali eseguite su materiali e componenti consentono di verificare gli effetti del tempo e delle condizioni ambientali a cui saranno soggetti durante la loro vita utile.

Il laboratorio ha operato nel settore della meccanica navale, industria aeronautica, ingegneria civile, industria nucleare e settore biologico effettuando:

- test di qualificazione di armature metalliche con spessori fino a 150 mm;
- test di qualificazione di condotti in alluminio con spessori fino a 0,5 mm e \varnothing 5;
- analisi difettologica di pilastri in cemento armato con relativa armatura;
- diagnosi impiantistica di tubazioni attraversate da fluidi ad alte temperature
- diagnosi di componenti ad alte prestazioni (trasformatori elettrici);
- diagnosi energetica per l'edilizia abitativa civile ed industriale.



Laboratorio radiografico



Ispezione termografica



Laboratorio prove ambientali

L'Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (INMRI) svolge in Italia la funzione di Istituto Metrologico Primario nel settore delle radiazioni ionizzanti in base al ruolo assegnato all'ENEA dalla Legge N. 273/1991. L'INMRI realizza i campioni nazionali primari per la misura delle radiazioni ionizzanti. L'esistenza di questi sistemi campione è il presupposto per garantire a livello nazionale l'affidabilità delle misure delle radiazioni ionizzanti in tutti i settori d'interesse e la loro riferibilità a livello internazionale.

I sistemi campione sviluppati presso l'INMRI comprendono circa 20 linee sperimentali per la misura assoluta delle grandezze associate alle radiazioni ionizzanti. A questi apparati di misura sono associati impianti d'irraggiamento (per radiazione alfa, beta e gamma), macchine a raggi x, sorgenti neutroniche, sorgenti di numerosi radionuclidi, un acceleratore di elettroni da 20 MeV ecc.

Potenziali utenti: Centri ospedalieri di Radioterapia e di Radiodiagnostica; agenzie ambientali di tutte le regioni italiane (ARPA); organismi centrali di vigilanza e controllo, in particolare l'ISPRA (ex APAT); organismi della protezione civile e della difesa; industrie che impiegano o producono radioisotopi o strumenti di misura delle radiazioni.

L'attività di ricerca e sviluppo svolta dall'INMRI ha dato luogo a un complesso di conoscenze che per il loro livello specialistico sono uniche nel Paese. Mediante queste conoscenze è oggi possibile qualificare gli strumenti di misura delle radiazioni ionizzanti impiegati per le diverse seguenti finalità:

- la dosimetria della radiazione x e gamma in campo radioprotezionistico, medico e industriale (radiosterilizzazione di materiali);
- la dosimetria della radiazione beta in campo medico e radioprotezionistico;
- la dosimetria di particelle cariche di alta energia prodotte in acceleratori di elettroni, protoni, ecc., di uso medico;
- la misura della contaminazione superficiale dovuta a radionuclidi;
- la misura dell'attività dei radionuclidi d'interesse ambientale e medico (inclusi gli emettitori di positroni e i radionuclidi a breve vita media per gli esami clinici PET, SPECT ecc.);
- la misura di radon in aria e in acqua;
- la misura di fluensa di neutroni termici e veloci.



Impianto d'irraggiamento per la dosimetria in atmosfere di riferimento di radon



Sistema campione per la dosimetria della radiazione X di media energia



Sistema campione per le misure di riferimento in fasci di neutroni veloci

Sistema campione per misure di riferimento dell'attività dei radionuclidi emettitori beta-gamma

L'Istituto di Radioprotezione ENEA (ENEA-IRP), oltre a garantire il rispetto della normativa di radioprotezione per le attività ENEA, svolge attività di ricerca e qualificazione. In costante rapporto e confronto con la realtà internazionale (i.e. ICRP, ICRU, IAEA, EURADOS, ISPRA, ISO, IEC), l'Istituto è in grado di fornire servizi tecnici specialistici di radioprotezione:

- servizi di dosimetria esterna personale ed ambientale per tutti i tipi di radiazione;
- servizi di monitoraggio per contaminazione interna per radionuclidi emettitori alfa, beta e gamma (misure in vivo, con Whole Body Counter, e misure in vitro su campioni biologici);
- servizi di misure di radioattività (fisiche, chimiche o radiochimiche) per tutti i radionuclidi di interesse nucleare o radionuclidi naturali, su campioni ambientali, alimentari o assimilati potenzialmente contaminati provenienti da impianti o infrastrutture;
- servizi di monitoraggio della concentrazione di gas radon, dei radionuclidi figli, indici di concentrazione thoron e consulenze per valutazioni di rischio da radionuclidi naturali o alfa emettitori;
- servizi di taratura per strumenti e rivelatori di radiazioni.

Potenziali utenti: Datori di lavoro/esercienti, anche di facilities nucleari, di pratiche con utilizzo di radiazioni ionizzanti; PPAA e Società operanti nel campo nucleare e/o utilizzo di radiazioni ionizzanti. Tra gli attuali fruitori: ISPRA, VVFF, Nucleco, SOGIN, ENEL, Sviluppo Italia.

L'Istituto possiede in vari Centri ENEA laboratori e strumentazione che permettono di affrontare praticamente tutte le problematiche connesse alla misura della radioattività per scopi radioprotezionistici con l'impiego delle più aggiornate tecniche e metodologie di analisi e misura.

La qualità dei servizi forniti da ENEA IRP è regolarmente testata con la partecipazione, con risultati positivi, a tutte le iniziative di interconfronto o di verifica organizzate da istituzioni nazionali e internazionali: IAEA-ALMERA, PROCORAD, EURADOS, HPA, ISPRA.

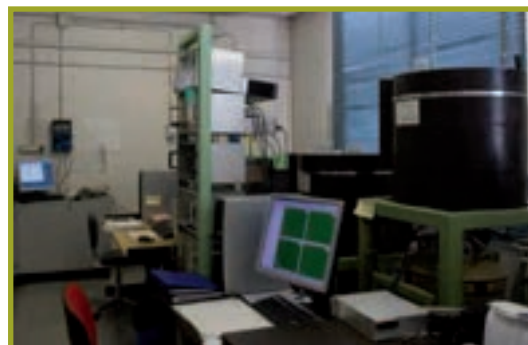
ENEA-IRP può fornire consulenze di sicurezza radiologica per infrastrutture con sorgenti di radiazioni ionizzanti e/o potenzialmente contaminate nonché consulenze e servizi tecnici avanzati di radioprotezione (es. dosimetria e monitoraggio radiazioni, valutazioni di sicurezza radiologica ecc.).



Centro taratura radiazioni ionizzanti (sala irraggiamento neutroni)



Whole Body Counter – Misure in vivo di contaminazione interna



Misure e spettrometria di campioni di matrici di diversa natura

Il Centro di taratura per le radiazioni ionizzanti dell'Istituto di Radioprotezione ENEA consente la taratura di strumentazione di rivelazione di radiazioni ionizzanti per scopi di radioprotezione e/o dosimetria (camere a ionizzazione, contatori proporzionali, contatori Geiger-Müller, scintillatori e rivelatori a semiconduttore, dosimetri personali).

Potenziali utenti: Datori di lavoro/esercienti, anche di facilities nucleari e/o siti di stoccaggio, per monitoraggio radiazioni ionizzanti; operatori nel campo dei controlli ambientali, radioprotezione, radiodiagnostica, radioterapia, pozzi petroliferi e in generale delle apparecchiature che producono radiazioni ionizzanti; Enti di ricerca, Servizi di Fisica Sanitaria.

Il Centro di Taratura dispone di laboratori delimitati in un'unica area e sviluppati su cinque sale di irraggiamento e tre sale di controllo per una superficie totale di circa 300 m². È in grado di operare con riferibilità metrologica a campioni primari per radiazioni ionizzanti quali: fotoni, beta e neutroni, rispettivamente per le seguenti grandezze:

fotoni (radiazioni X filtrate e sorgenti gamma ⁵⁵Fe, ¹⁰⁹Cd, ²⁴¹Am, ⁵⁷Co, ¹³³Ba, ¹³⁷Cs e ⁶⁰Co):

- KERMA in aria
- Esposizione
- Equivalente di dose ambientale
- Equivalente di dose direzionale
- Equivalente di dose personale
- Rateo (di tutte le grandezze sopra indicate).

radiazioni β (⁹⁰Sr/⁹⁰Y, ¹⁴⁷Pm e ²⁰⁴Tl):

- Dose superficiale in aria
- Dose superficiale in tessuto
- Equivalente di dose personale
- Rateo (di tutte le grandezze sopra indicate).

neutroni (termici e veloci 0,5÷4,4 MeV, con sorgenti standard ISO (Cf, Cf(D₂O) e Am-Be):

- Equivalente di dose ambientale
- Equivalente di dose personale
- Fluenza
- Rateo (di tutte le grandezze sopra indicate).



Sala per irraggiamento dosimetri



Vista d'insieme della sala neutronica



Irraggiamento angolare di dosimetri personali con beta

Il Servizio di dosimetria esterna dell'Istituto di Radioprotezione ENEA consiste nel noleggio e lettura di dosimetri personali ed ambientali progettati, realizzati e qualificati in ENEA per il monitoraggio della radiazione esterna e per tutti i tipi di radiazione.

Potenziali utenti: Datori di lavoro/ esercenti di pratiche con rischi da radiazioni ionizzanti per esposizione esterna, incluse facilities nucleari.

Il Servizio dispone di 7 tipi di dosimetri idonei alla misura di $H_p(d)$ Equivalente di Dose Personale ed $H^*(d)$ Equivalente di Dose Ambientale e di tutta la strumentazione necessaria al loro processamento, in particolare:

- dosimetro per corpo intero per fotoni con 2 rivelatori di LiF(Mg, Cu, P);
- dosimetro per corpo intero per neutroni termici, con 2 rivelatori rispettivamente di LiF(Mg, Cu, P) e di ^7LiF (Mg, Cu, P);
- dosimetri per estremità per β di alta energia, X e γ , basati su rivelatori di LiF(Mg, Cu, P) (disponibili su supporto ad anello e bracciale sterilizzabili);
- dosimetri per estremità per β di media energia, X e γ , basati su rivelatori sottili di LiF(Mg, Cu, P) (disponibili su supporto ad anello e bracciale sterilizzabili);
- dosimetro per corpo intero per neutroni veloci di CR39®;
- dosimetro personale di criticità con rivelatori ad attivazione e rivelatori a termoluminescenza;
- dosimetro ambientale di criticità (SNAC50) con rivelatori ad attivazione e rivelatori a termoluminescenza.

Il servizio fornisce un'utenza interna ENEA ed esterna di 200 clienti costituita per il 25% da aziende ospedaliere, il 25% da istituti di ricerca, il 25% da industrie, il 5% per decommissioning di impianti nucleari e il 20% da altre ditte, prevalentemente laboratori sanitari privati.

I buoni risultati ottenuti sin dagli anni 80 con la partecipazione ad interconfronti internazionali ha permesso di verificare la prestazione di ogni tipo di dosimetro in termini di accuratezza e precisione, confermando la qualità e affidabilità del servizio fornito.

Immagine dei diversi tipi di dosimetri e loro componenti:



Dosimetro per fotoni



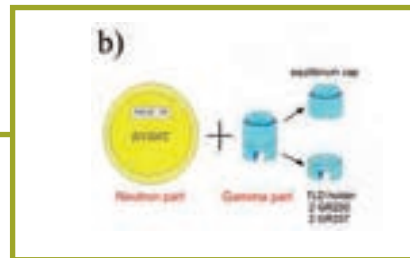
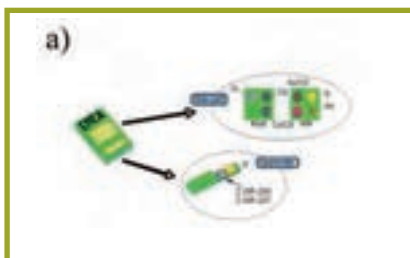
Dosimetro per neutroni termici



Dosimetro neutroni veloci



Dosimetri per estremità



Schema del dosimetro di criticità personale a) ed ambientale b)

Il Servizio di valutazione della concentrazione di radon dell'Istituto di Radioprotezione ENEA (ENEA-IRP) consente la valutazione del rischio per esposizione a radionuclidi naturali e del rischio di esposizione interna a radioisotopi alfa emettitori mediante campionamento ambientale passivo o attivo. Le tipologie di misurazioni possibili sono:

- **misura della concentrazione di radon (^{222}Rn);**
- **misura dell'indice di concentrazione del thoron (^{220}Rn);**
- **misura della concentrazione prodotti di decadimento sia del radon (^{222}Rn) che del thoron (^{220}Rn);**
- **permeabilità al radon delle membrane plastiche;**
- **valutazione in termini di equivalente di dose ambientale, $H^*(d)$, dell'esposizione esterna dovuta al materiale da costruzione, necessaria per il completamento della valutazione del rischio da esposizione a radionuclidi naturali (ex capo III-bis del DLgs 230/95);**
- **analisi spettrometrica gamma dei materiali da costruzione.**

Potenziali utenti: Datori di Lavoro/ esercenti - anche per facilities nucleari - di pratiche con rischi di inalazione di radioisotopi alfa emettitori.

Il Servizio è stato istituito nel 2002 per fornire ai datori di lavoro soggetti alla norma che disciplina l'esposizione a sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti (capo III-bis, D.Lgs. 230/95 e s.m.i.) una struttura riconosciuta idonea per le misure di cui all'articolo 10-ter, comma 4 (art. 107 comma 3 D.Lgs. 230/95 e s.m.i.).

Il servizio consiste nell'invio dei dispositivi di campionamento passivo all'utente, che provvede al loro posizionamento, nell'analisi dell'elemento sensibile eseguita in laboratorio, e nell'invio del rapporto di misura. L'utente spesso richiede l'intervento diretto nei luoghi di lavoro o di residenza, per l'analisi preventiva della potenziale concentrazione di radon ai fini dell'ottimizzazione del campionamento.

Il Servizio offre un intervento integrato indirizzato alla valutazione finale da parte dell'Esperto Qualificato (dell'utente o, se richiesto, del Servizio ENEA-IRP stesso) della dose individuale per i lavoratori utilizzando, se necessario, procedure di affinamento della valutazione di dose (fattore di equilibrio, distribuzione granulometrica dei figli del radon/thoron, modellazione locali ecc.). Il servizio può anche comprendere l'azione di prevenzione o di mitigazione, in tutte le sue fasi, dalla progettazione al controllo finale.

Il Servizio ha ottenuto importanti commesse, per esempio, con il Ministero delle Finanze e con l'ENI. Tra i principali risultati si ricordano il dispositivo di campionamento radon ENEA-IRP (brevetto MI2006A000703), il dispositivo per il thoron, la camera di esposizione al thoron e i risultati positivi nell'ambito di confronti internazionali (HPA-UK).



Dispositivo per il campionamento passivo del radon (brevetto ENEA, MI2006A000703)



Sistema automatico di alimentazione e lettura al microscopio ottico dei rivelatori di CR-39

Il Servizio, fornito dall'Istituto di Radioprotezione ENEA (ENEA-IRP), è finalizzato al monitoraggio individuale della contaminazione interna da radionuclidi e si avvale dell'applicazione delle principali e più aggiornate metodiche di analisi e misura per la determinazione della radioattività nel corpo umano (misura in vivo) e in campioni biologici (misure in vitro). Costituisce, per completezza e qualità delle prestazioni fornite, l'unico Servizio nel Paese in grado di affrontare ogni tipo di esigenza nel campo del monitoraggio individuale per dosimetria interna.

Potenziali utenti: tutte le attività cui si associa un rischio da contaminazione radioattiva. Tra gli attuali fruitori: ENEA, PPAA, VVFF e Società fra cui Nucleco, SOGIN, ENEL, ISPRA.

Queste le metodiche di analisi e misura utilizzate:

- whole body e organ counting a bassa ed alta energia
- spettrometria X-gamma (bioassay)
- spettrometria alfa (bioassay)
- scintillazione liquida (bioassay)
- conteggio alfa e beta totale (bioassay)
- spettrometria di massa tipo ICP (bioassay).

L'insieme degli apparati strumentali e delle metodologie di misura a disposizione sia per la misura in vivo che in vitro, nonché delle tecniche di trattamento chimico e radiochimico dei campioni di bioassay (urine, feci, muco nasale) messe a punto e qualificate dai laboratori ENEA-IRP, consentono di effettuare misure di monitoraggio con prestazioni conformi ai più elevati standard radioprotezionistici per tutti i radionuclidi di interesse dosimetrico (fra i più significativi: ^3H , ^{60}Co , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{226}Ra , isotopi dell'Uranio, isotopi del Plutonio, ^{241}Am).

L'elevata qualità delle prestazioni fornite è garantita dalla continua attività di ricerca, implementazione e aggiornamento delle procedure applicate e dalla costante partecipazione, con risultati positivi, alle più significative iniziative di confronto a livello nazionale ed internazionale.



Il Servizio, fornito dall'Istituto di Radioprotezione ENEA (ENEA-IRP), consente la misure di radioattività su campioni ambientali, alimentari e assimilati di diversa natura. Costituisce, per completezza e qualità delle prestazioni fornite, il Servizio più attrezzato nel Paese per affrontare richieste di misura della radioattività su campioni di qualsiasi natura e origine per gran parte dei radionuclidi artificiali e naturali di interesse radioprotezionistico.

Potenziali utenti: tutte le attività in cui si richieda la determinazione di radionuclidi in matrici ambientali, alimentari, d'impianto o di altra natura. Tra gli attuali fruitori: ENEA, PPAA e Società fra cui Nucleco, SOGIN, Sviluppo Italia, SORIN.

Il Servizio è costituito da tre laboratori distinti ed originariamente finalizzati al solo monitoraggio ambientale del Centro ENEA di riferimento (Casaccia, Saluggia, Trisaia). La loro integrazione ha permesso di estenderne le potenzialità e le competenze nel campo dell'analisi radiometrica sia in termini di tipologia di matrice che di radionuclidi, inclusi quelli di origine naturale, avvalendosi dell'applicazione delle principali e più aggiornate metodiche:

- spettrometria X-gamma
- spettrometria alfa
- scintillazione liquida
- conteggio alfa e beta totale
- spettrometria di massa tipo ICP.

L'insieme degli apparati strumentali e delle metodologie di misura a disposizione, nonché delle tecniche di trattamento fisico-chimico e radiochimico dei campioni messe a punto e qualificate dai laboratori ENEA-IRP su un sempre più ampio spettro di matrici, consentono oggi di effettuare analisi su campioni pressoché di qualsiasi natura e origine per gran parte dei radionuclidi artificiali e naturali di interesse radioprotezionistico.

L'elevata qualità delle prestazioni fornite, in accordo con gli standard nazionali ed internazionali, è garantita dalla continua attività di ricerca, implementazione ed aggiornamento delle procedure applicate, dall'interscambio di competenze, conoscenze ed esperienze, nonché dalla costante partecipazione, con risultati positivi, alle più significative iniziative di interconfronto a livello nazionale ed internazionale.



IRP Casaccia - Laboratorio sorveglianza
ambientale: sala misure di spettrometria gamma



La Griglia Computazionale ENEA-GRID e l'infrastruttura di calcolo ad alte prestazioni CRESCO sono in grado di mettere a disposizione del mondo della ricerca e dell'industria nazionale un insieme di prodotti software, servizi e competenze per il supporto alla progettazione avanzata di sistemi complessi per mezzo della modellazione, simulazione e certificazione strutturale e di sicurezza. I settori di interesse vanno dalla tecnologia e fisica del nucleare da fissione (i componenti strutturali di un impianto nucleare richiedono simulazioni numeriche nei più diversi campi ai fini della certificazione, della sicurezza e dell'esercizio), fonti energetiche, nuovi materiali, clima, biotecnologie e infrastrutture critiche.

Potenziali utenti: Industria del settore energetico; Istituti ed Enti di ricerca che accompagnano le attività industriali di innovazione tecnologica, conducono studi sul clima o su nuovi materiali e sulla biotecnologie; Istituti di certificazione e verifica; Istituti di formazione.

La griglia computazionale, con oltre 3600 core forniti in maggioranza dal supercalcolatore CRESCO (potenza di calcolo dell'ordine di 20 TeraFlops), si colloca fra le maggiori infrastrutture di supercalcolo nazionali.

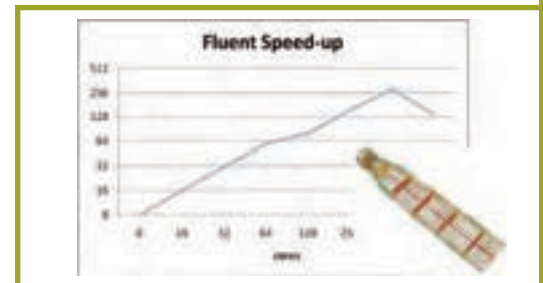
La tecnologia ENEA-GRID consente a qualunque utente finale di accedere (via web) a tutte le risorse hardware e software della griglia: codici di calcolo, strumenti per la visualizzazione 3D, infrastrutture per il lavoro collaborativo, formazione a distanza ed ambienti multimediali.

CRESCO è in grado di effettuare computazioni parallele con "speed-up" che vanno ordinariamente da 200 a 500 con punte fino a 2000. Questo equivale a dire che un'attività computazionale, effettuata con un solo calcolatore in un anno, può essere effettuata in circa una settimana utilizzando il supercalcolatore CRESCO.

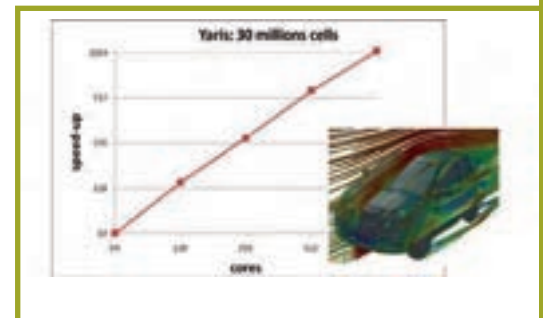
I grafici riportati in questa scheda si riferiscono a calcoli computazionali eseguiti sul sistema di calcolo ad alte prestazioni CRESCO.



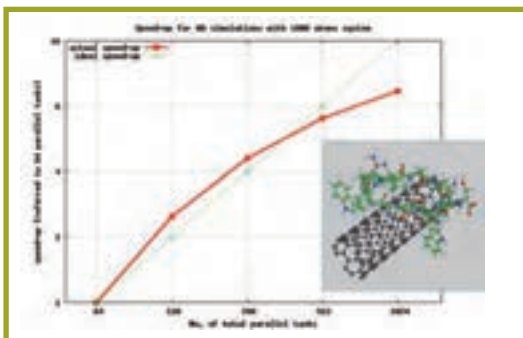
Sala Calcolo CRESCO



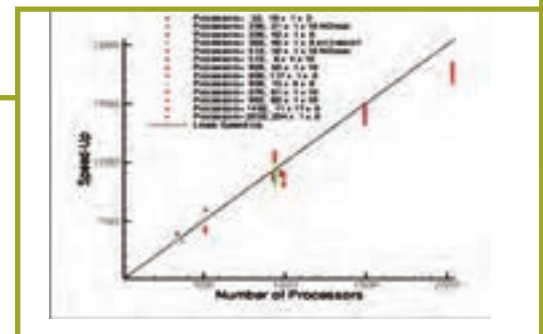
Fattore di Speed-up per il codice Fluent. Caso: flusso in una zona di transizione di un condotto (Mesh di circa 10^7 celle)



Fattore di Speed-up per il codice OpenFoam. Geometria: autovettura Toyota Yaris (Mesh di circa $3 \cdot 10^7$ celle tetraedriche)



Speed-up su CRESCO del codice CPMD per lo studio di un sistema di 1000 atomi. Schema: adesione di un sistema di atomi di Peptide su nano tubi di carbonio (Massimo Celino, Salvatore Raia)



Fattore di Speed-up codice di combustione HeaRT sviluppato in ENEA (F.R. Picchia, E. Giacomazzi, N. Arcidiacono, et altri)

L'Area svolge attività di ricerca e fornisce servizi avanzati nel settore delle tecnologie CAE (Computer Aided Engineering) e dei materiali ceramici; suo punto di forza è l'integrazione del know-how relativo all'analisi del comportamento dei materiali con le più avanzate tecnologie CAE per lo sviluppo di modelli numerici in grado di simulare il comportamento di materiali, componenti e strutture.

Potenziali utenti: aziende (settori trasporti, oil & gas, nucleare) e centri di ricerca.

Le competenze dell'Area riguardano la modellazione numerica di fenomeni fisici complessi (thermo-fluidodinamica, crash, analisi strutturali), la messa a punto di modelli numerici per la simulazione del comportamento di materiali tradizionali e innovativi (polimeri, ceramici e compositi), il calcolo ad alte prestazioni (grid computing) e la visualizzazione immersiva (Centro di Realtà Virtuale - CVRC).

I codici di calcolo disponibili sono: PRO-Engineer/CATIA/AUTOCAD (CAD), HYPERWORKS (FEA suite), ANSYS/NASTRAN (general purpose FE code), LS-DYNA (general purpose dynamic FE code), GAMBIT/FLUENT/CFX (CFD codes), CARES (Ceramic Analysis and Reliability Evaluation of Structures), ESA-COMP (Composites design software), EDEM (Discrete element modelling)

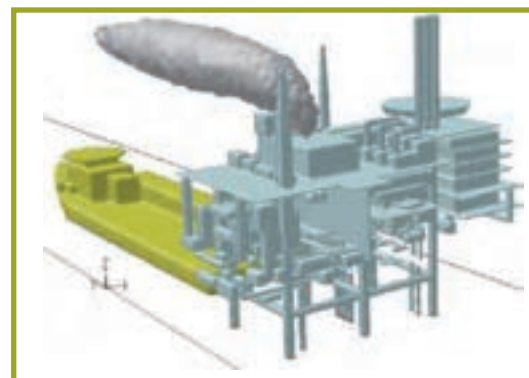
Per il calcolo ad alte prestazioni sono disponibili workstation interne CETMA, GRID di calcolo ENEA, interfacciamento con CVRC.

Tra i progetti e le collaborazioni rilevanti si segnalano:

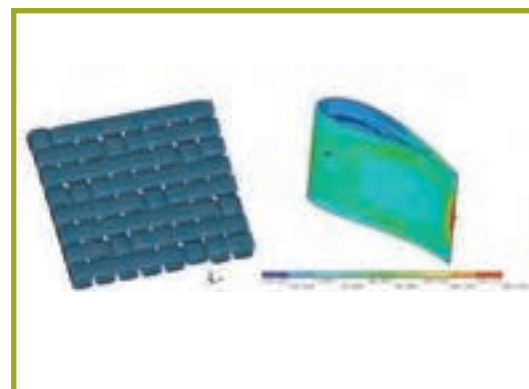
- PROCETMA: Modellazione e simulazione di fenomeni complessi nel settore dei trasporti
- TEXTRA-Laboratorio pubblico-privato: Sviluppo di materiali ceramici compositi per applicazioni aeronautiche
- Progetti PUMA e SEMPRE: Sviluppo di metodologie di progettazione e nuove soluzioni tecnologiche per il miglioramento del recupero energetico in impiantistica complessa
- Contratto di Ricerca AVIO-CETMA: Sviluppo di materiali ceramici avanzati per la realizzazione di parti statoriche di turbine aeronautiche
- Contratto di Ricerca DENTALIA-CETMA ed ENEA: Sviluppo di processi di produzione di componenti in ossido di zirconio.



Integrazione Modellazione numerica - GRID Computing ENEA – Centro di realtà virtuale



Simulazioni termo-fluidodinamiche: settore oil & gas, impianti di produzione del vetro, scambiatori di calore, idrodinamica

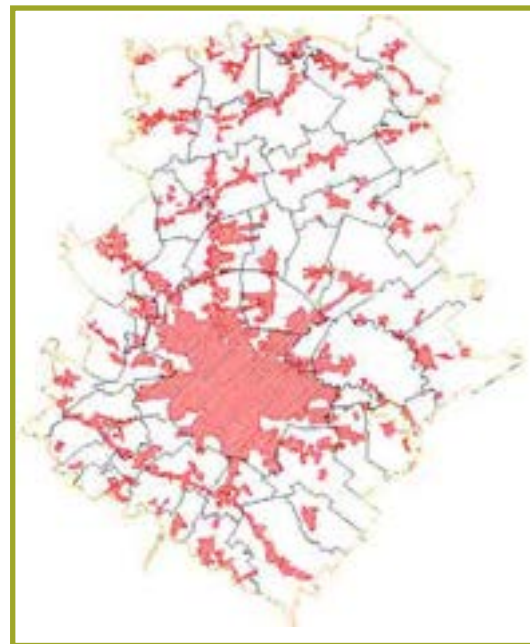


Modellazione numerica del comportamento di materiali compositi e ceramici avanzati

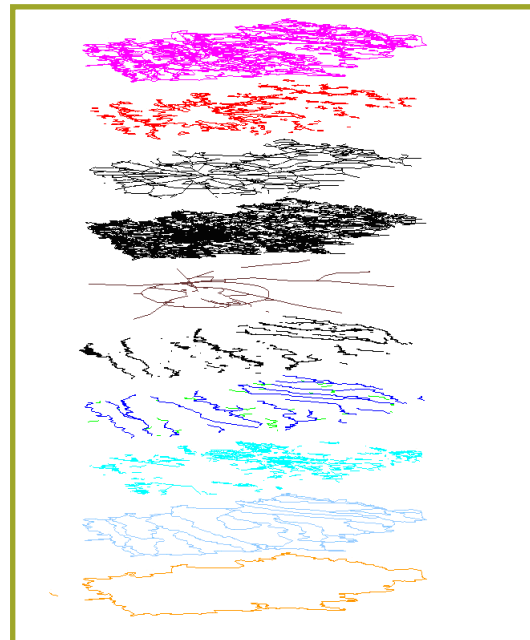
Il sistema permette l'acquisizione, la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni derivanti da dati geografici. L'applicazione G.I.S. (Geographical Information System) permette di associare informazioni di tipo simbolico proprie della cartografia (immagini satellitari, ortofoto, layers vettoriali) ad informazioni di tipo alfanumerico proprie di un database, grazie al legame tra ogni entità geografica di una carta e un record del database. I notevoli passi avanti fatti nei settori della cartografia e dell'Information Technology consentono di avere queste due tipologie di informazioni all'interno di uno stesso "contenitore", permettendo l'analisi dei dati e la visualizzazione dei risultati in modo facile e veloce.

Potenziali utenti: Pubbliche amministrazioni, Enti locali, Società operanti in settori legati al territorio e alle informazioni geografiche (turismo, energia e ambiente ecc.).

CETMA ha utilizzato il sistema nell'ambito della Cooperazione Internazionale tra Romania e Italia, attività che hanno richiesto una collaborazione con il Ministero dell'ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare Italiano e con il Ministero dell'ambiente Romeno. In particolare il G.I.S. è stato utilizzato in due Progetti condotti nella Regione di Bucharest-Ilfov che riguardavano rispettivamente la gestione delle acque di superficie e la gestione dei rifiuti solidi urbani; sono stati realizzati numerosi layers in scala 1:25.000 tra i quali canali di irrigazione, fiumi minori e maggiori, laghi, strade, ferrovie, pozzi, località, land cover e land use. Inoltre, sono stati realizzati alcuni layers di dettaglio, in scala 1:5.000, delle discariche incontrollate esistenti e dei siti bonificati e, su di un'area pilota, è stato eseguito un rilievo topografico con catasto delle opere idrauliche ed un'elaborazione Digital Elevation Model (D.E.M.).



Confini territoriali e municipalità nella Bucharest-Ilfov Region



Sovrapposizione dei diversi layers: land cover e land use, strade, località, ferrovie, canali di irrigazione, fiumi maggiori e minori, laghi, bacini idrogeologici, confini territoriali

Il CETMA Virtual Reality Center (CVRC) è un laboratorio di tecnologie informatiche che fornisce servizi e prodotti al settore industriale (tramite il supporto alla progettazione), formativo (formazione aziendale o accademica) e divulgativo (edutainment). Tra le tipologie di offerta: applicazioni software di Virtual/Augmented Reality di tipo immersivo on demand, visualizzazione di risultati di codici di calcolo in modalità stereoscopica e scala reale (o prossima ad essa), visualizzazione immersiva e stereoscopica di scenari 3D. Le aziende che non dispongono di strumentazione e competenze adeguate possono richiedere tali servizi e prodotti direttamente al CETMA, oppure utilizzare il laboratorio come se fosse una loro risorsa.

Potenziali utenti: aziende nel settore del design (per automotive, arredamento, medicale ecc.) o dei processi produttivi complessi (aerospace, oil, critical plant), enti militari, altri centri di ricerche e università.

Il sistema di visualizzazione, basato sul sistema MoVE della BARCO, consiste in 3 schermi semi-movibili (per un totale di 9,6 metri di lunghezza e 2,4 metri di altezza) le cui pareti laterali possono ruotare da una configurazione CADWall ad una configurazione CAVE, offre la possibilità di fruire di differenti scenari e consente simulazioni sia di ambienti interni che di stile. È dotato di 6 proiettori con tecnologia BARCO e consente una fruizione mono e una fruizione stereo di tipo passivo. Il sistema di calcolo (Render Farm) è costituito da un cluster con tecnologia ORAD, utilizza 12 DVG-10 per un totale di 24 Render Nodes basati su tecnologia nVidia ed è controllato da una consolle connessa a grid computazionali. È possibile disporre di risorse di calcolo per processare modelli agli elementi finiti di notevole complessità che utilizzano codici quali LS-DYNA, ANSYS e FLUENT. Il CVRC è dotato di un audience di 34 posti a sedere.

Al CVRC è associata una hall tecnologica in cui sono presenti altri laboratori (Laboratorio di ingegneria dei materiali, Laboratorio di mecatronica), aule di formazione, e una piattaforma a 4 gradi di libertà per la simulazione di missioni di elicotteri.

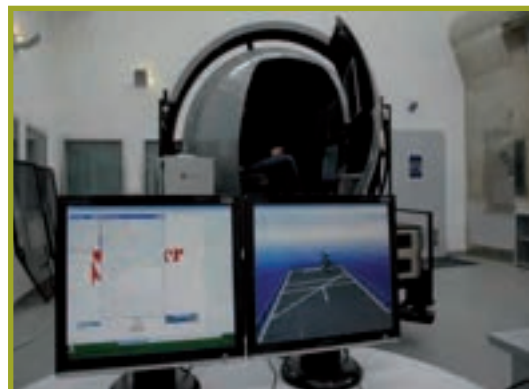
Tra i progetti più rilevanti in corso si cita il progetto PROGIMM (Progettazione Immersiva) che ha come partner, oltre al CETMA, anche FERRARI, THINK3 ed ELASIS.



CVRC in modalità CAVE: Progettazione Immersiva nel settore Automotive



Visualizzazione stereoscopica e in scala reale dei risultati di codici CRASH



Piattaforma di simulazione di missione di elicotteri

Presso l'impianto ERSE (ENEA - Ricerca sul Sistema Elettrico SpA) vengono effettuate verifiche funzionali sul sistema di isolamento di componenti elettrici (misure di scariche parziali) e prove a frequenza aumentata su trasformatori di potenza (isolamento in resina) e di misura.

Potenziali utenti: enti di ricerca, aziende elettriche di distribuzione, industria elettromeccanica.

L'impianto è costituito da una cella di prova di dimensioni 7 x 7 x 4 m circa, con pareti metalliche continue e alimentazione schermata e filtrata per disporre di un ambiente elettromagneticamente molto pulito alle frequenze di interesse per le misure di scariche parziali e di radiointerferenza (fino a frequenze di alcuni MHz).

L'impianto è dotato di un sistema di alimentazione a frequenza variabile fino a 150 Hz e tensione fino a 150 kV.

L'attività più recente ha riguardato prove su trasformatori a secco e scaricatori oltre ad attività di ricerca sulle scariche parziali negli isolamenti solidi.



Gabbia di Faraday



Interno dell'impianto

Il laboratorio ERSE (ENEA - Ricerca sul Sistema Elettrico SpA) è in grado di eseguire le prove dielettriche, siano esse di routine, di tipo o di ricerca, su materiali e componenti impiegati nella costruzione di apparecchiature elettriche di alta tensione attraverso l'applicazione di sollecitazioni di tipo sinusoidale, continuo, impulsivo o sovratensioni di manovra. Possono essere effettuate anche prove sotto pioggia artificiale e demineralizzata.

Potenziali utenti: enti di ricerca, aziende elettriche di distribuzione, industria elettromeccanica.

Il laboratorio alte tensioni è un edificio di dimensioni 45 x 40 x 42 m attrezzato con le seguenti macchine: un generatore di impulsi di tensione da 4800 kV di carica e 240 kJ di energia; un trasformatore elevatore da 1600 kV composto da due sezioni in cascata; un trasformatore elevatore da 800 kV; un generatore di tensione continua da 700 kV - 15 mA.

Vengono realizzate le seguenti tipologie di prova:

- prova di tenuta ad impulso atmosferico o alle sovratensioni di manovra
- determinazione delle tensione di scarica U50% con impulso atmosferico o sovratensione di manovra
- prova di tenuta a frequenza industriale o in continua
- prova di tenuta combinata impulso-tensione a frequenza industriale
- determinazione delle tensione di scarica a frequenza industriale o in continua
- misura delle scariche parziali
- misura delle perdite dielettriche (tgδ)
- misura del livello di radiointerferenza
- rilevazione del corona visivo.

L'attività più recente ha riguardato prove su sezionatori e trasformatori di corrente per sistemi fino a 800 kV, prove corona sul palo Foster per sistemi 420 kV oltre ad attività di ricerca sul monitoraggio degli isolamenti superficiali, sulla fulminazione e su un sistema di misura di riferimento da usare in campo.



Panoramica del salone AT con generatore di impulsi e trasformatori elevatori



Prova dielettrica su isolatori compositi con difetti

Nel laboratorio ERSE (ENEA - Ricerca sul Sistema Elettrico SpA) si effettuano prove su sistemi di isolamento (tipicamente isolatori e involucri) per verificarne la tenuta in condizioni di contaminazione superficiale, in atmosfere con caratteristiche diverse (nebbia salina, nebbia pulita) ottenute attraverso opportuni sistemi.

Potenziali utenti: enti di ricerca, aziende elettriche di distribuzione, industria elettromeccanica.

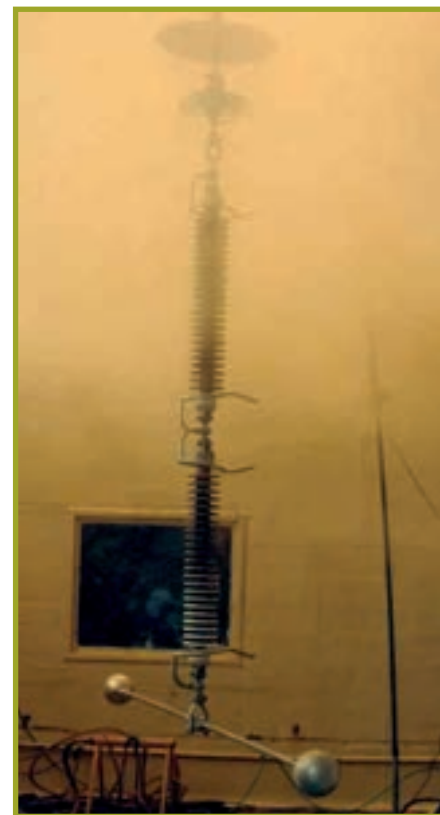
Il laboratorio è costituito da una cella di prova di dimensioni 6 x 7 x 7 m nella quale si possono effettuare prove in atmosfera contaminata con tensione fino a 150 kV sia in alternata che in continua.

I generatori sono in grado di garantire la stabilità della tensione di prova anche in presenza di intense attività di conduzione superficiale di corrente.

L'attività più recente condotta nel laboratorio ha riguardato prove su isolatori prelevati dall'esercizio nell'ambito della ricerca sul monitoraggio degli isolamenti superficiali, e una caratterizzazione della tenuta in ambiente salino di involucri sia in alternata che in continua.



Impianto inquinazione



Prova su un isolatore in nebbia salina

I laboratori della FN SpA, partecipata al 98% ENEA, sono in grado di effettuare la progettazione e lo sviluppo di componentistica convenzionale per impianti di tipo nucleare. FN SpA è in grado di realizzare compositi a matrice ceramica per impieghi speciali e di effettuare il casting del rame su tungsteno, in particolare per la realizzazione di componenti per i reattori a fusione. Può, inoltre, offrire servizi di caratterizzazione fisico-meccanica-strutturale di materiali base, di semilavorati e di componenti finiti da impiegare nel settore nucleare.

Potenziali utenti: industrie del settore energetico.

FN SpA:

- elabora progetti esecutivi, sulla base di progetti di massima, e procede alla messa in lavorazione presso laboratori e/o officina meccanica interni;
- sviluppa processi innovativi a partire da materiali base;
- effettua test di caratterizzazione meccanica e analisi chimico-fisiche e microstrutturali.

Tra i risultati di rilievo conseguiti si citano:

- la realizzazione di componenti in fluoruro di alluminio costituenti uno schermo per neutroni progettato da ENEA, da impiegare in un dispositivo di radioterapia per la cura di tumori;
- la qualifica da parte del CEA (Francia) per la realizzazione di pellets di carburo di boro da impiegare in reattori sperimentali e produzione di due lotti delle stesse a seguito della acquisizione di due gare d'appalto;
- la realizzazione di elementi riflettenti in acciai speciali e relativa qualifica per impiego nel reattore francese Superphenix di Creys Malville.



Pellet in carburo di boro per CEA



Impianto per CVI (Chemical Vapour Infiltration) per compositi a matrice ceramica

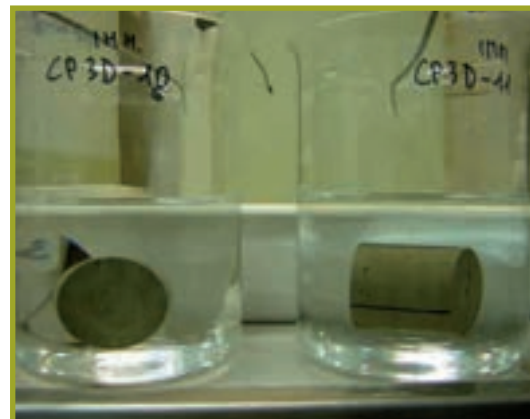
L'attività della NUCLECO è rivolta a: qualificazione dei processi di condizionamento dei rifiuti radioattivi liquidi e solidi prodotti dalle centrali nucleari di nuova generazione; trattamento e condizionamento in matrice cementizia di rifiuti radioattivi di seconda e terza categoria nell'ambito del decommissioning delle vecchie centrali e dei centri di ricerca.

Potenziali utenti: industrie interessate al condizionamento dei rifiuti radioattivi, autorità di sicurezza.

Le strategie di gestione dei rifiuti radioattivi appartenenti alla seconda o terza categoria (G.T. n. 26) prevedono che tali rifiuti siano sottoposti a specifici processi di trattamento e successivo condizionamento allo scopo di produrre un manufatto nel quale i radionuclidi risultino inglobati in una matrice solida per limitarne la mobilità potenziale. La qualificazione di un processo di condizionamento è l'insieme di attività volte a dimostrare che il manufatto risultante rispetti i requisiti minimi (caratteristiche meccaniche, chimiche e fisiche) per il deposito temporaneo, il trasporto e lo smaltimento (UNI 11193 - 2006).

Tra i progetti di maggior rilievo condotti dalla NUCLECO si citano:

- CEMEX: prequalificazione del processo di condizionamento mediante solidificazione di rifiuti liquidi (MTR e CANDU) di terza categoria (2004-2007)
- MAGNOX: qualificazione del processo di condizionamento mediante inglobamento di rifiuti solidi (metallici e prodotti di corrosione) di seconda categoria (2005-2006)
- PHADEC: qualificazione del processo di condizionamento mediante cementazione diretta di rifiuti solidi polverulenti (Fe_2O_3) di seconda categoria (2006-2009)
- PRODOTTO FINITO: qualificazione del processo di condizionamento mediante solidificazione di rifiuti liquidi (U e Th) di terza categoria (2006-2009)
- RESINE: prequalificazione del processo di condizionamento mediante solidificazione diretta di residui solidi ottenuti dall'ossidazione ad umido di resine esaurite di seconda e terza categoria (2009).



Prova di lisciviazione



Resistenza ad alta temperatura



Prova di irraggiamento



Prova di compressione



Provinci per le prove

Edito dall'ENEA – Unità Comunicazione
Revisione testi: Antonino Dattola, Diana Savelli
Grafica interni: Cristina Lanari
Copertina: Bruno Giovannetti
Stampato presso il Laboratorio Tecnografico ENEA - Frascati
Finito di stampare nel mese di marzo 2010