

# DOSSIER

## QUALIFICATION OF NUCLEAR SYSTEMS AND COMPONENTS

ENEA expertise and facilities

---

## QUALIFICAZIONE DI SISTEMI E COMPONENTI IN AMBITO NUCLEARE

Competenze e strutture ENEA





# DOSSIER

## QUALIFICATION OF NUCLEAR SYSTEMS AND COMPONENTS

ENEA expertise and facilities

## QUALIFICAZIONE DI SISTEMI E COMPONENTI IN AMBITO NUCLEARE

Competenze e strutture ENEA



**Progetto grafico:** Paola Carabotta  
**Stampa:** Laboratorio Tecnografico ENEA - Frascati

**ENEA Servizio Promozione e Comunicazione**

Finito di stampare a dicembre 2024

## INDEX /INDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUZIONE - INTRODUCTION</b>  | <b>9</b>  |
| <b>I - NUCLEAR QUALIFICATIONS - QUALIFICHE NUCLEARI</b>   | <b>14</b> |
| CIRCE experimental facility   | 16        |
| Impianto sperimentale CIRCE   | 17        |
| CALLIOPE gamma irradiation facility   | 18        |
| Facility di irraggiamento gamma CALLIOPE  | 19        |
| SIET - GEST Facility for Nuclear Power Plant Component and System Qualification                                   | 20        |
| SIET - Impianto GEST per la qualifica a piena scala di componenti e sistemi di impianti nucleari                  | 21        |
| Pb Technology - HELENA  | 22        |
| Tecnologie del Pb - HELENA  | 23        |
| SIET - IETI Facility for Thermal Hydraulic Tests on Plant Components and Special Equipment                        | 24        |
| SIET - Impianto IETI per prove termoidrauliche su componenti di impianti e dispositivi speciali                   | 25        |
| HeFUS3 Facility - Helium Circuit Simulator for Nuclear Applications   | 26        |
| Impianto HeFUS3 - Simulatore circuiti a elio in ambito nucleare   | 27        |
| LIFUS5/Mod3 Facility: Liquid Metal - Water Interaction/Reaction Tests   | 28        |
| Impianto LIFUS5/Mod3: test di interazione/reazione metallo liquido - acqua  | 29        |
| Laboratory of Electromagnetic Compatibility   | 30        |
| Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica   | 31        |
| Seismic Qualification Laboratory  | 32        |
| Laboratorio per qualifica sismica   | 33        |
| Engineering of Nuclear Systems Laboratory   | 34        |
| Laboratorio Ingegneria dei Sistemi Nucleari   | 35        |
| PbLi Technology Laboratory - Facilities IELLLLO and HyPer-QuarCh II   | 38        |
| Laboratorio tecnologie del PbLi - impianti IELLLLO e HyPer-QuarCh II  | 39        |
| Tritium Technologies Laboratory - TRIEX-II and PERI-II facilities   | 40        |
| Laboratorio tecnologie del Trizio - impianti TRIEX-II e PERI-II   | 41        |
| SIET - Laboratory for thermo-hydraulic and mechanical qualification of nuclear power plant components and systems | 43        |
| SIET - Laboratorio per la qualifica termoidraulica e meccanica di componenti e sistemi di centrali nucleari       | 42        |
| SIET - SPES Facility for Safety Integral Tests on PWR Plants  | 44        |
| SIET - Impianto integrale SPES per esperienze di sicurezza su reattori PWR  | 45        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>II - SUPPORT TO NUCLEAR QUALIFICATIONS - ATTIVITA' A SUPPORTO DELLE QUALIFICHE NUCLEARI</b> | <b>46</b> |
| Nuclear Research Reactor RSV TAPIRO  | 48        |
| Reattore nucleare di ricerca RSV TAPIRO  | 49        |
| Nuclear Research Reactor: TRIGA RC-1   | 50        |
| Reattore nucleare di ricerca TRIGA RC-1  | 51        |
| Laboratorio di Radiochimica C-43 per la caratterizzazione radiologica di materiali radioattivi | 52        |
| C-43 Laboratory for the Radiological Characterization of Radioactive Materials                 | 53        |
| Impianto FNG, generatore di neutroni da 14 MeV   | 54        |
| FNG Facility, 14-MeV Neutron Generator   | 55        |
| VAPORE plant for thermomechanical and fluid-dynamic tests on components and systems            | 56        |
| Impianto VAPORE per prove termomeccaniche e fluidodinamiche su componenti e sistemi            | 57        |
| Pre- and Post-Gamma Irradiation Characterization Laboratory                                    | 58        |
| Laboratorio di caratterizzazione pre- e post-irraggiamento gamma                               | 59        |
| Thermomechanical Characterisation Laboratories   | 60        |
| Laboratori Caratterizzazione Termomeccanica  | 61        |
| Microstructural and Microanalytical Characterization Laboratory                                | 62        |
| Laboratorio di caratterizzazione microstrutturale e microanalitica                             | 63        |
| Calibration Centre for Ionizing Radiation  | 66        |
| Centro di taratura per le radiazioni ionizzanti  | 67        |
| ENEAGRID Computing Grid and CRESCO High-Performance Computing Infrastructure                   | 68        |
| Griglia computazionale ENEAGRID e infrastruttura di calcolo ad alte prestazioni CRESCO         | 69        |
| Remote Handling testing facility DRP   | 70        |
| Impianto di prova per Manutenzione Remotizzata DRP   | 71        |
| The NACIE facility   | 72        |
| Impianto NACIE   | 73        |
| Robotic laser welding system   | 74        |
| Impianto robotizzato per saldatura laser   | 75        |
| Experimental facility SOLEAD   | 76        |
| Impianto sperimentale SOLEAD   | 77        |
| In Vessel Viewing and ranging System (IVVS) for hostile environments                           | 78        |
| In Vessel Viewing and ranging System (IVVS) per la visione in ambienti ostili                  | 79        |
| Radiation Protection Institute   | 80        |
| Istituto di Radioprotezione  | 81        |
| National Institute of Ionizing Radiation Metrology   | 82        |
| Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti                                   | 83        |
| Automation and Control Laboratory  | 84        |
| Laboratorio Automazione Control  | 85        |

|  |     |
|--|-----|
| Laboratory of Electromagnetic Characterization of Materials  | 86  |
| Laboratorio di caratterizzazione elettromagnetica dei materiali  | 87  |
| Thermomechanical Characterization Laboratory   | 88  |
| Laboratorio di caratterizzazione termomeccanica  | 89  |
| CETRA Laboratory for the Characterization of Cement Matrices<br>in Radioactive Waste Conditioning Process      | 93  |
| Laboratorio CETRA di qualificazione delle matrici cementizie<br>per il condizionamento dei rifiuti radioattivi | 92  |
| Liquid Lead Chemistry Laboratory – RACHEL  | 94  |
| Laboratorio di Chimica del Piombo – RACHEL   | 95  |
| Laboratory of Physical-Chemistry of Materials  | 96  |
| Laboratorio di chimica-fisica dei materiali  | 97  |
| Non-Destructive Testing Laboratory   | 98  |
| Laboratori Controlli non Distruttivi   | 99  |
| Ultrasonic Non-Destructive Evaluation Laboratory   | 102 |
| Laboratorio di caratterizzazione non distruttiva ad ultrasuoni   | 103 |
| Additive manufacturing (EBM) and hot isostatic pressing (HIP) laboratory                                       | 104 |
| Laboratorio di manifattura additiva (EBM) e pressatura isostatica a caldo (HIP)                                | 105 |
| LIBS Laboratory for Material Characterization  | 108 |
| Laboratorio LIBS per la caratterizzazione di materiali   | 109 |
| Climatic qualification laboratory  | 110 |
| Laboratorio per qualifica climatica  | 111 |
| Laboratory for FBG Optical Fiber Sensing for Thermal and Structural Monitoring                                 | 112 |
| Laboratorio sensori in fibra ottica FBG per monitoraggi termici e strutturali                                  | 113 |
| Lithium Technologies Laboratory for Nuclear Applications: Lifus 6 and ANGEL facilities                         | 114 |
| Laboratorio tecnologie Litio per applicazioni nucleari   | 115 |
| Individual Monitoring Service  | 116 |
| Servizio di dosimetria esterna   | 117 |
| Service for Radioactivity Measurements on samples of various nature and origin                                 | 118 |
| Servizio per misure di radioattività su campioni di varia natura e origine                                     | 119 |
| Individual Monitoring Service for Internal Contamination   | 120 |
| Servizio per il monitoraggio individuale di contaminazione interna   | 121 |
| Radon Air Concentration Measurement Service  | 122 |
| Servizio di valutazione della concentrazione di radon in aria  | 123 |
| NUCLECO - Qualification of Radioactive Waste Conditioning Processes  | 124 |
| NUCLECO - Qualificazione dei processi di condizionamento di rifiuti radioattivi                                | 125 |
| Consorzio CALEF  | 126 |
| Consorzio CALEF  | 127 |





## INTRODUCTION



In response to the global economic and financial crisis, which has also had consequences in the social and environmental sectors, in recent years the concept of “green economy” has become increasingly widespread as an element of response to the difficulties that each country has had to face. Gradually, the discussion has moved from the purely theoretical to the political sphere, moving the interest of governments and the private sector to commit to the transition through an environmentally responsible path, more equitable and supportive towards all.

This transition involves the implementation of reforms and incentives for the protection of natural resources, the strengthening of environmental infrastructures, the introduction of new market mechanisms for the diffusion of eco-technologies as well as the creation of investments.

The green economy model proposes economic, legislative, technological and educational measures that aim to reduce the consumption of energy and natural resources, reduce greenhouse gas emissions, reduce pollution, reduce and eventually eliminate all types of waste and promote sustainable production and consumption models, without producing negative consequences on economic and social well-being.

The Council of EU Member States and the European Parliament have agreed to define nuclear energy as a strategic technology for decarbonisation. The European Union is considering nuclear energy in the EU taxonomy, the “green” classification system aimed at guiding investors towards projects in line with the European “Net Zero” goal for 2050.

Global economies are therefore moving towards a secular energy transition away from carbon-based energy sources, but renewable sources such as wind and solar are not sufficient to meet global energy demand. Nuclear energy, a high-density energy solution with similar or even lower carbon emissions than renewables, can play a critical supporting role in the transition.

Nuclear energy is among the lowest-emitting and generally lowest-environmental impact energy sources of all. Unlike renewables, it is able to provide energy continuously, with a very high-capacity factor of over 90%. This makes it ideal for complementing, together with renewables, the fixed part of the network load, which is called base load.

## INTRODUZIONE



In risposta alla crisi economica e finanziaria globale, che ha prodotto conseguenze anche nel settore sociale ed ambientale, negli ultimi anni si è sempre più diffuso il concetto di “economia verde” quale elemento di risposta alle difficoltà a cui ogni Paese ha dovuto far fronte. Progressivamente, il discorso si è spostato dall’ambito prettamente teorico a quello politico, muovendo l’interesse dei governi e del settore privato a impegnarsi verso la transizione attraverso un percorso ambientalmente responsabile, più equo e solidale verso tutti.

Questa transizione comporta l’attuazione di riforme e di incentivi per la tutela delle risorse naturali, il potenziamento delle infrastrutture per l’ambiente, l’introduzione di nuovi meccanismi di mercato per la diffusione delle eco-tecnologie nonché la creazione di investimenti.

Il modello di economia verde si propone misure economiche, legislative, tecnologiche e di educazione che si pongano come obiettivo la riduzione del consumo di energia e di risorse naturali, l’abbattimento delle emissioni di gas serra, la riduzione dell’inquinamento, la riduzione ed il tendenziale azzeramento di ogni tipo di rifiuto e la promozione di modelli di produzione e consumo sostenibili, senza per questo produrre conseguenze negative sul benessere economico e sociale.

Il Consiglio degli Stati membri dell’UE e il Parlamento Europeo hanno concordato di definire l’energia nucleare come una tecnologia strategica per la decarbonizzazione. L’Unione Europea sta considerando l’energia nucleare nella tassonomia UE, il sistema di classificazione “verde” finalizzato a guidare gli investitori verso progetti in linea con l’obiettivo europeo “Net Zero” al 2050.

Le economie globali si avviano, pertanto, verso una transizione energetica secolare che abbandona le fonti di energia derivanti dal carbonio, ma le fonti rinnovabili come l’eolico e il solare non sono sufficienti a soddisfare la domanda mondiale di energia. L’energia nucleare, una soluzione energetica ad alta densità con caratteristiche di emissioni di carbonio analoghe o addirittura inferiori alle rinnovabili, può svolgere un ruolo critico di supporto nella transizione.

L’energia nucleare è tra le fonti energetiche a emissioni più basse e generalmente ad impatto ambientale più basso di tutte. A differenza delle fonti rinnovabili è in grado di fornire energia in maniera continua, con un capacity factor molto alto, superiore al 90%. Questo la rende ideale per fare da complemento, assieme alle rinnovabili,



The new generation nuclear technologies have an important role to play in the energy transition towards a low greenhouse gas emissions economy.

In the long term, nuclear fusion may be a solution: when the critical issues in terms of plasma management and efficiency of production and extraction of the energy produced by the reaction that keeps stars alive are resolved, fusion reactors will be able to make a decisive contribution to the world's energy needs, given that they are based on hydrogen isotopes for their operation, not linked to geopolitical scenarios, and produce radioactive waste largely similar to that produced by non-energy activities.

In the short and medium term, however, a possibility to introduce a significant share of decarbonized and programmable energy into the energy mix, which then becomes an alternative to natural gas, is represented by the new advanced nuclear fission, and in this sector the scientific research system and the Italian industrial system are in a prominent position in all international projects in this area.

Most of the nuclear power plants currently operating are second generation, with decades of operation behind them and will have to be replaced over the next 20-30 years: currently, the first third generation nuclear power plants have been connected to the grid or are being built, water-cooled like most second generation reactors, which however increase safety standards thanks to the inclusion of passive safety devices (which do not require an electric actuator and therefore come into play even in the absence of electrical power) and are characterized by very high installed power. The huge investments required and the long construction times have however limited their installation to countries where the use of nuclear energy was already widespread and the industrial chain was highly developed. To facilitate the replacement of nuclear power plants and for new integrated technological applications, two chains are therefore being studied, although with different degrees of technological maturity: the Small Modular Reactor (SMR) and the Advanced Modular Reactor (AMR).

The former are derived from large third-generation reactors, maintaining their safety unchanged but drastically reducing their size and power, with a consequent reduction in costs and construction times: they are close to deployment, with various projects in the process of licensing and prototype development, potentially available on a large scale and therefore likely to play a fundamental role already in the next decade.

The latter, still in the development phase, are the reduced version of fourth-generation reactors: the main characteristics are intrinsic safety (they are cooled by liquid metal and are designed so that in the event of a power

per la parte fissa del carico di rete, che viene definita carico di base.

Le tecnologie nucleari di nuova generazione hanno un ruolo importante, quindi, da svolgere nella transizione energetica verso un'economia a basse emissioni di gas serra.

Nel lungo periodo, una soluzione potrà essere rappresentata dalla fusione nucleare: quando saranno risolte le criticità in termini di gestione del plasma ed efficienza di produzione ed estrazione dell'energia prodotta mediante la reazione che tiene in vita le stelle, i reattori a fusione potranno contribuire in modo decisivo al fabbisogno energetico mondiale, dato che si basano per il loro funzionamento sugli isotopi di idrogeno, non legati a scenari geopolitici, e producono rifiuti radioattivi per larga parte analoghi a quelli prodotti da attività non energetiche.

Nel breve e medio periodo, invece, una possibilità per introdurre nel mix energetico una quota significativa di energia decarbonizzata e programmabile, che diventi poi alternativa al gas naturale, è costituita dal nuovo nucleare avanzato da fissione, e in questo settore il sistema della ricerca scientifica e il tessuto industriale italiano si pongono in posizione di rilievo in tutti i progetti internazionali in questo ambito.

La maggior parte delle centrali nucleari oggi operative sono di seconda generazione, con decenni di operazione alle spalle e dovranno essere sostituite nell'arco dei prossimi 20-30 anni: attualmente sono state agganciate alla rete o sono in fase di realizzazione le prime centrali nucleari di terza generazione, raffreddate ad acqua come la maggior parte dei reattori di seconda generazione, che però incrementano gli standard di sicurezza grazie all'inserimento delle sicurezze passive (che non hanno la necessità di attuatori elettrici e quindi entrano in gioco anche in assenza di alimentazione elettrica) e sono caratterizzate da potenze installate molto elevate. Gli ingenti investimenti necessari e i lunghi tempi di costruzione ne hanno tuttavia limitato l'installazione ai Paesi in cui il ricorso all'energia nucleare era già diffuso e la filiera industriale molto sviluppata. Per facilitare la sostituzione delle centrali nucleari e per nuove applicazioni tecnologiche integrate sono perciò allo studio, anche se con diversi gradi di maturità tecnologica, due filiere: gli Small Modular Reactor (SMR) e gli Advanced Modular Reactor (AMR).

I primi derivano dai grandi reattori di terza generazione, mantenendone immutata la sicurezza ma riducendone drasticamente dimensioni e potenza, con conseguente riduzione dei costi e dei tempi di realizzazione: sono prossimi al dispiegamento, essendo vari progetti in corso di licensing e di sviluppo prototipale, potenzialmente disponibili su larga scala e quindi suscettibili di giocare un ruolo fondamentale già nella prossima decade.

I secondi, ancora in fase di sviluppo, sono la versione

failure the reactor switches off automatically, without human or electro-mechanical intervention) and with a more sustainable use of fuel, which is expected to be recycled in order to minimize the quantity of long-lived radioactive waste produced. It is expected that the first industrial prototypes will be built in the next ten years to arrive, if this technology is confirmed in terms of feasibility and costs, at the connection to the network of the first reactors at the end of the 1930s.

This is the context in which the motion approved by the Chamber fits in, which committed the Government to “encourage the development of new nuclear technologies for the production of energy for civil purposes”. A direct consequence of the motion was the establishment of the “National Platform for Sustainable Nuclear”, coordinated by the Ministry of the Environment and Energy Security with the support of ENEA and RSE, which has the objective “of defining within a certain timeframe a path aimed at the possible resumption of the use of nuclear energy in Italy and at the growth opportunities of the national industrial chain already operating in the sector”.

The “National Platform for Sustainable Nuclear” is configured as a structured network whose objective is to create a national point of synthesis and convergence on the various initiatives, experiences, critical issues, perspectives and expectations on the advanced nuclear sector that presents innovative characteristics and aspects such as sustainability and contribution to the decarbonization of energy and production systems. The platform will constitute the instrument of connection and coordination by MASE of the various national actors who in various capacities and at various levels deal with nuclear energy, safety and radiation protection, radioactive waste, in all respects. In particular, its work will be oriented to promote the development of technologies with low environmental impact, with high standards of safety and sustainability, without neglecting the economic and financial aspects and social acceptability. It will make nuclear activities, carried out in various capacities, primarily for energy uses but also to develop medical-therapeutic-diagnostic uses and qualification of materials, less fragmented, so that the resources currently available and used for related investments can be used more efficiently and effectively thanks to the synergies between the various national actors. The platform will interact with European and international entities that are synergic for the Italian nuclear strategy in order to promote and stimulate collaborations and joint initiatives.

ENEA is supporting, together with RSE, MASE in the coordination of the National Platform for Sustainable Nuclear Energy that is analysing the possible energy scenarios for decarbonization, also including the hypothesis of using new generation modular nuclear plants such as SMR and AMR, and, on a long-term perspective, fusion energy.

ridotta dei reattori di quarta generazione: le caratteristiche principali sono la sicurezza intrinseca (sono raffreddati a metallo liquido e sono progettati in modo che in caso di non alimentazione elettrica il reattore si spenga automaticamente, senza l'intervento umano o elettro-meccanico) e con un uso più sostenibile del combustibile, di cui è previsto il riciclo in modo da minimizzare la quantità di rifiuti radioattivi a lunga vita prodotti. Si prevede che i primi prototipi industriali saranno realizzati nei prossimi dieci anni per arrivare, ove tale tecnologia sia confermata in termini di fattibilità e costi, all'allacciamento alla rete dei primi reattori alla fine degli anni '30.

In questo contesto si inserisce la mozione approvata dalla Camera, che ha impegnato il Governo ad “incentivare lo sviluppo delle nuove tecnologie nucleari destinate alla produzione di energia per scopi civili”. Diretta conseguenza della mozione è stata l'istituzione della “Piattaforma Nazionale per un Nucleare Sostenibile”, coordinata dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica con il supporto di ENEA e RSE, che ha l'obiettivo “di definire in tempi certi un percorso finalizzato alla possibile ripresa dell'utilizzo dell'energia nucleare in Italia e alle opportunità di crescita della filiera industriale nazionale già operante nel settore”.

La “Piattaforma Nazionale per un Nucleare Sostenibile” si configura come un network strutturato il cui obiettivo è creare un punto di sintesi e convergenza nazionale sulle diverse iniziative, le esperienze, le criticità, le prospettive e le aspettative sul settore nucleare avanzato che presenta caratteri e aspetti innovativi come sostenibilità e contributo alla decarbonizzazione dei sistemi energetici e produttivi. La piattaforma costituirà lo strumento di raccordo e coordinamento da parte del MASE dei diversi attori nazionali che a vario titolo e livello si occupano di energia nucleare, sicurezza e radioprotezione, rifiuti radioattivi, sotto tutti i profili. In particolare, i suoi lavori saranno orientati a favorire lo sviluppo di tecnologie a basso impatto ambientale, con elevati standard di sicurezza e sostenibilità, senza trascurare gli aspetti economici e finanziari e di accettabilità sociale. Essa permetterà di rendere le attività in campo nucleare, svolte a vario titolo, per usi energetici in primis ma anche per sviluppare utilizzi medico terapeutico-diagnostici e di qualificazione dei materiali, meno frammentate, in modo che le risorse attualmente disponibili e utilizzate per i correlati investimenti possano essere impiegate in modo più efficiente ed efficace grazie alle sinergie tra i vari attori nazionali. La piattaforma interagirà con soggetti europei e internazionali sinergici per la strategia italiana sul nucleare al fine di favorire e stimolare collaborazioni e iniziative congiunte.

ENEA sta supportando, insieme a RSE, il MASE nel coordinamento della Piattaforma Nazionale per un Nucleare

ENEA contributes significantly to the development of multiple SMR/AMR reactor concepts, including NuScale (pressurized water SMR, licensed by the US DoE), NUWARD (French concept of modular SMR, European reference, led by EDF), Rolls Royce (SMR designed in the UK), ALFRED (with Ansaldo Nucleare and RATEN-ICN, EU prototype for an AMR based on GEN-IV Lead-cooled Fast Reactor, LFR), LFR-AS-30 (AMR developed by the start-up newcleo, based on ENEA technology). In the fusion field, ENEA also plays the role of National Programme Manager in the European fusion programme, coordinating the Italian team, made up of the main research institutions, industrial players, universities and university consortia involved in the sector, and acts as Industrial Liaison Officer for the European Fusion for Energy Agency which manages the economic resources allocated by the European Commission for the construction of ITER.

In the field of nuclear energy research, ENEA is therefore involved in both the fusion and fission sectors, where it plays an important role in the qualification of nuclear components and systems, in the metrology of ionizing radiation and in radiation protection.

The maintenance and constant updating and deepening of the skills and sensibilities inherited from its previous history as the National Committee for Nuclear Energy Research and Development (CNEN) allow ENEA to make available all its wealth of professionalism and knowledge, advanced and complex laboratories and experimental infrastructures located in the various Research Centers, for multidisciplinary study, measurement and testing activities, in support of the nuclear qualification process.

This document contains the technical sheets describing the laboratories and experimental infrastructures of ENEA and its subsidiaries, whose skills can make a valid contribution to nuclear qualification. They have been divided into two sections: the first (Nuclear qualifications) describes the facilities directly involved in carrying out nuclear qualification measurements and tests; the second section (Activities in support of nuclear qualifications) provides a broad overview of the many technical-scientific skills and laboratories capable of offering a considerable range of research, measurements and tests to support nuclear qualification activities, from the preliminary study stage to the prequalification phase up to support for functional checks during the actual qualification process.

The technology of nuclear electricity production, due to its complexity and strict safety constraints, has always been a powerful driving force for technological innovation that can certainly contribute to raising the level of competitiveness of the Italian industry also at an international level.

Taking this last aspect into account, the program for the resumption of nuclear electricity production in Italy

Sostenibile che sta analizzando i possibili scenari energetici per la decarbonizzazione, comprendendo anche l'ipotesi di utilizzo di impianti nucleari modulari di nuova generazione quali SMR e AMR, e, su una prospettiva di lungo periodo, l'energia da fusione.

L'ENEA contribuisce in modo significativo allo sviluppo di molteplici concetti di reattori SMR/AMR, tra i quali NuScale (SMR ad acqua pressurizzato, licenziato dal DoE americano), NUWARD (concetto francese di SMR modulare, riferimento europeo, guidato da EDF), Rolls Royce (SMR progettato nel Regno Unito), ALFRED (con Ansaldo Nucleare e RATEN-ICN, prototipo UE per un AMR basato su GEN-IV Lead-cooled Fast Reactor, LFR), LFR-AS-30 (AMR sviluppato dalla start-up newcleo, basato sulla tecnologia ENEA).

In ambito fusione, inoltre, ENEA svolge il ruolo di Programme Manager nazionale nel programma europeo per la fusione, coordinando la compagine italiana, costituita dai principali enti di ricerca, player industriali, università e consorzi universitari impegnati nel settore, e funge da Industrial Liaison Officer per l'Agenzia europea Fusion for Energy che gestisce le risorse economiche stanziare dalla Commissione Europea per la realizzazione di ITER.

Nell'ambito della ricerca sull'energia nucleare, l'ENEA è, pertanto, impegnata sia nel campo della fusione, sia nel settore della fissione, dove svolge un ruolo importante per la qualificazione di componenti e sistemi nucleari, per la metrologia delle radiazioni ionizzanti e per la radioprotezione.

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 all'ENEA di mettere a disposizione 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.

In questo documento 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 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 prequalifica fino al supporto alle verifiche funzionali durante il processo di qualifica vero e proprio.

La tecnologia della produzione nucleare di energia elet-

cannot ignore the creation of a network of laboratories capable of carrying out the nuclear qualification tests required by safety regulations, to support companies that already operate in the nuclear sector or that, with advanced technological skills, want to start operating there. In this context, the laboratories of ENEA and its subsidiaries can play an important or even prominent role, thanks to the provision of experimental plants, some of which are unique in Italy and among the few in Europe.

trica, 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.

---

1 - NUCLEAR QUALIFICATIONS  
1 - QUALIFICHE NUCLEARI



## CIRCE EXPERIMENTAL FACILITY

CIRCE (CIRcolazione Eutettico) is a versatile facility composed of a cylindrical vessel (Main Vessel) with an outer diameter of 1200 mm and a height of 8500 mm. The Main Vessel can be filled with approximately 70 tons of molten Lead-Bismuth Eutectic (LBE) and is designed to accommodate various test sections, which are welded to and suspended from bolted vessel heads for the study of thermal-hydraulic phenomena related to Heavy Liquid Metal (HLM) pool systems. The Main Vessel is equipped with auxiliary systems for LBE conditioning, an argon and hydrogen recirculation system, and LBE heating and cooling systems. The facility also includes an LBE storage tank, a smaller LBE transfer tank, and a comprehensive data acquisition system. CIRCE is extensively instrumented, enabling precise measurements to explore all relevant phenomena under various operational conditions. As a result, the CIRCE facility can be applied across multiple domains, such as full-scale pumps and heat exchangers for HLM nuclear systems testing, to test prototype instruments for measuring HLM thermos-fluid-dynamics parameters, validating thermal-hydraulic calculation codes used in Generation IV reactor designs, and providing educational support in Nuclear Engineering courses.

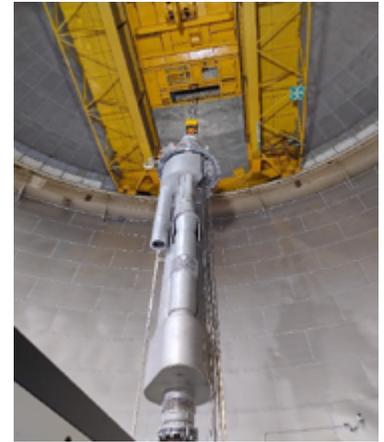
Potential users: universities and research institutions in the nuclear sectors, and industries producing components in the nuclear and heavy liquid metal thermal-hydraulics sectors.

The CIRCE-THETIS test section that is currently installed, consists of the following main components:

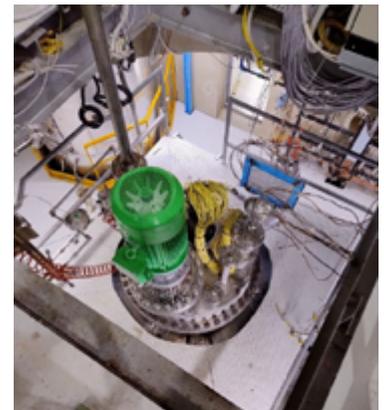
- Fuel Pin Simulator (FPS): it consists of 37 fuel pins (electrically simulated) placed on a hexagonal lattice, deeply instrumented. It has been conceived with a thermal power of about 1 MW and a linear power up to 25 kW/m, relevant values for a LMFR.
- Main Circulation Pump: the circulation of the LBE is performed using a prototypical centrifugal vertical pump powered by an electric motor of 30 kW.
- Helical Coil Steam Generator: a prototypical solution with a helical tube bundle, which assures a high power removed, taking up the minimum amount of space.
- Measurement instrumentation: oxygen concentration sensors; LBE level sensors; bubble tubes for pressure measurements; thermocouples.

The facility was installed in 2000 and it has been used in numerous EU Research Projects:

- EUROTRANS;
- THINS;
- SEARCH;
- MAXSIMA;
- MYRTE;
- SESAME;
- PATRICIA.



CIRCE - THETIS Test Section



CIRCE - THETIS within the Main Vessel



CIRCE facility (top view): auxiliary systems and components

## IMPIANTO SPERIMENTALE CIRCE

CIRCE (CIRcolazione Eutettico) è un impianto versatile costituito da un recipiente cilindrico (Serbatoio Principale) con un diametro esterno di 1200 mm e un'altezza di 8500 mm. Il Serbatoio Principale può essere riempito con circa 70 tonnellate di piombo-bismuto eutettico (LBE) fuso ed è progettato per ospitare diverse sezioni di prova, saldate e imbullonate al coperchio principale, al fine di studiare i fenomeni termoidraulici legati ai sistemi a piscina di metallo liquido pesante (HLM). Il Serbatoio Principale è dotato di sistemi ausiliari per il condizionamento del LBE, di un sistema di ricircolo di argon e idrogeno, e di sistemi di riscaldamento e raffreddamento del LBE. L'impianto include inoltre un serbatoio di stoccaggio del LBE, un serbatoio di trasferimento più piccolo e un sistema completo di acquisizione dati. CIRCE è ampiamente strumentato, consentendo misurazioni precise per l'analisi di tutti i fenomeni rilevanti in diverse condizioni operative. Di conseguenza, l'impianto CIRCE può essere applicata in molteplici settori, come il collaudo di pompe e scambiatori di calore in scala 1:1 per reattori nucleari refrigerati a metallo liquido, la verifica di strumenti prototipici per la misurazione di grandezze termofluidodinamiche, la validazione di codici di calcolo termoidraulici utilizzati per la progettazione dei reattori nucleari di Generazione IV e il supporto didattico nei corsi di Ingegneria Nucleare.

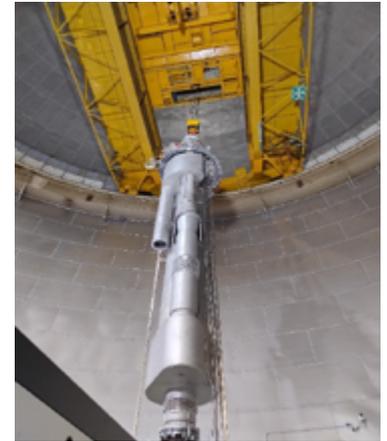
I potenziali utenti includono università e istituti di ricerca nel settore nucleare, oltre a industrie che producono componenti per il settore termoidraulico a metallo liquido pesante.

La sezione di prova attualmente installata, denominata CIRCE-THETIS, è costituita dai seguenti componenti principali:

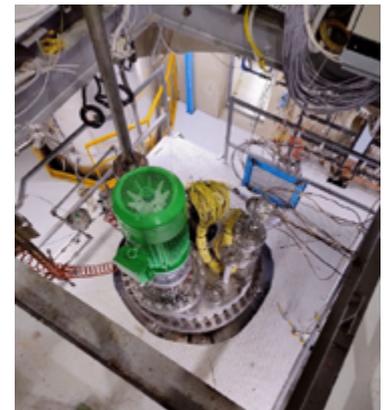
- Simulatore di Barre di Combustibile (FPS): composto da 37 barre di combustibile (simulate elettricamente) disposte in una griglia esagonale e ampiamente strumentate. È stato progettato con una potenza termica di circa 1 MW e una potenza lineare fino a 25 kW/m, valori rilevanti per un reattore veloce refrigerato a metallo liquido (LMFR).
- Pompa di Circolazione Principale: la circolazione del LBE è effettuata tramite una pompa centrifuga verticale prototipica alimentata da un motore elettrico di 30 kW.
- Helical Coil Steam Generator: una soluzione prototipica con un fascio tubiero a spirale, che assicura un elevato trasferimento di potenza occupando il minimo spazio possibile.
- Strumentazione di misura: sensori di concentrazione di ossigeno; sensori di livello del LBE; tubi a bolle per la misurazione della pressione; termocoppie.

L'impianto è stato installato nel 2000 e ha partecipato a numerosi Progetti di Ricerca finanziati dall'Unione Europea:

- EUROTRANS;
- THINS;
- SEARCH;
- MAXSIMA;
- MYRTE;
- SESAME;
- PATRICIA.



CIRCE - THETIS Sezione di prova



CIRCE - THETIS inserita nel Serbatoio Principale



Impianto sperimentale CIRCE (vista dall'alto): sistemi e componenti ausiliari

## CALLIOPE GAMMA IRRADIATION FACILITY

The CALLIOPE gamma irradiation facility is involved in qualification tests and radiation processing research on materials, components and devices to be used in hostile radiation environment (Nuclear, Space, High Energy Physics experiments). The gamma irradiation tests are performed according to the national and international reference standard procedures and ISO 9001 Certification. The facility is equipped with a laboratory for dosimetric measurements, for the characterization of radiation-induced effects, and for accelerated aging tests. Irradiation tests are performed for external users, as well as research and educational activities in collaboration with Universities and Research Institutions.

**Potential Users:** national and international companies, public and private users, universities, and research institutes.

The Calliope facility, built in the late 1960s, is a pool-type irradiation facility with a radioisotopic source consisting of  $^{60}\text{Co}$  rods (average energy of 1.25 MeV) and is licensed for a nominal maximum activity of  $3.7 \times 10^{15}$  Bq.

The large dimensions of the irradiation cell (6 m x 7 m x 4 m) allow for simultaneous testing of materials and systems within a very wide dose rate range (from zero to a few kGy/h). Irradiation tests can also be performed under specific environmental conditions such as vacuum, gas mixtures other than air, controlled temperature and humidity, under voltage, and altered gravity. The CALLIOPE dosimetric laboratory uses several calibrated and ISO 17025 certified dosimetric systems, such as solid-state dosimeters (ESR-alanine, Red Perspex, thermoluminescent TLD), chemical solutions (Fricke dosimeter), and electronic systems (RADFET, semiconductor-based). Accelerated aging tests can be carried out using climate chambers with controlled temperature and relative humidity, UV lamps. Electronic components and devices annealing tests can be performed under bias.

The main activities in which the CALLIOPE facility is involved include:

- qualification tests: in nuclear field (fission and fusion) on materials (polymer matrices, composites), components (electrical, mechanical, optical, electronic, optoelectronic, sensors, optical fibers), devices and systems (inspection cameras, measurement systems, robotic devices), and matrices for nuclear waste storage; for Space, on systems and electronic components according to international standards (ESA ESCC/22900, Issue 5; MIL-STD-883);
- gamma irradiation tests of organic and inorganic matrices exposed to hostile environments (High-Energy Physics experiments, medical field, agro-space);
- experiments for biological processes for agro-food and environmental field, and for the conservation of Cultural Heritage.

Collaborations with national (Universities, ASI, CNR, INFN) and international institutions (CERN, ITER Organization, EUROfusion, ESA, IAEA) and participation in research projects (H2020, Horizon Europe, ESFRI Roadmap, IAEA, ASI, PNRR, DTC-Lazio).



CALLIOPE gamma irradiation facility



## FACILITY DI IRRAGGIAMENTO GAMMA CALLIOPE

Presso la facility di irraggiamento gamma CALLIOPE è possibile condurre test certificati (ISO 9001) di resistenza a radiazione e di qualifica di materiali, componenti e sistemi per applicazioni in ambiente ostile (Nucleare, Spazio, Fisica delle Alte Energie), secondo le normative di riferimento. La facility è dotata di un laboratorio per misure dosimetriche, per la caratterizzazione degli effetti radioindotti e per l'esecuzione di test di invecchiamento accelerato. Sono condotte attività di servizio per utenti esterni, di ricerca e didattica in collaborazione con Università ed Enti di Ricerca.

**Potenziali utenti:** industrie nazionali ed estere, utenti pubblici e privati, università, enti ed istituti di ricerca.

La facility Calliope, realizzata alla fine degli anni '60, presenta caratteristiche uniche nel panorama italiano ed europeo. Si tratta di un impianto di irraggiamento di tipo a piscina, con una sorgente radioisotopica costituita da barrette di  $^{60}\text{Co}$  (energia media di 1,25 MeV) e licenziato per un'attività massima nominale di  $3,7 \times 10^{15}$  Bq. Le notevoli dimensioni della cella di irraggiamento (6 m x 7 m x 4 m), permettono di condurre simultaneamente vari test su materiali e sistemi in un range di intensità di dose molto ampio (da zero a qualche kGy/h). I test di irraggiamento possono essere eseguiti anche in condizioni ambientali particolari come vuoto, miscele di gas diverse dall'aria, temperatura ed umidità controllate, sotto tensione, gravità alterata.

Il Laboratorio dosimetrico della facility utilizza diversi sistemi dosimetrici (tarati presso i più importanti Centri riconosciuti a livello internazionale e certificati ISO 17025) quali dosimetri a stato solido (ESR-alanina, Red Perspex, a termoluminescenza TLD), soluzioni chimiche (dosimetro Fricke), sistemi elettronici (RADFET, a semiconduttore).

Test di invecchiamento accelerato possono essere condotti mediante l'utilizzo di camere climatiche con controllo di temperatura, umidità relativa, lampada UV e possibilità di alimentazione elettrica dei sistemi durante i test.

Le principali attività in cui la facility CALLIOPE è coinvolta riguardano:

- esecuzione di test di qualifica: in ambito Nucleare (da fissione e fusione), su materiali (matrici polimeriche, compositi), componenti (elettrici, meccanici, ottici, elettronici, opto-elettronici, sensori, fibre ottiche), dispositivi e sistemi (camere di ispezione, sistemi di misura, apparati robotici) e di matrici per lo stoccaggio di rifiuti nucleari; in ambito Spazio, per sistemi e componenti elettronici secondo gli standard internazionali (ESA ESCC/22900, Issue 5; MIL-STD-883);
- test di irraggiamento gamma di matrici organiche ed inorganiche sottoposte ad ambienti ostili (Esperimenti di Fisica delle Alte Energie, campo medico, agro-spazio);
- esperienze in campo biologico finalizzate alla messa a punto di processi di risanamento nel settore agro-alimentare ed ambientale e per il recupero di Beni Culturali.

Collaborazioni con le maggiori Istituzioni in ambito nazionale (Università, ASI, CNR, INFN) ed internazionale (CERN, ITER Organization, EUROfusion, ESA, IAEA) e partecipazione a Progetti di ricerca (H2020, Horizon Europe, ESFRI Roadmap, IAEA, ASI, PNRR, DTC-Lazio).



Facility di Irraggiamento Gamma CALLIOPE



## SIET - GEST FACILITY FOR NUCLEAR POWER PLANT COMPONENT AND SYSTEM QUALIFICATION

**The high capabilities of the GEST facility allow full-scale and full operating condition tests to be performed on various components of the LWR thermal cycle.**

Potential users: Regulatory and safety authorities (for licensing procedures), international designers and suppliers of nuclear power plants and small modular reactors, industry (R&D and qualification of products for the Italian and foreign markets).

The GEST plant was designed and built in the 1980s to carry out R&D and experimental qualification of LWR steam generators, in particular to characterise the efficiency of PWR and BWR steam separators (GEST-SEP) and to test a PWR U-tube steam generator (GEST-GEN) under real operating conditions. In the 1990s, it was equipped with vertical tube heat exchangers and large pools, in the PANTHERS configuration, for testing decay heat removal systems as an isolation condenser and passive containment condenser of the General Electric SBWR (in a joint activity of GE, SIET, ENEL and ENEA, 20 MW power). In the early 2000s, an upgrade of the Isolation condenser was tested in the PERSEO configuration (20 MW power).

The GEST-SEP facility, whose typical conditions are: pressure 60 - 80 bar, fluid flow rate 50 - 200 kg/s; separator inlet steam quality 5 - 25%, allowed to characterise steam-water separators for several customers such as Westinghouse, Mitsubishi, Doosan and Toshiba, in the mid-2000's.

In the mid-1990s, the GEST plant was used to characterise a mock-up of a helical coil steam generator for ANSALDO (ISIS, 20 MW power), and between 2015 and 2023 it hosted a prototypical helical coil steam generator of NuScale Power SMR (reduced number of rows) for the full characterisation of heat transfer and Density Wave Oscillations (DWO) under typical reactor conditions (power ~8.5 MW).

Between 2022 and 2023, as part of the European ELSMOR project, the ELSMOR plant was built on the GEST site to test an innovative DHRS based on a plate heat exchanger installed in a natural circulation loop with a vertical tube heat exchanger immersed in a pool (pressure 120 bar, temperature 130 °C, power 0.8 MW).

In general, the GEST facility can be used in various configurations to perform high flow tests (up to 200 kg/s water; up to 40 kg/s steam) on various nuclear power plant components such as safety and control valves, heat exchangers and fluid velocity meters.



GEST plant vessel (volume 43 m<sup>3</sup>, height 15 m)



SBWR Isolation Condenser testing on the PANTHERS facility (power: 20 MW)



ELSMOR facility

## SIET - IMPIANTO GEST PER LA QUALIFICA A PIENA SCALA DI COMPONENTI E SISTEMI DI IMPIANTI NUCLEARI

Le elevate potenzialità dell'impianto GEST consentono di effettuare prove a piena scala e a condizioni reali di esercizio su vari componenti del ciclo termico degli impianti nucleari raffreddati ad acqua (LWR).

Potenziati utenti: Autorità di controllo e sicurezza (per le procedure di autorizzazione), progettisti e fornitori internazionali di centrali nucleari e piccoli reattori modulari, industria (R&S e qualificazione di prodotti per il mercato italiano ed estero), utilities e università per la formazione.

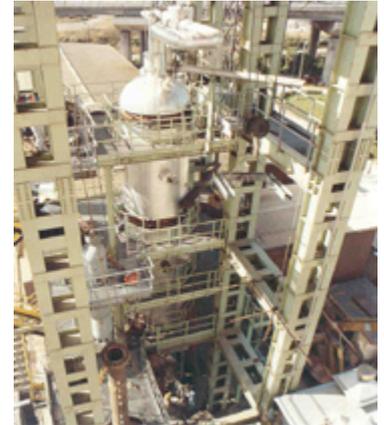
L'impianto GEST fu progettato e costruito negli anni '80 per svolgere attività di R&S e qualifica sperimentale di generatori di vapore per LWR, in particolare per caratterizzare l'efficienza dei separatori di PWR e BWR (GEST-SEP) e per testare un generatore di vapore a tubi a U per PRW (GEST-GEN), a condizioni operative reali. Negli anni '90, fu equipaggiato con scambiatori di calore a tubi verticali immersi in grandi piscine, nella configurazione PANTHERS, per caratterizzare i sistemi di rimozione del calore di decadimento del reattore SBWR della General Electric, sia come condensatore di isolamento che come condensatore del contenimento (attività congiunta di GE, SIET, ENEL ed ENEA, potenza 20 MW). All'inizio degli anni 2000, il condensatore di isolamento fu provato all'interno di un circuito in una configurazione migliorata, nella facility PERSEO (20 MW di potenza).

L'impianto GEST-SEP, le cui condizioni tipiche sono: pressione 60-80 bar, portata del fluido 50 - 200 kg/s; titolo del vapore in ingresso al separatore 5 - 25%, a metà degli anni 2000, consentì di caratterizzare i separatori acqua-vapore per diversi clienti come Westinghouse, Mitsubishi, Doosan e Toshiba.

A metà degli anni '90, l'impianto GEST fu utilizzato per caratterizzare un mock-up di un generatore di vapore a tubi elicoidali per ANSALDO (ISIS, 20 MW di potenza), e tra il 2015 e il 2023 ha ospitato un generatore di vapore a tubi elicoidali prototipico del SMR di NuScale Power (numero ridotto di schiere) per la caratterizzazione completa dello scambio termico e delle Density Wave Oscillations (DWO) alle condizioni tipiche del reattore (potenza ~8.5 MW).

Tra il 2022 e il 2023, nell'ambito del progetto europeo ELSMOR, l'impianto ELSMOR è stato costruito nell'area GEST per provare un DHRS innovativo basato su uno scambiatore di calore a piastre installato in un circuito chiuso in circolazione naturale con uno scambiatore di calore a tubi verticali immerso in una piscina (pressione 120 bar, temperatura 130 °C, potenza 0,8 MW).

In generale, l'impianto GEST può essere utilizzato in varie configurazioni per eseguire test ad alta portata (fino a 200 kg/s di acqua; fino a 40 kg/s di vapore) su vari componenti di centrali nucleari come valvole di sicurezza e di controllo, scambiatori di calore e misuratori di velocità dei fluidi.



Impianto GEST: vessel (volume 43 m<sup>3</sup>, altezza 15 m)



Condensatore di isolamento del SBWR sull'impianto PANTHERS (potenza: 20 MW)



Impianto ELSMOR

## TECHNOLOGIES OF PB - HELENA

HELENA (Heavy Liquid metal Experimental loop for advanced Nuclear Applications) is a multipurpose facility supporting the development of lead-cooled fast reactor (LFR) nuclear technologies. The facility is designed to conduct research activities in: i) thermal-hydraulics of heavy liquid metals (Pb), ii) corrosion characterization on structural material relevant for LFR reactors, iii) investigation of flow-induced vibration in a 37 rods bundle iv) characterization of heat exchanger performance at relevant scales, and v) generating databases for the validation and qualification of computational fluid dynamics codes. In the past, the facility was also used for the qualification of isolation valves to be used in lead.

**Potential users:** research institutes in the field of Generation IV nuclear fission, universities, and industries.

The primary circuit operating with pure lead consists of 2 1/2" piping. Forced circulation within the facility is provided by a horizontal mechanical centrifugal pump operating in the flow range of 10-50 kg/s and a pressure head of 3.5-5 bar. The heat exchanger coupling the primary and secondary circuits is a shell and tube type heat exchanger, consisting of 7 bayonet tubes with a gap filled with steel powder to reduce mechanical stress on the heat exchanger tubes caused by the thermal gradient between the primary and secondary circuits. The heat exchanger is designed to remove a maximum power of 250 kW.

The secondary circuit consists of a pressurized water circuit designed for a maximum pressure of 100 bar and a temperature of 350°C.

In the 2024 configuration, the facility includes a test section called FIVFPS for studying flow-induced vibrations caused by lead flowing at variable rates in the range of 10-50 kg/s through a bundle consisting of 37 pins, representing the fuel assembly foreseen for the ALFRED reactor. The objectives of the experimental campaign on the FIVFPS test section at the HELENA facility are: i) determination of the fundamental vibration frequencies (modes I and II) of the FPS pin in flowing lead; ii) determination of the associated vibration amplitude; iii) investigation of the first two points with varying liquid metal flow rates (10-50 kg/s) and thus fluid velocity.

These are the main characteristics of the HELENA loop:

- Pb volume: 300 liters
- Maximum Pb temperature: 550°C
- Pb flow rate: 10-50 kg/s
- Pipe size: 2 1/2"
- Maximum power managed by the heat exchanger: 250 kW
- Instrumentation: 2 flow meters (a venturi flow meter for flow rates up to 50 kg/s and a thermal flow meter up to 15 kg/s), differential pressure transducers on the main components, absolute pressure transducers, thermocouples for measuring process temperature.



HELENA facility: the FIVFPS test section at the top, and the primary circuit at the bottom

## TECNOLOGIE DEL PB - HELENA

HELENA (Heavy Liquid metal Experimental loop for advanced Nuclear Application) è un impianto multifunzionale a supporto dello sviluppo delle tecnologie dei reattori nucleari refrigerati a piombo (lead Fast Reactor). L'impianto è progettato per condurre attività di ricerca di i) termoidraulica nei metalli liquidi pesanti (Pb), ii) può ospitare sezioni di prova per la caratterizzazione della corrosione su provini di materiali strutturali di interesse per la realizzazione dei reattori LFR, iii) investigare la vibrazione indotta dal flusso di piombo attraverso un fascio di barrette simulanti un elemento di combustibile nucleare, iv) Caratterizzazione delle caratteristiche di scambiatori di calore in scala rilevante v) generare database per la validazione e qualifica di codici di calcolo di fluidodinamica. In passato l'impianto è stato usato anche per la qualifica delle valvole di isolamento da utilizzare in piombo.

**Utenti potenziali:** istituti di ricerca nel settore della fissione termonucleare di IV GEN università ed industrie.

Il circuito primario operante con piombo puro è costituito da tubazioni di 2"1/2. La circolazione forzata all'interno dell'impianto è operata per mezzo di una pompa meccanica centrifuga ad asse orizzontale operante nel range di portate 10-50 kg/s e una prevalenza di 3.5-5 bar. Lo scambiatore di calore che accoppia il circuito primario ed il secondario è costituito da uno scambiatore del tipo shell & tube costituito da 7 tubi a baionetta con gap riempito di polvere di acciaio per ridurre lo stress meccanico nei tubi dello scambiatore generato dal gradiente termico tra primario e secondario. Lo scambiatore di calore è progettato per asportare una potenza massima pari a 250 kW. Il circuito secondario è costituito da un circuito ad acqua in pressione progettato alla pressione massima di 100 bar e una temperatura di 350°C.

Nella configurazione 2024, l'impianto prevede una sezione di prova denominata FIVFPS per lo studio delle vibrazioni indotte dal passaggio del piombo a portate variabili nel range 10-50 kg/s attraverso un bundle costituito da 37 pin e rappresentativo del Fuel Assembly previsto per il reattore ALFRED. Gli obiettivi della campagna sperimentale sulla sezione di prova FIVFPS sulla facility HELENA sono i seguenti: i) determinazione delle frequenze fondamentali di vibrazione (modi I e II) sulla barretta del FPS in piombo fluente; ii) determinazione dell'ampiezza di vibrazione associata; iii) investigazione dei due punti precedenti al variare della portata di metallo liquido (10-50 kg/s) e dunque della velocità del fluido;

Queste sono le principali caratteristiche del circuito HELENA:

- Volume di Pb: 300 litri
- Temperatura massima del Pb: 550°C
- Portata del Pb: 10-50 kg/s
- Dimensione delle tubazioni: 2"1/2
- Potenza massima gestita dallo scambiatore di calore: 250 kW
- Strumentazione: 2 misuratori di portata (un venturi flow meter fino a portate di 50 kg/s e un thermal flow meter fino a 15 kg/s, trasduttori di pressione differenziale sui componenti principali, trasduttori di pressione assoluta, termocoppie per la rilevazione della temperatura di processo



Impianto HELENA: sezione di prova FIVFPS in alto e, in basso, circuito primario

## SIET - IETY FACILITY FOR THERMAL HYDRAULIC TESTS ON PLANT COMPONENTS AND SPECIAL EQUIPMENT

The IETI facility is a multi-purpose facility that enables thermohydraulic tests on different types of components with water and steam mixtures, under a wide range of thermodynamic conditions. IETI can also be used for university training in basic and applied thermo-fluid dynamics.

Potential users: industry (R&D and qualification), regulators and safety authorities (for safety design verification), universities (for experimental campaigns or training).

Operating conditions:

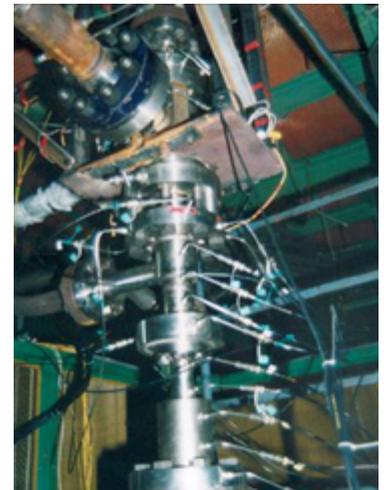
- power (7 MW)
- water (220 bar, 365 °C, 15 kg/s)
- superheated steam (100 bar, 500 °C, 5 kg/s)
- water-steam mixture (steam quality from 0 to 100%).

Main tests performed:

- CHF and dry-out tests on a 64-rod cluster to qualify the General Electric BWR fuel element;
- Heat transfer tests, for ENEA, on tubular and annular test sections simulating LWR subchannels and tube bundles typical of PWR steam generators;
- Operational tests, for ENEA, on PWR pressurisers and associated safety valves;
- Basic tests, for ENEA, on specific thermal-hydraulic behaviour for applications on LWR components (PWR pressuriser flooding, reflux condensation in PWR SG tubes);
- Several test campaigns on passive devices (steam injectors) for LWR safety systems for different organisations (Cise, Enel, Siemens, Toshiba) and European projects (SINTHESIS, DEEPSSI);
- Heat transfer tests on the helical coils of the IRIS reactor and NuScale Power SMR steam generators;
- Hydraulic nozzle tests for high power jets used in metallurgical descaling;
- Calibration and development of special instrumentation for measurements on fluids in two-phase flow conditions;
- Characterisation tests on a level sensor based on heated thermocouples for Thermocoax;
- Characterisation tests of bayonet tube steam generators and associated EHRS for the HERO and HERO-2 projects;
- Characterisation tests of the DHR system of the ALFRED LFR, controlled by the passive injection/extraction of non-condensable gases, in the framework of the SIRIO project;
- Tests of the SIRIO passive DHR for LWR applications in the framework of the European project PIACE.



IETI facility: heat transfer tests on two helical coils of the IRIS steam generator



IETI facility: CISE steam injector tests for passive injection in LWRs (pressure: 20÷90 bar)



SIRIO facility: tests on a passive DHR system for the ALFRED LFR

## SIET -IMPIANTO IETI PER PROVE TERMOIDRAULICHE SU COMPONENTI DI IMPIANTI E DISPOSITIVI SPECIALI

L'impianto IETI è una struttura polivalente che consente di eseguire test termoidraulici su diversi tipi di componenti con acqua, vapore e miscela bifase, in un'ampia gamma di condizioni termodinamiche. Può essere utilizzato anche per attività didattica a livello universitario e per studi di termofluidodinamica di base e applicata.

Potenziati utenti: Industria (R&S e qualifica di componenti per il mercato italiano ed estero), Enti regolatori e autorità di sicurezza (per le procedure di autorizzazione), progettisti e costruttori internazionali di centrali nucleari e reattori modulari di piccola taglia (SMR), università per attività di ricerca e didattica.

Condizioni operative:

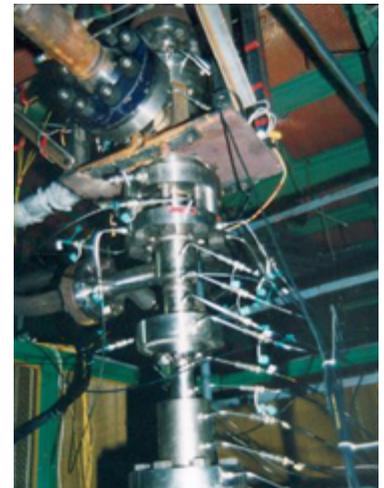
- potenza (7 MW)
- acqua (220 bar, 365 °C, 15 kg/s)
- vapore surriscaldato (100 bar, 500 °C, 5 kg/s)
- miscela bifase acqua-vapore (titolo di vapore da 0 al 100%).

Principali prove effettuate:

- prove di crisi termica sul cluster di 64 barre per qualificare l'elemento di combustibile del BWR General Electric;
- prove di scambio termico, per ENEA, su sezioni di prova tubolari e anulari che simulano i sotto-canali di reattori LWR e su fasci di tubi tipici dei generatori di vapore PWR;
- prove di funzionalità, per ENEA, di pressurizzatori PWR e relative valvole di sicurezza;
- prove di base, per ENEA, su particolari fenomenologie termoidrauliche per applicazioni su componenti di LWR (flooding del pressurizzatore PWR, reflux condensation nei tubi dei generatori di vapore PWR);
- diverse campagne di test su dispositivi passivi (steam injectors) per sistemi di sicurezza LWR, per diverse organizzazioni (Cise, Enel, Siemens, Toshiba) e progetti europei (SINTHESIS, DEEPSSI);
- prove di scambio termico sui tubi elicoidali dei generatori di vapore dei reattori IRIS e SMR di NuScale Power;
- prove su ugelli idraulici per getti ad alta potenza utilizzati nella disincrostazione metallurgica;
- calibrazione e sviluppo di strumentazione speciale per misure su fluidi in condizioni di flusso bifase;
- prove di caratterizzazione di un sensore di livello per il core di un PWR, basato su termocoppie riscaldate, per Thermocoax;
- prove di caratterizzazione di generatori di vapore a tubi a baionetta e del relativo sistema di rimozione del calore residuo (EHRS) per i progetti HERO e HERO-2;
- prove di caratterizzazione del sistema DHR del reattore a piombo fuso (LFR) ALFRED, controllato dall'iniezione/estrazione passiva di gas incondensabili, nell'ambito del progetto SIRIO;
- prove del sistema passivo DHR di SIRIO per applicazioni LWR, nell'ambito del progetto europeo PIACE.



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



IETI facility: CISE steam injector tests for passive injection in LWRs (pressure: 20±90 bar)



SIRIO facility: tests on a passive DHR system for the ALFRED LFR

## HeFUS3 FACILITY - HELIUM CIRCUIT SIMULATOR FOR NUCLEAR APPLICATIONS

HeFUS3 (Helium for FUSion) is one of the largest helium facilities in Europe, designed to test instrumentation and components for helium-cooled Breeding Blanket concepts, featuring high helium flow rates at high temperature and pressure. The facility has also been used to simulate incidental transients, such as Loss of Coolant Accidents (LOCA) and Loss of Flow Accidents (LOFA).

**Potential users:** universities, industries and research institutions in the fusion and fission sectors.

HeFUS3 is an experimental helium facility, built in 1997. It has also been used to simulate incidental transients for Generation IV helium-cooled fast reactors, to test the cooling of prototype components for the divertor, to quantify leaks from flanged connections, and to contribute to the validation of thermohydraulic computer codes. The facility has an "eight" configuration, with an economizer that separates the low-temperature section, where the turbo-circulator is installed, from the high-temperature section, which houses the test section.

The facility consists of 3" piping and five main components: a turbo-circulator capable of providing a maximum flow rate of 1.4 kg/s, a 1 MW helium-water heat exchanger, a 300 kW air heater, three heating wells with a total power of 210 kW, and a shell-and-tube economizer. Additionally, the facility includes seven valves, eight pressure transducers, two flow meters, and more than 30 thermocouples. The facility, with a volume of 1.5 m<sup>3</sup>, can reach temperatures of up to 550°C in the test section and pressures of up to 80 bar.



HeFUS3 facility: the turbo-circulator section, at the top, and the electrical heaters, at the bottom.

## IMPIANTO HeFUS3 - SIMULATORE CIRCUITI A ELIO IN AMBITO NUCLEARE

HeFUS3 (Helium for FUSion) è uno dei più grandi impianti a elio in Europa ed è stato progettato per testare strumentazione e componenti dei concetti di Breeding Blanket raffreddati a elio, con elevate portate di elio ad alta temperatura e alta pressione. È stato anche utilizzato per simulare transitori incidentali, come ad esempio incidenti di perdita del refrigerante (LOCA) e incidenti di perdita di flusso (LOFA).  
Utenti potenziali: università, industrie e istituti di ricerca nei settori della fusione e della fissione.

HeFUS3 è un impianto sperimentale a elio costruito nel 1997. È stato anche utilizzato per simulare transitori incidentali per reattori veloci di quarta generazione raffreddati a elio, per testare la refrigerazione di componenti prototipici per il divertore, per quantificare le perdite da connessioni flangiate, per contribuire alla validazione di codici di calcolo termoidraulici, ecc. L'impianto ha una configurazione ad "otto", con un economizzatore che divide la sezione a bassa temperatura, dove è installato il turbo-circolatore, dalla sezione ad alta temperatura, che ospita la sezione di prova.

L'impianto è costituito da tubazioni da 3" e da cinque componenti principali: un turbo-circolatore capace di fornire una portata massima di 1,4 kg/s, uno scambiatore elio-acqua da 1 MW, un aerotermo da 300 kW, 3 pozzi scaldanti con una potenza totale di 210 kW e un economizzatore a tubi e mantello. Inoltre, l'impianto comprende 7 valvole, 8 trasduttori di pressione, 2 misuratori di portata e più di 30 termocoppie. L'impianto, con un volume di 1,5 m<sup>3</sup>, può raggiungere temperature fino a 550°C nella zona della sezione di prova e pressioni fino a 80 bar.



Impianto HeFUS3: in alto, la zona del turbo-circolatore e, in basso, i pozzi scaldanti.

## LIFUS5/MOD3 FACILITY: LIQUID METAL - WATER INTERACTION/REACTION TESTS

The LIFUS5/Mod3 is an experimental facility designed for separate-effect studies, used in the fields of nuclear fission and fusion. It was developed to study the interaction between metallic alloys and water, a crucial aspect for analyzing potential accidents caused by the rupture of a high-pressure cooling tube in components such as heat exchangers in Generation IV reactors and tritium breeding blankets with water and lead-lithium in magnetic confinement fusion reactors. Understanding the phenomenology of liquid metal-water interaction is essential for the design and construction of these systems. This research enables the characterization of key pressure and temperature transients under accident conditions, which are fundamental for ensuring the mechanical integrity of components and systems. Additionally, the facility is valuable for validating thermohydraulic and thermomechanical codes, used both in design and safety analyses. The LIFUS5/Mod3 is designed to operate with various heavy liquid metals, such as pure lead, lead-lithium eutectic alloy, and lead-bismuth eutectic alloy, across a wide range of operating conditions (maximum temperature of 500 °C and maximum pressure of 200 bar).

**Potential users:** universities and research institutions in the nuclear sector, industries producing nuclear components EUROfusion Consortium, F4E Organization.

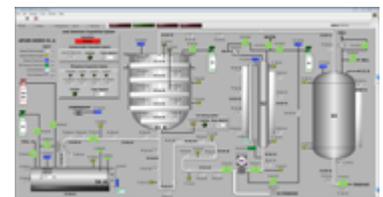
The LIFUS5/Mod3 experimental facility, operational since 2019, is the third version of the LIFUS5 facility, originally built in 2000. In this version, the facility can operate in two different configurations. The first configuration (A) features a 100-liter test vessel and is used in the context of nuclear fission, employing a lead-bismuth alloy. This configuration is utilized to study and characterize measurement instruments designed to detect micro-cracks in pressurized water tubes, with the goal of identifying potential leaks before catastrophic rupture occurs (the "leak before break" concept). The last experimental campaign conducted with this configuration included 11 tests. The facility was equipped with a test section featuring accelerometers, ultrasonic sensors, and microphones. These devices allowed for the correlation of measured signals with the presence of small leaks and the determination of signal amplitude in relation to crack size. The second configuration (B), with a 30-liter test vessel, is currently being used in the field of nuclear fusion, aimed at investigating the interaction phenomena between lead-lithium eutectic alloy and water. These two fluids interact both thermodynamically and chemically, generating heat and hydrogen. The facility is equipped with sensors with an acquisition frequency of up to 10 kHz, allowing for the analysis of pressure transients, the generation and propagation of pressure waves, and the deformation of the test vessel. Additionally, the facility includes instrumentation to characterize water injection, thermocouples to study the temperature distribution inside the test tank, and a system for measuring the hydrogen produced. The facility has conducted 25 tests in the latest configuration, generating data for the development and validation of computational codes.

Key Features:

- Design pressure: 200 bar
- Design temperature: 500 °C
- Reaction vessel volume: 100 liters (A-configuration); 30 liters (B-configuration)
- Water injection diameter: 20 - 100 µm (A-configuration); 1 - 8 mm (B-configuration)



LIFUS5/Mod3 facility in B-configuration



LIFUS5/Mod3 synoptics: A-configuration (top) and B-configuration (bottom)

## IMPIANTO LIFUS5/MOD3: TEST DI INTERAZIONE / REAZIONE METALLO LIQUIDO - ACQUA

Il LIFUS5/Mod3 è un impianto sperimentale ad effetto separato, impiegato in ambito fissione e fusione nucleare. È stato progettato e costruito per lo studio dell'interazione tra lega metallica e acqua, un aspetto cruciale per l'analisi di potenziali incidenti causati dalla rottura di un tubo di refrigerazione ad alta pressione in componenti come gli scambiatori di calore nei reattori di IV generazione e i mantelli triziogeni ad acqua e piombo-litio nei reattori a fusione a confinamento magnetico. Lo studio della fenomenologia di interazione tra metallo liquido e acqua è essenziale per la progettazione e la realizzazione di questi sistemi. Questa ricerca consente di caratterizzare i principali transitori di pressione e temperatura in condizioni incidentali, elementi fondamentali per garantire la resistenza meccanica dei componenti e sistemi. Inoltre, l'impianto è utile per la validazione dei codici di calcolo termoidraulici e termomeccanici, utilizzati sia nella progettazione che nelle analisi di sicurezza. Il LIFUS5/Mod3 è progettato per operare con diversi metalli liquidi pesanti, come il piombo puro, la lega eutettica piombo-litio e la lega piombo-bismuto, in un'ampia gamma di condizioni operative (temperatura massima di 500 °C e pressione massima di 200 bar).

**Potenziali utenti:** università ed enti di ricerca del settore nucleare, industrie coinvolte nella realizzazione di componenti nel settore nucleare, consorzio EUROfusion, organizzazione F4E.

L'impianto sperimentale LIFUS5/Mod3, in esercizio dal 2019, è la terza versione dell'impianto LIFUS5 costruito nel 2000. In questa versione l'impianto può operare in due diverse configurazioni. La prima (A) dotata di un serbatoio di prova di volume 100 litri e viene utilizzata nel contesto della fissione nucleare, impiegando una lega di piombo-bismuto come fluido di processo. Questa configurazione è usata per studiare e caratterizzare strumenti di misura atti alla rivelazione di microfessure in tubi ad acqua in pressione, con l'obiettivo di individuare potenziali perdite prima che si verifichi una rottura catastrofica (concetto di "leak before break"). L'ultima campagna sperimentale condotta con questa configurazione ha incluso 11 test. L'impianto era equipaggiato con una sezione di prova dotata di accelerometri, sensori per rilevamento ad ultrasuoni e microfoni. Grazie a questi dispositivi, è stato possibile correlare i segnali misurati con la presenza di piccole perdite e determinare l'ampiezza del segnale in relazione alla dimensione della cricca. La seconda configurazione (B), con serbatoio di prova da 30 litri, è attualmente impegnata in ambito fusione nucleare, con lo scopo di investigare la fenomenologia di interazione tra lega eutettica piombo-litio e acqua. Questi due fluidi interagiscono sia termodinamicamente che chimicamente generando calore e idrogeno. L'impianto è dotato di sensori con frequenza di acquisizione fino a 10 kHz, che permettono di analizzare il transitorio di pressione, la generazione e propagazione di onde di pressione e la deformazione del serbatoio di prova. È inoltre installata strumentazione per caratterizzare l'iniezione dell'acqua, di termocoppie per studiare l'andamento di temperatura all'interno del serbatoio di prova, e di un sistema di misurazione dell'idrogeno prodotto. L'impianto ha effettuato 25 test nell'ultima configurazione, producendo dati per lo sviluppo e la validazione di codici di calcolo.

Queste le sue caratteristiche principali:

- Pressione di progetto: 200 bar
- Temperatura di progetto: 500 °C
- Volume del serbatoio di reazione in configurazione A: 100 litri
- Volume del serbatoio in configurazione B: 30 litri
- Diametro di iniezione acqua sezione di prova piccole perdite: da 20 a 100 μm
- Diametro di iniezione acqua sezione di prova piccole grandi rotture: 1 a 8 mm



Impianto LIFUS5/Mod3 (configurazione B)



Sinottici di impianto: configurazione A (alto),  
configurazione B (basso)

## LABORATORY OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

The Laboratory is able to perform Electromagnetic Compatibility (EMC/EMI) tests and measurements in conformity with harmonized civil, military and avionic standards.

**Potential users: electronic, security, avionic, biomedical, transport industries; Government agencies and institutes; scientific research institutes.**

The Laboratory is equipped with a semi-anechoic chamber – “Vecuvia”, which has been realized in 2001 by Teseo SpA following the ENEA detailed technical specifications – for electromagnetic compatibility tests and measurements on devices located at 3 m from the antennas, in the 10 kHz. 18 GHz frequency range.

The Vecuvia facility is used for radiated and conducted emission and immunity tests; two more shielded chambers are used for conducted emission and radiated tests up to 1 GHz. Several experimental devices are used to remotely control the test sessions and to acquire data.

The facilities of the Laboratory are also used for the electromagnetic characterization of materials (dielectric permittivity and magnetic permeability) and antennas (radiation patterns and radar cross-section).

The most significant test sessions performed by the Laboratory include:

- tests on scientific instruments installed on board of the Geophysica aircraft, used in stratospheric measurement sessions over the Antarctica (Department of Physics of “La Sapienza” University in Rome);
- tests on electronic monitoring equipment to control the tunnels of the Rome-Naples high-speed railway line;
- tests on a control console installed on board of the Italian Navy’s cruiser “Garibaldi”;
- tests on a control console installed on board of the Italian Navy’s aircraft carrier “Cavour”;
- tests on several electronic systems produced by industries of the Leonardo Group for the police and security units, the emergency agencies for civil protection and the armed forces.



View of the control console installed on board of the Italian Navy's aircraft carrier "Cavour"



Inside view of the "Vecuvia" semi-anechoic chamber

## LABORATORIO DI COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA

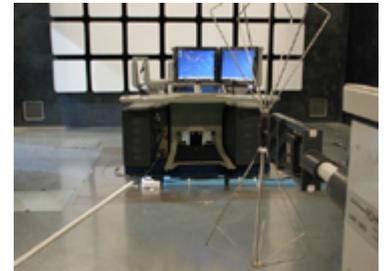
Il Laboratorio può effettuare misure e prove di compatibilità elettromagnetica (EMC/EMI) secondo le norme civili, militari ed avioniche.

**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 Leonardo per le forze di sicurezza, la protezione civile e le forze armate.



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



Vista interna della camera semianecoica "Vecuvia"

## SEISMIC QUALIFICATION LABORATORY

The Laboratory is equipped with two 6-Degree-of Freedom (6DOF) shaking tables – among the largest in Europe – allowing to perform triaxial seismic tests for:

- seismic qualification of systems and equipment for nuclear plants (IEEE STD 344-2004, IEC 60980 1989);
- qualification of systems and components for industrial applications (MIL STD 167-1, AGERD A 0049), railway transport (F.S. – I.S.402), aerospace components (DO-160C), civil engineering and cultural heritage conservation (OPCM-4274, OPCM 3431);
- dynamic characterization and experimental verification of new technologies for seismic protection of delicate instruments and control systems for strategic infrastructures in the post seismic phase.

Potential users: national and European SMEs operating in the fields of constructions, mechanical and railway transport industry; research institutions; Italian Civil Protection Department.

The shaking table tests are fundamental to understand the dynamic behaviour of structures subject to dynamic loads induced by earthquakes. Actually they allow to validate the numerical models by providing the real physical parameters such as dissipation, critical frequencies and main vibration modes of the structure.

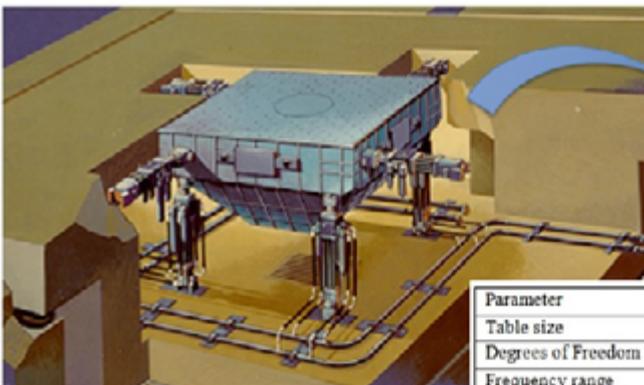
The two shaking tables operating in the laboratory allow to study and test new technologies and new materials for the seismic protection of civil, industrial, and cultural heritage structures.



Dynamic/functional test on air treatment components



Dynamic/functional tests on UPS systems



| Parameter          | System 1         | System 2        |
|--------------------|------------------|-----------------|
| Table size         | 4 x 4 [m]        | 2 x 2 [m]       |
| Degrees of Freedom | 6                | 6               |
| Frequency range    | 0-50 [Hz]        | 0-100 [Hz]      |
| Acceleration       | 3g peak          | 5g peak         |
| Velocity           | 0.5 m/s (0-peak) | 1 m/s (0-peak)  |
| Displacement       | 0.125 m (0-peak) | 0.15 m (0-peak) |
| Specimen Mass      | 30 [t]           | > [t]           |

## LABORATORIO PER QUALIFICA SISMICA

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

Potenziali 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.

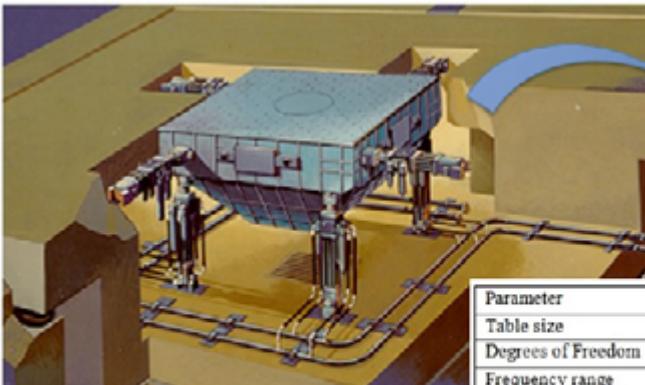
Le due tavole vibranti in dotazione del Laboratorio consentono lo studio e la sperimentazione di nuove tecnologie e nuovi materiali per la protezione sismica di manufatti civili, industriali e storico/monumentali.



Test dinamico/funzionale su componentistica trattamento aria



Test dinamico/funzionali su sistema sistemi UPS



| Parameter          | System 1         | System 2        |
|--------------------|------------------|-----------------|
| Table size         | 4 x 4 [m]        | 2 x 2 [m]       |
| Degrees of Freedom | 6                | 6               |
| Frequency range    | 0-50 [Hz]        | 0-100 [Hz]      |
| Acceleration       | 3g peak          | 5g peak         |
| Velocity           | 0.5 m/s (0-peak) | 1 m/s (0-peak)  |
| Displacement       | 0.125 m (0-peak) | 0.15 m (0-peak) |
| Specimen Mass      | 30 [t]           | 5 [t]           |

## ENGINEERING OF NUCLEAR SYSTEMS LABORATORY

The Laboratory aims at supporting the national industry in the design, analysis and technological development in the frame of nuclear field for energy applications.

It provides support to the Institutions, the production system and society in the field of safety analysis, sustainability and design of new generation nuclear systems, including modular and small-scale reactors, as well as technology transfer services to the nuclear and energy industry.

It operates in the conceptualization, design and construction of new research infrastructures, in the modernization of existing ones, working in support and collaboration with the national industry operating in the advanced technologies sector. It participates in projects, consortia and research collaborations, both national and international for technological development and nuclear achievements, both in the fission and fusion fields.

It provides technical-scientific support to the Institutions (national and international), to the competent Ministries, and to the local and national bodies, supporting the Nuclear Department in its functions as national "Technical and Scientific Support Organization" (TSO) in matters of safety and security, non-proliferation, and preparation and response to nuclear emergencies.

Among the others, here after the main capabilities:

- Development of knowledge and skills in design, analysis and technological development in the nuclear field. Develops, verifies and validates models and calculation codes for nuclear applications.
- Develops, in collaboration with the nuclear and energy industry, new technologies for nuclear applications.
- Supports design and technological development activities related to nuclear systems for energy production, both modular (SMR) and fourth generation (LFR & ADS), also making use of ENEA's infrastructures and experimental infrastructures, and manages the related national, European and international collaborations.



- Collaborate with SIET on the SMR development and experimental assessment of systems and components.
- Participates in working groups and commissions in all major international bodies and European initiatives for nuclear research and sustainability, such as IAEA, OECD-NEA, SNETP, ETSO, ENEN.

## LABORATORIO INGEGNERIA DEI SISTEMI NUCLEARI

Il Laboratorio supporta l'industria nazionale nella progettazione, analisi e sviluppo tecnologico in ambito nucleare per applicazioni energetiche.

Fornisce supporto alle Istituzioni, al sistema produttivo ed alla società nel campo dell'analisi di sicurezza, sostenibilità e progettazione di sistemi nucleari di nuova generazione, inclusi reattori modulari e di piccola taglia, nonché servizi di trasferimento tecnologico all'industria nucleare ed energetica.

Opera nella concettualizzazione, progettazione e realizzazione di nuove infrastrutture di ricerca, nell'ammodernamento di quelle esistenti, lavorando a supporto e in collaborazione dell'industria nazionale operante nel settore delle tecnologie avanzate. Partecipa a progetti, consorzi e collaborazioni di ricerca, sia nazionali che internazionali per lo sviluppo tecnologico e le realizzazioni nucleari, sia in ambito fissione che fusione.

Fornisce supporto tecnico-scientifico alle Istituzioni (nazionali ed internazionali), ai Ministeri competenti, ed agli organi locali e nazionali, supportando il Dipartimento Nucleare nelle sue funzioni di "Technical and Scientific Support Organization" (TSO) nazionale in materia di sicurezza (safety e security), non proliferazione, e di preparazione e risposta alle emergenze nucleari.

Tra le principali funzioni:

- Sviluppa conoscenze e competenze di progettazione, analisi e sviluppo tecnologico in ambito nucleare. Sviluppa, verifica e valida modelli e codici di calcolo per applicazioni nucleari.
- Sviluppa, di concerto con l'industria del settore nucleare ed energetico, nuove tecnologie per applicazioni nucleari.
- Supporta attività di progettazione e sviluppo tecnologico relative ai sistemi nucleari per produzione di energia, sia modulari (SMR), che di quarta generazione (LFR & ADS), facendo anche uso delle infrastrutture e impianti sperimentali di ENEA, e ne gestisce le relative collaborazioni nazionali, europee e internazionali.



Capacità di progettazione del Laboratorio Ingegneria Sistemi Nucleari



Capacità di analisi del Laboratorio Ingegneria Sistemi Nucleari

- Supporta le attività SIET nella sperimentazione SMR.
- Partecipa a gruppi di lavoro e commissioni in tutti i principali organismi internazionali ed iniziative europee per la ricerca e per la sostenibilità del nucleare, quali IAEA, OECD-NEA, SNETP, ETSO, ENEN.

- Conceptualize, design and prototype components and systems, as well as research infrastructures for the verification and qualification of innovative nuclear systems, working in support and in collaboration with the national industry operating in the advanced technologies sector.
- Design and carries out the necessary associated experimental campaigns at ENEA experimental facilities and infrastructures.
- Develops calculation codes and methods, provides for their experimental validation, performs numerical simulations to support the design and interpretation of experimental results.

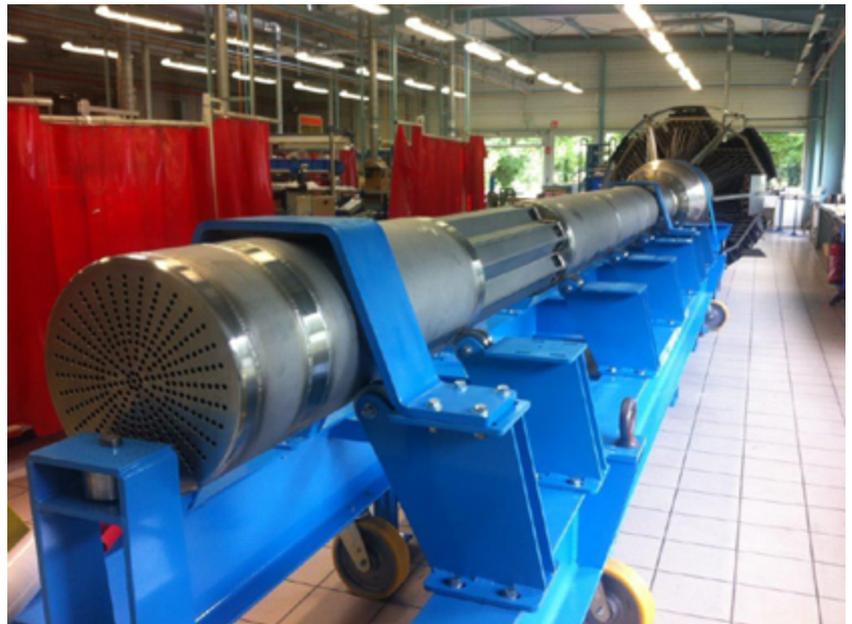


CLEAR-S experimental facility designed, constructed and commissioned by ENEA in China @ INEST (Hefei)



- CLEAR-S Pool
- LBE pool (300°C - 400°C)
- MCP @ 220 kg/s , 2,5 bar
- CS (7 FPS) @ 2,5 MW, 270 kW/m<sup>2</sup>
- Active OCS
- DWBT HX @ 100 bar
- DWBT DHR @ 3 bar
- Natural Circulation

- Concettualizza, progetta e realizza dispositivi, componenti e sistemi, nonché le infrastrutture di ricerca atte alla verifica ed alla qualifica di progetti nucleari innovativi, lavorando a supporto e in collaborazione dell'industria nazionale operante nel settore delle tecnologie avanzate.
- Progetta e realizza le necessarie campagne sperimentali associate presso le infrastrutture ed impianti sperimentali ENEA.
- Sviluppa codici e metodi di calcolo, provvede alla loro validazione sperimentale, effettua simulazioni numeriche a supporto della progettazione e interpretazione dei risultati sperimentali.



Impianto CLEAR-S realizzato da ENEA in Cina presso INEST (Hefei)



- CLEAR-S Pool
- LBE pool (300°C - 400°C)
- MCP @ 220 kg/s , 2,5 bar
- CS (7 FPS) @ 2,5 MW, 270 kW/m<sup>2</sup>
- Active OCS
- DWBT HX @ 100 bar
- DWBT DHR @ 3 bar
- Natural Circulation

## PBLI TECHNOLOGY LABORATORY – FACILITIES IELLLO AND HYPER-QUARCH II

The laboratory conducts R&D activities to support the design and development of technologies, systems, and components for PbLi circuits in fusion-based nuclear reactors. These activities are carried out thanks to the availability of two experimental facilities: IELLLO and HyPer-QuarCh II.

Potential users of the laboratory include universities, industries, and research institutions in the field of nuclear fusion.

IELLLO (Integrated European Lead Lithium Loop) is one of the largest PbLi facilities in the world and, as such, plays a versatile role within the nuclear fusion community. It is used to characterize instrumentation and components, to test the corrosion behavior of structural and functional materials in flowing PbLi, to study the drainage of a PbLi channel under the influence of a magnetic field, and to simulate accidental transients for WCLL TBS and HCLL TBS (e.g., "In-box LOCA" for HCLL TBS and heater cable malfunctions for WCLL TBS).

The IELLLO facility is one of the few operational experimental infrastructures in Europe with high-temperature circulating PbLi. Its operational parameters allow for the simulation of both operational and accidental transients in the PbLi circuit of a fusion reactor. It is also suitable for testing instrumentation and large-scale components across a wide range of operating conditions.

The facility, designed by ENEA, has been operational since 2015. It is currently equipped with a permanent magnet pump for circulating PbLi and instrumentation for measuring pressure, flow, and temperature, tailored to the needs of research.

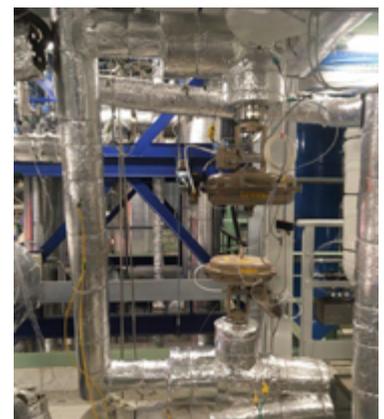
These are its main characteristics:

- Volume of PbLi: 500 liters
- PbLi temperature range: 300 – 550°C
- PbLi mass flow rate: 0–2.5 kg/s
- Max PbLi pressure: 10 bar in the low-pressure circuit; 80 bar in the THALLIUM test section
- Max length of the test section: 1900 mm
- Pipe sizes: 1" and 1"-1/2"
- Maximum power handled by the air heater: 350 kW

HyPer-QuarCh II (Hydrogen Permeation Quartz Chamber) is a laboratory scale facility that allows to measure the Sieverts' constant of hydrogen or deuterium solubilized in PbLi and to qualify hydrogen isotopes permeation sensors in both gas phase and liquid phase. HyPer-QuarCh II facility is in operation since 2022 and has been used to measure the Sieverts' constant of hydrogen and deuterium in PbLi, adopting the absorption and desorption methods.

These are its main characteristics:

- PbLi mass inventory: 2 kg
- PbLi temperature range: 300–550°C
- Hydrogen (or deuterium) partial pressure range: 1–1000 Pa
- Instrumentation: 4 vacuum pressure transducers, 3 vacuum pumps, about 10 thermocouples (1 immersed in the PbLi sample)



IELLLO facility: permanent magnetic pump at the top and, test section at the bottom



HyPer-QuarCh II facility.

## LABORATORIO TECNOLOGIE DEL PBLI – IMPIANTI IELLLO E HYPER-QUARCH II

Il laboratorio effettua attività di R&D a supporto della progettazione e dello sviluppo di tecnologie e sistemi e componenti per i circuiti a PbLi dei reattori nucleari a fusione basati. Le attività sono condotte grazie ai due impianti sperimentali: IELLLO e HyPer-QuarCh II.

Gli utenti potenziali del laboratorio sono: università, industrie e istituti di ricerca nel settore della fusione termonucleare

**IELLLO (Integrated European Lead Lithium Loop)** è uno dei più grandi impianti di PbLi al mondo e, grazie a questo, svolge un ruolo polivalente all'interno della comunità della fusione nucleare. È utilizzato per caratterizzare strumentazione e componenti, testare il comportamento alla corrosione di materiali strutturali e funzionali in PbLi fluente, studiare il drenaggio di un canale di PbLi sotto l'influenza di un campo magnetico e simulare transitori accidentali per il WCLL TBS e HCLL TBS (i.e. "In-box LOCA" per HCLL TBS, malfunzionamento dei cavi scaldanti per WCLL TBS).

L'impianto IELLLO è una delle poche infrastrutture sperimentali operative in Europa con PbLi ad alta temperatura in circolazione. I parametri operativi permettono di simulare le condizioni di funzionamento e i transitori operazioni e incidentali del circuito a PbLi di un reattore a fusione. È inoltre adatto a testare strumentazione e componenti di grandi dimensioni in un ampio range di condizioni di funzionamento.

L'impianto, progettato da ENEA, è operativo dal 2015. Attualmente è dotato di una pompa a magneti permanenti per la circolazione del PbLi e di strumentazione per la misurazione di pressione, portata e temperatura adatta agli scopi della ricerca.

Queste sono le principali caratteristiche:

- Volume di PbLi: 500 litri
- Intervallo di temperatura del PbLi: 300 - 550°C
- Portata del PbLi: 0-2,5 kg/s
- Pressione massima del PbLi: 10 bar nel circuito a bassa pressione, 80 bar nella sezione di test THALLIUM
- Lunghezza massima della sezione di test: 1900 mm
- Dimensione delle tubazioni: 1" e 1"-1/2
- Potenza massima gestita dall'aeroterme: 350 kW

HyPer-QuarCh II (Hydrogen Permeation Quartz Chamber) è un impianto su scala laboratoriale che consente di misurare la costante di Sieverts dell'idrogeno o del deuterio solubilizzato in PbLi e di qualificare i sensori di permeazione degli isotopi dell'idrogeno sia in fase gassosa che liquida.

L'impianto HyPer-QuarCh II è operativo dal 2022 ed è utilizzato per misurare la costante di Sieverts dell'idrogeno e del deuterio in PbLi, adottando i metodi di assorbimento e desorbimento.

Queste sono le sue principali caratteristiche:

- Massa di PbLi: 2 kg
- Intervallo di temperatura del PbLi: 300-550°C
- Intervallo di pressione parziale dell'idrogeno (o deuterio): 1-1000 Pa
- Strumentazione: 4 vacuometri, 3 pompe da vuoto, circa 10 termocoppie (di cui 1 immersa nel campione di PbLi)



Impianto IELLLO: pompa a magneti permanenti in alto e, in basso, sezione di prova



Impianto HyPer-QuarCh II.

## TRITIUM TECHNOLOGIES LABORATORY – TRIEX-II AND PERI-II FACILITIES

The Tritium Technologies Laboratory conducts R&D activities on tritium technologies to support the design and development of systems and components for the breeding blanket using lead-lithium eutectic alloy (PbLi). These activities are carried out using two experimental facilities: TRIEX-II and PERI-II.

**Potential Users:** universities, industries, and research institutions in the field of thermonuclear fusion.

**TRIEX-II (Tritium Extraction)** is designed and built to test prototype components for tritium extraction from PbLi and to characterize their efficiency under conditions relevant to the ITER WCLL TBS (Water Cooled Lithium Lead Test Blanket System) and the DEMO WCLL breeding blanket. The facility includes a section dedicated to hydrogen or deuterium solubilization in PbLi, a permanent magnet pump for forced circulation, and a section capable of accommodating various prototypes for characterizing hydrogen or deuterium extraction from PbLi. To monitor hydrogen concentration, three prototype sensors (HPS) developed by ENEA are installed on the facility. TRIEX-II has been used to test two tritium extraction system prototypes: the Permeator Against Vacuum (PAV), considered the reference technology for the DEMO facility, and the Gas Liquid Contactor (GLC), the reference technology for the ITER facility. The facility is primarily constructed with 1" piping in 2 ¼ Cr-1 Mo and is equipped with thermocouples, differential pressure gauges, pressure gauges, level meters, a thermal mass flow meter, and three sensors for monitoring hydrogen concentration dissolved in lead-lithium. These sensors are connected to a vacuum pumping station used to create a medium/high vacuum in the helical sensors. Finally, hydrogen or deuterium concentration analysis (necessary for determining the efficiency of the extraction system) is performed using a mass spectrometer. The test operating conditions are:

- LiPb Temperature Range: 350–500 °C (design temperature 530 °C)
- Design Pressure: 10 barg
- LiPb Mass Flow Rate: 0.2–4.5 kg/s
- Gas Stripping Flow Rate: 50–450 NI/h (GLC test section)
- Max Concentration of hydrogen/deuterium in gas stripping flow (saturator): 5% (GLC test section)
- Partial Pressure of hydrogen/deuterium in LiPb: 10–1000 Pa (PAV test section)

**PERI-II (Hydrogen Permeation)** is a gas-driven facility for studying the permeation of hydrogen isotopes through materials. It consists of three main sections: the high-pressure side, the sample holder, and the low-pressure side. First, a vacuum is created in the high-pressure section, which is then filled with hydrogen/deuterium to the desired pressure. Both gas mixtures and pure hydrogen/deuterium can be used as driving gases. In the test section, the sample disk is held between two tungsten flanges, and a hermetic seal is ensured by two gold gaskets. The sample disk, with a diameter of 50 mm, can be heated from ambient temperature up to 700 °C. On the low-pressure side, permeated hydrogen can be measured by monitoring the pressure change in the section using a high-precision pressure transducer or by reading the ionic current with a Quadrupole Mass Spectrometer (QMS).

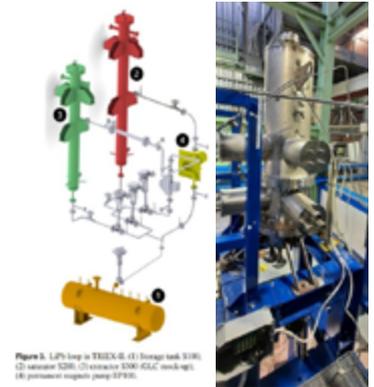


Figure 3. LPT loop in TRIEX-II: (1) Storage tank 5110; (2) separator 5200; (3) separator 5300; (4) GLC; (5) rock-heap; (6) permeator against vacuum (PAV).

TRIEX II facility: on the left, 3D CAD; on the right, PAV installed on the primary circuit



PERI II facility: on the left, PERI II facility; on the right, detail of the testing section

## LABORATORIO TECNOLOGIE DEL TRIZIO – IMPIANTI TRIEX-II E PERI-II

Il laboratorio effettua attività di R&D sulle tecnologie del trizio a supporto della progettazione e dello sviluppo di sistemi e componenti del breeding blanket operante con lega eutettica piombo litio (PbLi). Le attività sono condotte grazie ai due impianti sperimentali: TRIEX-II e PERI-II.

**Utenti potenziali:** università, industrie e istituti di ricerca nel settore della fusione termonucleare.

**TRIEX-II (Tritium Extraction)** è un impianto progettato e costruito al fine di testare componenti prototipici per l'estrazione del trizio dal PbLi e caratterizzarne l'efficienza, in condizioni operative rilevanti per il WCLL TBS di ITER e per il breeding blanket WCLL di DEMO. L'impianto presenta una sezione dedicata alla solubilizzazione di idrogeno o deuterio nel PbLi, una pompa a magneti permanenti per la circolazione forzata ed una sezione che può ospitare i diversi prototipi da caratterizzare per l'estrazione dell'idrogeno o deuterio dal PbLi. Al fine di monitorare la concentrazione di idrogeno sono installati sull'impianto tre sensori prototipici (HPS) sviluppati da ENEA. TRIEX-II è stato utilizzato per testare due prototipi di sistemi di estrazione del trizio: il Permeator Against Vacuum (PAV) considerata come la tecnologia di riferimento per l'impianto DEMO e Gas Liquid Contactor (GLC) tecnologia di riferimento per l'impianto ITER. L'impianto è realizzato essenzialmente con tubazione di 1" in 2 ¼ Cr-1 Mo ed è strumentato con termocoppie, misuratori di pressione differenziale, misuratori di pressione, misuratori di livello, un misuratore di portata di tipo "thermal mass flow meter" e tre sensori per il monitoraggio della concentrazione di idrogeno disciolto nel piombo litio. Tali sensori sono collegati con una stazione di pompaggio da vuoto, utilizzata per creare un medio/alto vuoto nei sensori elicoidali. Infine, l'analisi della concentrazione dell'idrogeno o del deuterio (necessaria per la determinazione dell'efficienza del sistema di estrazione) è effettuata con uno spettrometro di massa. Le condizioni operative di test sono:

- Intervallo di temperatura del LiPb: 350–500 °C (temperatura di progetto 530°C);
- Pressione di progetto 10 barg;
- Portata massica del LiPb: 0,2–4,5 kg/s;
- Portata di gas stripping: 50–450 NI/h (sezione di prova GLC);
- Max concentrazione di H<sub>2</sub>/D<sub>2</sub> nella portata di gas stripping (satursatore): 5% (sezione di prova GLC);
- Pressione parziale di H<sub>2</sub>/D<sub>2</sub> nel LiPb: 10–1000 Pa (sezione di prova PAV).

**PERI-II (Permeazione idrogeno)** è un impianto in regime gas-driven per lo studio della permeazione degli isotopi dell'idrogeno attraverso i materiali. È composto da tre sezioni principali: il lato ad alta pressione, il porta campioni e il lato a bassa pressione. Per prima cosa viene creato il vuoto nella sezione ad alta pressione e poi riempita con idrogeno/deuterio alla pressione desiderata. Possono essere utilizzate sia miscele di gas che idrogeno/deuterio puro come gas di spinta. Nella sezione di prova, il disco campione viene bloccato tra due flange in tungsteno e la tenuta ermetica è garantita da due guarnizioni in oro. Il disco campione, con un diametro di 50 mm, può essere riscaldato dalla temperatura ambiente fino a 700°C. Nel lato a bassa pressione, l'idrogeno permeato può essere misurato tramite l'andamento della pressurizzazione della sezione utilizzando un trasduttore di pressione ad alta precisione o leggendo la corrente ionica con uno Spettrometro di Massa a Quadrupolo (QMS).

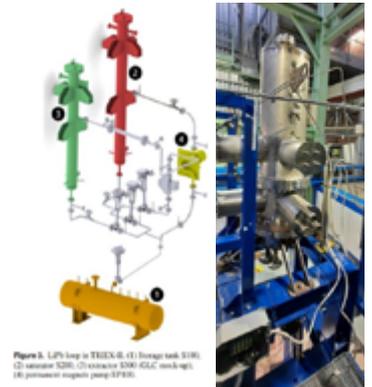


Figure 5. Left: 3D CAD model of TRIEX-II. (1) Storage tank, (2) sensor, (3) sensor, (4) sensor, (5) sensor, (6) sensor, (7) sensor, (8) sensor, (9) sensor, (10) sensor, (11) sensor, (12) sensor, (13) sensor, (14) sensor, (15) sensor, (16) sensor, (17) sensor, (18) sensor, (19) sensor, (20) sensor, (21) sensor, (22) sensor, (23) sensor, (24) sensor, (25) sensor, (26) sensor, (27) sensor, (28) sensor, (29) sensor, (30) sensor, (31) sensor, (32) sensor, (33) sensor, (34) sensor, (35) sensor, (36) sensor, (37) sensor, (38) sensor, (39) sensor, (40) sensor, (41) sensor, (42) sensor, (43) sensor, (44) sensor, (45) sensor, (46) sensor, (47) sensor, (48) sensor, (49) sensor, (50) sensor, (51) sensor, (52) sensor, (53) sensor, (54) sensor, (55) sensor, (56) sensor, (57) sensor, (58) sensor, (59) sensor, (60) sensor, (61) sensor, (62) sensor, (63) sensor, (64) sensor, (65) sensor, (66) sensor, (67) sensor, (68) sensor, (69) sensor, (70) sensor, (71) sensor, (72) sensor, (73) sensor, (74) sensor, (75) sensor, (76) sensor, (77) sensor, (78) sensor, (79) sensor, (80) sensor, (81) sensor, (82) sensor, (83) sensor, (84) sensor, (85) sensor, (86) sensor, (87) sensor, (88) sensor, (89) sensor, (90) sensor, (91) sensor, (92) sensor, (93) sensor, (94) sensor, (95) sensor, (96) sensor, (97) sensor, (98) sensor, (99) sensor, (100) sensor, (101) sensor, (102) sensor, (103) sensor, (104) sensor, (105) sensor, (106) sensor, (107) sensor, (108) sensor, (109) sensor, (110) sensor, (111) sensor, (112) sensor, (113) sensor, (114) sensor, (115) sensor, (116) sensor, (117) sensor, (118) sensor, (119) sensor, (120) sensor, (121) sensor, (122) sensor, (123) sensor, (124) sensor, (125) sensor, (126) sensor, (127) sensor, (128) sensor, (129) sensor, (130) sensor, (131) sensor, (132) sensor, (133) sensor, (134) sensor, (135) sensor, (136) sensor, (137) sensor, (138) sensor, (139) sensor, (140) sensor, (141) sensor, (142) sensor, (143) sensor, (144) sensor, (145) sensor, (146) sensor, (147) sensor, (148) sensor, (149) sensor, (150) sensor, (151) sensor, (152) sensor, (153) sensor, (154) sensor, (155) sensor, (156) sensor, (157) sensor, (158) sensor, (159) sensor, (160) sensor, (161) sensor, (162) sensor, (163) sensor, (164) sensor, (165) sensor, (166) sensor, (167) sensor, (168) sensor, (169) sensor, (170) sensor, (171) sensor, (172) sensor, (173) sensor, (174) sensor, (175) sensor, (176) sensor, (177) sensor, (178) sensor, (179) sensor, (180) sensor, (181) sensor, (182) sensor, (183) sensor, (184) sensor, (185) sensor, (186) sensor, (187) sensor, (188) sensor, (189) sensor, (190) sensor, (191) sensor, (192) sensor, (193) sensor, (194) sensor, (195) sensor, (196) sensor, (197) sensor, (198) sensor, (199) sensor, (200) sensor, (201) sensor, (202) sensor, (203) sensor, (204) sensor, (205) sensor, (206) sensor, (207) sensor, (208) sensor, (209) sensor, (210) sensor, (211) sensor, (212) sensor, (213) sensor, (214) sensor, (215) sensor, (216) sensor, (217) sensor, (218) sensor, (219) sensor, (220) sensor, (221) sensor, (222) sensor, (223) sensor, (224) sensor, (225) sensor, (226) sensor, (227) sensor, (228) sensor, (229) sensor, (230) sensor, (231) sensor, (232) sensor, (233) sensor, (234) sensor, (235) sensor, (236) sensor, (237) sensor, (238) sensor, (239) sensor, (240) sensor, (241) sensor, (242) sensor, (243) sensor, (244) sensor, (245) sensor, (246) sensor, (247) sensor, (248) sensor, (249) sensor, (250) sensor, (251) sensor, (252) sensor, (253) sensor, (254) sensor, (255) sensor, (256) sensor, (257) sensor, (258) sensor, (259) sensor, (260) sensor, (261) sensor, (262) sensor, (263) sensor, (264) sensor, (265) sensor, (266) sensor, (267) sensor, (268) sensor, (269) sensor, (270) sensor, (271) sensor, (272) sensor, (273) sensor, (274) sensor, (275) sensor, (276) sensor, (277) sensor, (278) sensor, (279) sensor, (280) sensor, (281) sensor, (282) sensor, (283) sensor, (284) sensor, (285) sensor, (286) sensor, (287) sensor, (288) sensor, (289) sensor, (290) sensor, (291) sensor, (292) sensor, (293) sensor, (294) sensor, (295) sensor, (296) sensor, (297) sensor, (298) sensor, (299) sensor, (300) sensor, (301) sensor, (302) sensor, (303) sensor, (304) sensor, (305) sensor, (306) sensor, (307) sensor, (308) sensor, (309) sensor, (310) sensor, (311) sensor, (312) sensor, (313) sensor, (314) sensor, (315) sensor, (316) sensor, (317) sensor, (318) sensor, (319) sensor, (320) sensor, (321) sensor, (322) sensor, (323) sensor, (324) sensor, (325) sensor, (326) sensor, (327) sensor, (328) sensor, (329) sensor, (330) sensor, (331) sensor, (332) sensor, (333) sensor, (334) sensor, (335) sensor, (336) sensor, (337) sensor, (338) sensor, (339) sensor, (340) sensor, (341) sensor, (342) sensor, (343) sensor, (344) sensor, (345) sensor, (346) sensor, (347) sensor, (348) sensor, (349) sensor, (350) sensor, (351) sensor, (352) sensor, (353) sensor, (354) sensor, (355) sensor, (356) sensor, (357) sensor, (358) sensor, (359) sensor, (360) sensor, (361) sensor, (362) sensor, (363) sensor, (364) sensor, (365) sensor, (366) sensor, (367) sensor, (368) sensor, (369) sensor, (370) sensor, (371) sensor, (372) sensor, (373) sensor, (374) sensor, (375) sensor, (376) sensor, (377) sensor, (378) sensor, (379) sensor, (380) sensor, (381) sensor, (382) sensor, (383) sensor, (384) sensor, (385) sensor, (386) sensor, (387) sensor, (388) sensor, (389) sensor, (390) sensor, (391) sensor, (392) sensor, (393) sensor, (394) sensor, (395) sensor, (396) sensor, (397) sensor, (398) sensor, (399) sensor, (400) sensor, (401) sensor, (402) sensor, (403) sensor, (404) sensor, (405) sensor, (406) sensor, (407) sensor, (408) sensor, (409) sensor, (410) sensor, (411) sensor, (412) sensor, (413) sensor, (414) sensor, (415) sensor, (416) sensor, (417) sensor, (418) sensor, (419) sensor, (420) sensor, (421) sensor, (422) sensor, (423) sensor, (424) sensor, (425) sensor, (426) sensor, (427) sensor, (428) sensor, (429) sensor, (430) sensor, (431) sensor, (432) sensor, (433) sensor, (434) sensor, (435) sensor, (436) sensor, (437) sensor, (438) sensor, (439) sensor, (440) sensor, (441) sensor, (442) sensor, (443) sensor, (444) sensor, (445) sensor, (446) sensor, (447) sensor, (448) sensor, (449) sensor, (450) sensor, (451) sensor, (452) sensor, (453) sensor, (454) sensor, (455) sensor, (456) sensor, (457) sensor, (458) sensor, (459) sensor, (460) sensor, (461) sensor, (462) sensor, (463) sensor, (464) sensor, (465) sensor, (466) sensor, (467) sensor, (468) sensor, (469) sensor, (470) sensor, (471) sensor, (472) sensor, (473) sensor, (474) sensor, (475) sensor, (476) sensor, (477) sensor, (478) sensor, (479) sensor, (480) sensor, (481) sensor, (482) sensor, (483) sensor, (484) sensor, (485) sensor, (486) sensor, (487) sensor, (488) sensor, (489) sensor, (490) sensor, (491) sensor, (492) sensor, (493) sensor, (494) sensor, (495) sensor, (496) sensor, (497) sensor, (498) sensor, (499) sensor, (500) sensor, (501) sensor, (502) sensor, (503) sensor, (504) sensor, (505) sensor, (506) sensor, (507) sensor, (508) sensor, (509) sensor, (510) sensor, (511) sensor, (512) sensor, (513) sensor, (514) sensor, (515) sensor, (516) sensor, (517) sensor, (518) sensor, (519) sensor, (520) sensor, (521) sensor, (522) sensor, (523) sensor, (524) sensor, (525) sensor, (526) sensor, (527) sensor, (528) sensor, (529) sensor, (530) sensor, (531) sensor, (532) sensor, (533) sensor, (534) sensor, (535) sensor, (536) sensor, (537) sensor, (538) sensor, (539) sensor, (540) sensor, (541) sensor, (542) sensor, (543) sensor, (544) sensor, (545) sensor, (546) sensor, (547) sensor, (548) sensor, (549) sensor, (550) sensor, (551) sensor, (552) sensor, (553) sensor, (554) sensor, (555) sensor, (556) sensor, (557) sensor, (558) sensor, (559) sensor, (560) sensor, (561) sensor, (562) sensor, (563) sensor, (564) sensor, (565) sensor, (566) sensor, (567) sensor, (568) sensor, (569) sensor, (570) sensor, (571) sensor, (572) sensor, (573) sensor, (574) sensor, (575) sensor, (576) sensor, (577) sensor, (578) sensor, (579) sensor, (580) sensor, (581) sensor, (582) sensor, (583) sensor, (584) sensor, (585) sensor, (586) sensor, (587) sensor, (588) sensor, (589) sensor, (590) sensor, (591) sensor, (592) sensor, (593) sensor, (594) sensor, (595) sensor, (596) sensor, (597) sensor, (598) sensor, (599) sensor, (600) sensor, (601) sensor, (602) sensor, (603) sensor, (604) sensor, (605) sensor, (606) sensor, (607) sensor, (608) sensor, (609) sensor, (610) sensor, (611) sensor, (612) sensor, (613) sensor, (614) sensor, (615) sensor, (616) sensor, (617) sensor, (618) sensor, (619) sensor, (620) sensor, (621) sensor, (622) sensor, (623) sensor, (624) sensor, (625) sensor, (626) sensor, (627) sensor, (628) sensor, (629) sensor, (630) sensor, (631) sensor, (632) sensor, (633) sensor, (634) sensor, (635) sensor, (636) sensor, (637) sensor, (638) sensor, (639) sensor, (640) sensor, (641) sensor, (642) sensor, (643) sensor, (644) sensor, (645) sensor, (646) sensor, (647) sensor, (648) sensor, (649) sensor, (650) sensor, (651) sensor, (652) sensor, (653) sensor, (654) sensor, (655) sensor, (656) sensor, (657) sensor, (658) sensor, (659) sensor, (660) sensor, (661) sensor, (662) sensor, (663) sensor, (664) sensor, (665) sensor, (666) sensor, (667) sensor, (668) sensor, (669) sensor, (670) sensor, (671) sensor, (672) sensor, (673) sensor, (674) sensor, (675) sensor, (676) sensor, (677) sensor, (678) sensor, (679) sensor, (680) sensor, (681) sensor, (682) sensor, (683) sensor, (684) sensor, (685) sensor, (686) sensor, (687) sensor, (688) sensor, (689) sensor, (690) sensor, (691) sensor, (692) sensor, (693) sensor, (694) sensor, (695) sensor, (696) sensor, (697) sensor, (698) sensor, (699) sensor, (700) sensor, (701) sensor, (702) sensor, (703) sensor, (704) sensor, (705) sensor, (706) sensor, (707) sensor, (708) sensor, (709) sensor, (710) sensor, (711) sensor, (712) sensor, (713) sensor, (714) sensor, (715) sensor, (716) sensor, (717) sensor, (718) sensor, (719) sensor, (720) sensor, (721) sensor, (722) sensor, (723) sensor, (724) sensor, (725) sensor, (726) sensor, (727) sensor, (728) sensor, (729) sensor, (730) sensor, (731) sensor, (732) sensor, (733) sensor, (734) sensor, (735) sensor, (736) sensor, (737) sensor, (738) sensor, (739) sensor, (740) sensor, (741) sensor, (742) sensor, (743) sensor, (744) sensor, (745) sensor, (746) sensor, (747) sensor, (748) sensor, (749) sensor, (750) sensor, (751) sensor, (752) sensor, (753) sensor, (754) sensor, (755) sensor, (756) sensor, (757) sensor, (758) sensor, (759) sensor, (760) sensor, (761) sensor, (762) sensor, (763) sensor, (764) sensor, (765) sensor, (766) sensor, (767) sensor, (768) sensor, (769) sensor, (770) sensor, (771) sensor, (772) sensor, (773) sensor, (774) sensor, (775) sensor, (776) sensor, (777) sensor, (778) sensor, (779) sensor, (780) sensor, (781) sensor, (782) sensor, (783) sensor, (784) sensor, (785) sensor, (786) sensor, (787) sensor, (788) sensor, (789) sensor, (790) sensor, (791) sensor, (792) sensor, (793) sensor, (794) sensor, (795) sensor, (796) sensor, (797) sensor, (798) sensor, (799) sensor, (800) sensor, (801) sensor, (802) sensor, (803) sensor, (804) sensor, (805) sensor, (806) sensor, (807) sensor, (808) sensor, (809) sensor, (810) sensor, (811) sensor, (812) sensor, (813) sensor, (814) sensor, (815) sensor, (816) sensor, (817) sensor, (818) sensor, (819) sensor, (820) sensor, (821) sensor, (822) sensor, (823) sensor, (824) sensor, (825) sensor, (826) sensor, (827) sensor, (828) sensor, (829) sensor, (830) sensor, (831) sensor, (832) sensor, (833) sensor, (834) sensor, (835) sensor, (836) sensor, (837) sensor, (838) sensor, (839) sensor, (840) sensor, (841) sensor, (842) sensor, (843) sensor, (844) sensor, (845) sensor, (846) sensor, (847) sensor, (848) sensor, (849) sensor, (850) sensor, (851) sensor, (852) sensor, (853) sensor, (854) sensor, (855) sensor, (856) sensor, (857) sensor, (858) sensor, (859) sensor, (860) sensor, (861) sensor, (862) sensor, (863) sensor, (864) sensor, (865) sensor, (866) sensor, (867) sensor, (868) sensor, (869) sensor, (870) sensor, (871) sensor, (872) sensor, (873) sensor, (874) sensor, (875) sensor, (876) sensor, (877) sensor, (878) sensor, (879) sensor, (880) sensor, (881) sensor, (882) sensor, (883) sensor, (884) sensor, (885) sensor, (886) sensor, (887) sensor, (888) sensor, (889) sensor, (890) sensor, (891) sensor, (892) sensor, (893) sensor, (894) sensor, (895) sensor, (896) sensor, (897) sensor, (898) sensor, (899) sensor, (900) sensor, (901) sensor, (902) sensor, (903) sensor, (904) sensor, (905) sensor, (906) sensor, (907) sensor, (908) sensor, (909) sensor, (910) sensor, (911) sensor, (912) sensor, (913) sensor, (914) sensor, (915) sensor, (916) sensor, (917) sensor, (918) sensor, (919) sensor, (920) sensor, (921) sensor, (922) sensor, (923) sensor, (924) sensor, (925) sensor, (926) sensor, (927) sensor, (928) sensor, (929) sensor, (930) sensor, (931) sensor, (932) sensor, (933) sensor, (934) sensor, (935) sensor, (936) sensor, (937) sensor, (938) sensor, (939) sensor, (940) sensor, (941) sensor, (942) sensor, (943) sensor, (944) sensor, (945) sensor, (946) sensor, (947) sensor, (948) sensor, (949) sensor, (950) sensor, (951) sensor, (952) sensor, (953) sensor, (954) sensor, (955) sensor, (956) sensor, (957) sensor, (958) sensor, (959) sensor, (960) sensor, (961) sensor, (962) sensor, (963) sensor, (964) sensor, (965) sensor, (966) sensor, (967) sensor, (968) sensor, (969) sensor, (970) sensor, (971) sensor, (972) sensor, (973) sensor, (974) sensor, (975) sensor, (976) sensor, (977) sensor, (978) sensor, (979) sensor, (980) sensor, (981) sensor, (982) sensor, (983) sensor, (984) sensor, (985) sensor, (986) sensor, (987) sensor, (988) sensor, (989) sensor, (990) sensor, (991) sensor, (992) sensor, (993) sensor, (994) sensor, (995) sensor, (996) sensor, (997) sensor, (998) sensor, (999) sensor, (1000) sensor.

Impianto TRIEX II: sulla sinistra, 3D CAD; sulla destra, PAV installato sul circuito primario.



Impianto PERI II: in alto, impianto PERI II, in basso, particolare della sezione di testing.

## SIET - LABORATORY FOR THERMO-HYDRAULIC AND MECHANICAL QUALIFICATION OF NUCLEAR POWER PLANT COMPONENTS AND SYSTEMS

SIET S.p.A., jointly owned by ENEA, ENEL Innovation Hubs, Tectubi-Raccordi, Politecnico di Milano, MARE Engineering Group and Ansaldo Energia, is one of the few Italian and European companies with large experimental facilities capable of fully simulating the thermo-fluid-dynamic behaviour of LWR components and systems. SIET carries out tests for the safety of nuclear power plants under real operating conditions.

Potential users: Regulators and safety authorities (for licensing procedures), international designers and vendors of nuclear power plants and small modular reactors, industry (R&D and qualification of products for the Italian and foreign markets).

SIET was established in the 1980s to carry out safety tests on nuclear power plants to be installed in Italy. In the following years, SIET operated its facilities for experimental campaigns ordered by foreign customers from the United States, Japan, South Korea, etc. SIET also participated, in collaboration with ENEA, in several European research projects in the field of nuclear fission. SIET was also part of the IRIS consortium that developed the IRIS reactor, with the task of designing and building an integral test facility, funded under a National Programme Agreement between ENEA and the Italian Ministry of Economic Development. In the last decade, SIET has carried out the thermo-hydraulic and mechanical characterisation of the helical coil steam generator of the US NuScale Power Small Modular Reactor.

For nuclear testing, SIET operates under a quality assurance system in accordance with ASME NQA-1.

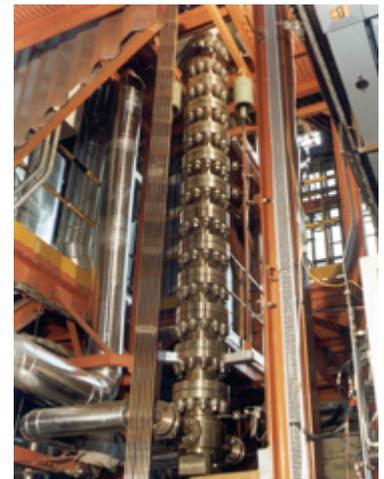
In terms of fluid/energy capabilities, SIET is at the forefront of the international community: most tests are performed with fluids at the operating conditions of the reference reactor. It also has a team of experienced specialists in experimental thermo-fluid dynamics, test facility engineering, metrology and computer code calculation.

The SIET experimental facilities can provide many types of testing services:

- performance of transients on PWR integral simulators;
- thermo-mechanical tests on decay heat removal systems of LWR reactors;
- thermo-fluid dynamic tests on nuclear plant components: rod clusters, steam generators, heat exchangers, steam-water separators, steam jet pumps, etc.;
- various types of tests on control/safety/shutdown valves: flow coefficient measurements, cavitation parameter measurements, functional tests of open/close cycles and thermal shocks;
- determination of the characteristics of centrifugal and volumetric pumps;
- thermomechanical tests on pipes and fittings: high temperature pressurisation with structural measurements, water burst tests.
- noise and Flow Induced Vibrations (FIV) tests for modal frequencies and vibration modes identification of steam generator tubes at nominal and above nominal operating flow rates.



Thermo-mechanical tests on decay heat removal systems of LWR reactors (GE SBWR reactor, PCC: 10 MW, 175 m<sup>3</sup>)



Dry-out tests on a rod cluster of a BWR reactor (10 MW; 70 bar)



Helical coil steam generator mock-ups for heat transfer and FIV tests (NuScale Power SMR)

## SIET - LABORATORIO PER LA QUALIFICA TERMOIDRAULICA E MECCANICA DI COMPONENTI E SISTEMI DI CENTRALI NUCLEARI

SIET S.p.A., partecipata congiuntamente da ENEA, ENEL Innovation Hubs, Tectubi-Raccordi, Politecnico di Milano, MARE Engineering Group e Ansaldo Energia, è una delle poche aziende italiane ed europee con grandi strutture sperimentali in grado di simulare completamente il comportamento termo-fluidodinamico di componenti e sistemi di reattori ad acqua leggera (LWR). SIET esegue test per la sicurezza delle centrali nucleari in condizioni operative reali.

Potenziali utenti: Enti regolatori e autorità di sicurezza (per le procedure di autorizzazione), progettisti e costruttori internazionali di centrali nucleari e reattori modulari di piccola taglia (SMR), industria italiana (R&S e qualifica di prodotti per il mercato italiano ed estero).

SIET fu fondata negli anni '80 del secolo scorso per effettuare test di sicurezza sulle centrali nucleari da installare in Italia. Negli anni successivi, SIET ha gestito le proprie strutture per campagne sperimentali commissionate da clienti stranieri provenienti da Stati Uniti, Giappone, Corea del Sud, ecc. SIET ha inoltre partecipato, in collaborazione con l'ENEA, a diversi progetti di ricerca europei nel campo della fissione nucleare. SIET ha inoltre fatto parte del consorzio internazionale IRIS per lo sviluppo del reattore IRIS, con il compito di progettare e costruire un impianto di prova integrale, finanziato nell'ambito di un Accordo di Programma Nazionale tra l'ENEA ed il Ministero dello Sviluppo Economico. Nell'ultimo decennio, SIET ha effettuato la caratterizzazione termoidraulica e meccanica del generatore di vapore a tubi elicoidali del reattore SMR di NuScale Power (USA).

Per le prove nucleari, SIET opera in base a un sistema di garanzia della qualità conforme alla norma ASME NQA-1.

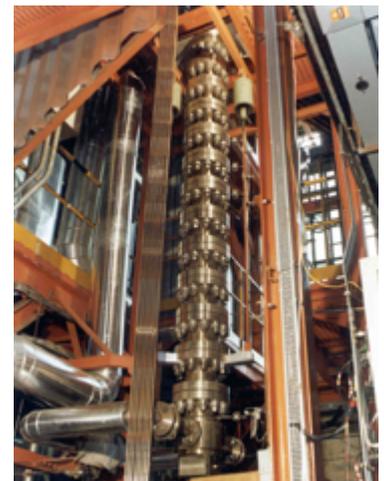
In termini di capacità fluido/energia, SIET è all'avanguardia nella comunità internazionale: la maggior parte dei test viene eseguita con fluidi alle condizioni operative del reattore di riferimento. Dispone inoltre di un team di specialisti esperti in termofluidodinamica sperimentale, ingegneria degli impianti di prova, metrologia e codici di calcolo.

Le strutture sperimentali di SIET possono fornire molti tipi di servizi di test:

- esecuzione di transitori incidentali su simulatori integrali di PWR;
- prove termo-meccaniche sui sistemi di rimozione del calore di decadimento dei reattori LWR;
- prove termo-fluidodinamiche su componenti di impianti nucleari: fasci di barre, generatori di vapore, scambiatori di calore, separatori acqua-vapore, pompe a getto, ecc.;
- vari tipi di prove su valvole di controllo/sicurezza/isolamento: misure del coefficiente di efflusso, misure dei parametri di cavitazione, prove funzionali di cicli di apertura/chiusura e shock termici;
- determinazione delle caratteristiche delle pompe centrifughe e volumetriche;
- prove termomeccaniche su tubi e raccordi: pressurizzazione ad alta temperatura con misure strutturali, prove di scoppio in acqua.
- prove di rumore e vibrazioni indotte dal fluido (FIV) per l'identificazione delle frequenze modali e dei modi di vibrazione dei tubi dei generatori di vapore a portate di esercizio nominali e oltre quelle nominali.



Prove termo-meccaniche sui sistemi di rimozione del calore di decadimento dei reattori LWR (reattore GE SBWR-PCC: 10 MW, 175 m<sup>3</sup>)



Prove di dry-out su un fascio di barre di un reattore BWR (10 MW; 70 bar)



Prove di scambio termico e FIV su simulatori di generatori di vapore a tubi elicoidali (NuScale Power SMR)

## SIET - SPES FACILITY FOR SAFETY INTEGRAL TESTS ON PWR PLANTS

The SIET SPES (Simulatore Pressurizzato per Esperienze di Sicurezza - Pressurised Simulator for Safety Tests) plant includes experimental facilities that simulate, with significant scaling factor and under full operating conditions, the main circuits and systems of a PWR (155 bar, 330 °C primary side). Tests typically reproduce reference reactor accidental transients, such as Loss of Coolant Accidents (LOCA), Steam Generator Tube Rupture (SGTR), etc.. SPES can also be used for both internal training of utility technical personnel and for university and post-graduate training.

Potential users: Regulatory and safety authorities (for licensing procedures), international designers and suppliers of nuclear power plants and small modular reactors, industry (R&D and qualification of products for the Italian and foreign markets), universities for graduate and post-graduate training.

SPES tests make it possible to predict reactor behavior in critical situations and to develop and validate computer codes for reactor safety to support designers and safety authorities in the licensing process.

The plant includes two facilities, SPES-2 and SPES-3, sharing infrastructures and auxiliary systems.

- SPES-2 is a full-height system, scaled 1:400 for volume and power. SPES-2 simulates the primary circuit, the secondary systems up to the main isolation valves and all the safety systems of the Westinghouse AP-600 reactor. In the 1990s, SIET conducted an extensive experimental programme on SPES-2 for the AP-600 certification, which led to the US NRC licensing.
- In the 2000s, SIET designed and partially built the SPES-3 facility for the complete simulation of the primary, secondary and containment systems of the Generation III+ integral type pressurised water reactor IRIS (International Reactor Innovative and Secure), developed by an international consortium led by Westinghouse. SPES-3 is a full-height facility, scaled 1:100 in volume, which reproduces the integral reactor pressure vessel with helical coil steam generators, the safety systems and the containment, with the main objective of studying the primary to containment interaction and for code development and validation. The power is 6.5 MW. The programme was suspended shortly after the Fukushima accident in Japan. Studies are currently underway to upgrade SPES-3 and make it the European reference integral test facility to provide "open" data for code assessment and validation.



SPES-2 experimental facility: view of passive safety systems (total height 30 m)



SPES-2 experimental facility: upper head of the power channel (power: 5 MW, n. 97 heated rods)



SPES-3 experimental facility: view of containment compartment tanks (total height 30 m)

## SIET – IMPIANTO INTEGRALE SPES PER ESPERIENZE DI SICUREZZA SU REATTORI PWR

L'impianto SPES (Simulatore Pressurizzato per Esperienze di Sicurezza) comprende strutture sperimentali che simulano, con un significativo fattore di scala e in condizioni di pieno funzionamento, i principali circuiti e sistemi di un PWR (155 bar, 330 °C lato primario). I test riproducono tipicamente i transitori incidentali del reattore di riferimento, come gli incidenti di perdita del refrigerante (LOCA), la rottura di un tubo del generatore di vapore (SGTR), ecc. Lo SPES può essere utilizzato anche per la formazione interna del personale tecnico da parte delle utility e per la formazione universitaria e post-universitaria.

Potenziali utenti: Autorità di controllo e sicurezza (per le procedure di autorizzazione), progettisti e fornitori internazionali di centrali nucleari e piccoli reattori modulari (SMR), industria (R&S e qualificazione di prodotti per il mercato italiano ed estero), utility e università per training.

I test SPES consentono di prevedere il comportamento del reattore in situazioni critiche e di sviluppare e convalidare codici di calcolo per la sicurezza dei reattori, a supporto dei progettisti e delle autorità di sicurezza nel processo di autorizzazione.

L'impianto comprende due strutture, SPES-2 e SPES-3, che condividono infrastrutture e sistemi ausiliari.

- SPES-2 è un sistema a piena altezza, in scala 1:400 per volume e potenza. SPES-2 simula il circuito primario, i sistemi secondari fino alle valvole di isolamento e tutti i sistemi di sicurezza del reattore Westinghouse AP-600. Negli anni '90, SIET ha condotto un ampio programma sperimentale su SPES-2 per la certificazione dell'AP-600, che ha portato all'ottenimento della licenza da parte della US-NRC.
- Negli anni 2000, SIET ha progettato e parzialmente costruito l'impianto SPES-3 per la simulazione completa dei sistemi primario, secondario e di contenimento del reattore ad acqua pressurizzata di Generazione III+, di tipo integrale, IRIS (International Reactor Innovative and Secure), sviluppato da un consorzio internazionale guidato da Westinghouse. SPES-3 è un impianto a piena altezza, in scala 1:100 per volume e potenza, che riproduce il vessel reattore integrale del reattore con inclusi i generatori di vapore a tubi elicoidali, i sistemi di sicurezza e il contenimento, con l'obiettivo principale di studiare l'interazione primario-contenimento e per lo sviluppo e la validazione dei codici di calcolo. La potenza è di 6,5 MW. Il programma è stato sospeso poco dopo l'incidente di Fukushima in Giappone. Attualmente sono in corso studi per potenziare SPES-3 e renderlo l'impianto di prova integrale di riferimento europeo per fornire dati "aperti" per lo studio di transitori incidentali e lo sviluppo e validazione dei codici.



SPES-2 facility: vista dei sistemi di sicurezza passiva (altezza totale 30 m)



SPES-2 facility: upper head del canale di potenza (potenza: 5 MW, n. 97 barrette scaldanti)



SPES-3 facility: vista dei compartimenti del contenimento (altezza totale 30 m)

---

2 - SUPPORT TO NUCLEAR  
QUALIFICATIONS

2 - ATTIVITA' A SUPPORTO DELLE  
QUALIFICHE NUCLEARI



## NUCLEAR RESEARCH REACTOR RSV TAPIRO

The TAPIRO (TAratura Pila Rapida a potenza 0/Fast pile calibration at 0 power) research nuclear reactor is a source of fast neutrons. It can provide a wide range of neutron flux levels and spectra and can therefore be used in many sectors, for example: validation of core calculation codes used in the design of Generation IV reactors; study of damage due to fast neutrons; evaluation of damage induced by neutrons on components exposed to neutron fields; qualification of innovative detection chains; teaching support in Nuclear Engineering courses.

**Potential users: universities and research institutions in the nuclear and medical sectors, and industries producing components in the nuclear and aerospace sectors.**

The reactor project was carried out by ENEA and is based, as a general concept, on the AFSR (Argonne Fast Source Reactor).

The TAPIRO can provide neutron fluxes with extremely variable energy spectra starting from that close to the fission spectrum available at the center of the core. This feature, together with the good spherical symmetry of the spatial distribution of the flux, makes the TAPIRO suitable for significant metrological applications.

The reactor reached its first criticality in 1971 and is used in numerous research sectors:

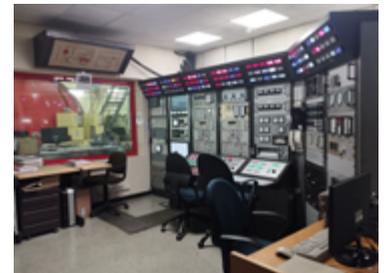
- in the design and construction of experimental devices and systems;
- in experiments for the production of nuclear data;
- in the validation of calculation codes for IV generation reactors;
- in experimental activities for Nuclear Medicine;
- as teaching support in Universities and post-University courses.

These are its main characteristics:

- Maximum power: 5 kW
- Max neutron flux:  $4 \cdot 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>/s @ 5 kW
- Copper reflector
- Cooling by He
- Irradiation facilities:
  - 2 horizontal radial channels
  - 2 vertical channels
  - 1 diametrical channel
  - 1 tangential channel
  - 1 thermal column (max volume: 1.6 m<sup>3</sup>).



Reactor hall



Control room

## REATTORE NUCLEARE DI RICERCA RSV TAPIRO

Il reattore nucleare di ricerca TAPIRO (TAratura PIlta Rapida a potenza 0) è una sorgente di neutroni veloci. Può fornire una vasta gamma di flussi e spettri neutronici e può, pertanto, essere utilizzato in molti settori, per esempio: la validazione dei codici di calcolo di nocciolo impiegati nella progettazione dei reattori di IV Generazione; lo studio del danneggiamento dovuto a neutroni veloci; la valutazione del danno indotto da neutroni su componentistica esposta a campi neutronici; la qualificazione di catene di rivelazione innovative; il supporto alla didattica nei corsi di Ingegneria Nucleare.

**Potenziali utenti: università ed enti di ricerca del settore nucleare e medico, industrie coinvolte nella realizzazione di componenti nel settore nucleare e aerospaziale.**

Il progetto del reattore è stato realizzato dall'ENEA ed è basato, come concezione generale, sull'AFSR (Argonne Fast Source Reactor).

Il TAPIRO è in grado di fornire flussi neutronici con spettri energetici estremamente variabili a partire da quello prossimo allo spettro di fissione disponibile al centro del nocciolo. Tale caratteristica, unitamente alla buona simmetria sferica della distribuzione spaziale del flusso, rende il TAPIRO adatto a notevoli applicazioni metrologiche.

Il reattore ha raggiunto la sua prima criticità nel 1971 ed è utilizzato in numerosi settori della ricerca:

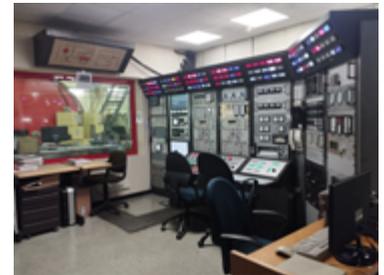
- nella progettazione e realizzazione di dispositivi e sistemi sperimentali;
- nella sperimentazione per la produzione di dati nucleari;
- nella validazione di codici di calcolo per reattori di IV generazione;
- nelle attività sperimentali per la Medicina Nucleare;
- come supporto didattico nei corsi Universitari e post-Universitari.

Queste le sue caratteristiche principali:

- Potenza massima: 5 kW
- Flusso neutronico max:  $4 \cdot 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>/s @ 5 kW
- Riflettore in rame
- Raffreddamento mediante He
- Facilities di irraggiamento:
- 2 canali radiali orizzontali
- 2 canali verticali
- 1 canale diametrale
- 1 canale tangenziale
- 1 colonna termica (volume max: 1.6 m<sup>3</sup>).



Sala reattore



Sala controllo

## NUCLEAR RESEARCH REACTOR: TRIGA RC-1

The TRIGA RC-1 (Training Radio Isotope General Atomic Reactor Casaccia 1) is a thermal neutron source that can be used for: irradiation aimed at identifying the structural characteristics of components of different types and materials; neutron irradiation of materials for isotopic composition investigations; production of radiosotopes and radiopharmaceuticals; testing and validation of neutron detectors; checks and validations on instrumentation and components for industry and research and support for the teaching of technical-scientific university courses.

**Potential users:** industries, universities and research institutions in the nuclear and medical sectors, manufacturers of nuclear reactors and components.

TRIGA RC1 is a pool reactor that uses thermal neutrons with the core composed of fuel elements made with the ternary alloy H-Zr-U with low enrichment in  $^{235}\text{U}$ , placed inside a cylindrical graphite reflector, on the bottom of an aluminium container. This container is filled with demineralized water ( $\text{H}_2\text{O}$  head ~7m) which performs the functions of moderator, refrigerant medium and biological shield. An additional concrete containment, with an average thickness of 2.2 m, creates the external biological screen of the reactor.

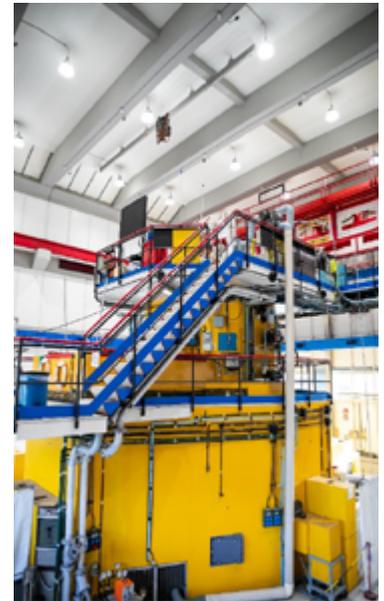
Heat removal is carried out by natural convective circulation of water, which is kept at a constant temperature through a primary cooling circuit equipped with two heat exchangers and a secondary circuit that sends to two external refrigeration towers.

Built in 1960 in the 100 kW version as part of the USA Atom for Peace initiative, brought to a power of 1 MW in 1969 on an ENEA project, it provides users with various irradiation capacities and analysis techniques and is a facility for:

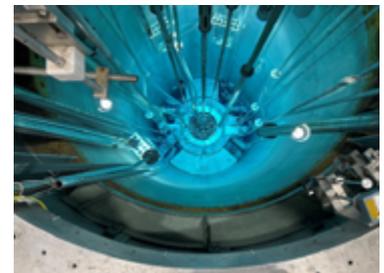
- the training of Italian skills in neutron physics and nuclear engineering
- Experimental investigations of isotopic and elemental characteristics of radioactive isotopes irradiated in reactors by means of NAA (Neutron Activation Analysis) techniques.
- Investigations on aerospace electronic components subjected to high neutron fluence. In this context, the facility is accredited by ASI as part of the ASIF project which involves INFN, ASI and ESA as well as ENEA
- Use of neutron beams available through various positions and irradiation channels for non-destructive investigations on components of various kind
- Test and validation of neutron detectors and nuclear electronics components
- The production of radioactive isotopes by irradiation in neutron fluxes and their use in industrial, metallurgical, manufacturing, environmental and medical fields.

These are its main characteristics:

- Maximum power: 1 MW
- Max neutron flux:  $2.7 \cdot 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  @ 1 MW in the central thimble
- Water cooling in natural circulation
- Irradiation facilities
- 1 central channel
- 40 stations in a rotating rack
- 1 thermal column
- 1 pneumatic irradiation channel (rabbit)
- 5 horizontal neutron extraction channels.



Overview of the reactor block with biological shield



View of the TRIGA RC1 reactor pool



View of the TOP of the TRIGA RC1 reactor

## REATTORE NUCLEARE DI RICERCA TRIGA RC-1

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: irraggiamenti finalizzati all'individuazione delle caratteristiche strutturali di componenti di diversa tipologia e materiali; irraggiamento neutronico di materiali per indagini sulla composizione isotopica; produzione di radiosotopi e radiofarmaci; test e validazione di rivelatori per neutroni; verifiche e validazioni su strumentazione e componenti per l'industria e la ricerca e supporto alla didattica dei corsi Universitari tecnico-scientifici.

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

TRIGA RC1 è un reattore a piscina che utilizza neutroni termici con il nocciolo composto da elementi di combustibile realizzati con la lega ternaria H-Zr-U a basso arricchimento in  $^{235}\text{U}$ , sistemato all'interno di un riflettore cilindrico di grafite, sul fondo di un contenitore di alluminio. Tale contenitore è riempito di acqua demineralizzata (battente  $\text{H}_2\text{O}$  ~7m) che esplica funzioni di moderatore, di mezzo refrigerante e di schermo biologico. Un ulteriore contenimento in calcestruzzo, avente uno spessore medio di 2.2 m, realizza lo schermo biologico esterno del reattore.

L'asportazione del calore viene effettuata per circolazione naturale convettiva dell'acqua che viene mantenuta a temperatura costante tramite un circuito di raffreddamento primario dotato di due scambiatori di calore e un circuito secondario che manda a due torri esterne di refrigerazione.

Realizzato nel 1960 nella versione a 100 kW nell'ambito dell'iniziativa USA Atom for Peace, portato nel 1969 alla potenza di 1 MW su progetto ENEA, mette a disposizione degli utenti diverse capacità di irraggiamento e di tecniche di analisi e si pone come facility per :

- la formazione delle competenze italiane di fisica dei neutroni e di ingegneria nucleare
- indagini sperimentali delle caratteristiche isotopiche ed elementari di isotopi radioattivi irraggiati nei reattori mediante tecniche NAA (Neutron Activation Analysis).
- indagini su componenti elettronici per il settore aerospaziale sottoposti ad alta fluenza neutronica. In tale ambito la facility è accreditata da ASI nell'ambito del progetto ASIF che vede coinvolti INFN, ASI ed ESA oltre ENEA
- L' utilizzo dei fasci neutronici disponibili tramite varie posizioni e canali di irraggiamento per indagini non distruttive su componenti di varia natura
- test e validazione di rivelatori per neutroni e di elettronica nucleare
- la produzione di isotopi radioattivi mediante irraggiamenti in flussi neutronici e loro utilizzo in ambito industriale, metallurgico, manifatturiero, ambientale e medicale.

Queste le sue caratteristiche principali:

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



Vista d'insieme del blocco reattore con lo schermo biologico



Vista del pozzo del reattore TRIGA RC1



Vista del TOP del reattore TRIGA RC1

## C-43 LABORATORY FOR THE RADIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF RADIOACTIVE MATERIALS

The Laboratory carries out the radiological characterization of nuclear and radioactive materials using non-destructive and destructive analysis techniques, in the laboratory and at the client's premises.

**Potential users:** operators in the nuclear fuel cycle sector (Sogin, ENEL, Ansaldo etc.), Control Authorities, Public Administration, Research Institutions, G8-NPEG Group for the prevention and fight against illicit trafficking of nuclear material.

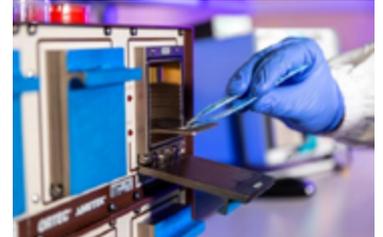
The Laboratory carries out radiological characterization activities, performed using destructive and non-destructive techniques on samples of various types, aimed at determining the presence and quantity of radionuclides in terms of mass and radiological activity, both at the Radiochemistry Laboratory located in the ENEA Casaccia Research Center, and at the client's premises, thanks to its Mobile Laboratory and the provision of portable and transportable detectors.

Non-destructive techniques allow the characterization of the material as is, without particular preliminary manipulations, offering a sensitivity generally lower than destructive techniques, but greater velocity of execution.

Destructive techniques consist of analyses of samples carried out in the laboratory after destroying the sample with physical-chemical methods. These measurement techniques offer greater sensitivity than non-destructive techniques, but require a greater amount of time and require that the analysed samples are sufficiently representative of all the material that needs to be investigated.

The skills acquired in the sector also allow us to offer consultancy and calculation skills applied to complex problems, such as assessments relating to radioactive waste storage sites aimed at protecting workers and the population.

The Laboratory is a permanent member of the European Network of Testing facilities for the quality checking of Radioactive waste Packages ([www.en-trap.eu](http://www.en-trap.eu)), a network of laboratories established by the EU as a technical-scientific reference for national safety authorities interested in the characterization of radioactive waste.



Alpha spectrometry to quantify the presence of alpha emitters



Liquid Scintillation Counting to quantify the presence of beta emitters



Low-background gamma spectrometry to quantify the presence of gamma emitters



Tomographic Gamma Scanner - experimental gamma tomographic system for conditioned radioactive waste



In situ gamma spectrometry for detection and quantification of gamma emitters at the client's premises

## LABORATORIO DI RADIOCHIMICA C-43 PER LA CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA DI MATERIALI RADIOATTIVI

Il Laboratorio effettua la caratterizzazione radiologica di materiali nucleari e radioattivi mediante tecniche di analisi non distruttive e distruttive, in laboratorio e presso il committente.

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

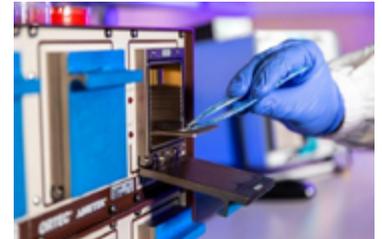
Il Laboratorio svolge attività di caratterizzazione radiologica, eseguite tramite tecniche distruttive e tecniche non distruttive su campioni di varia natura, volte a determinare la presenza e la quantità di radionuclidi in termini di massa e di attività radiologica, sia presso il Laboratorio di Radiochimica situato nel Centro Ricerche ENEA Casaccia, sia presso il committente stesso, grazie al proprio Laboratorio Mobile e alla dotazione di rivelatori portatili e trasportabili.

Le tecniche non distruttive consentono la caratterizzazione del materiale tal quale, senza particolari manipolazioni preliminari, offrendo una sensibilità generalmente inferiore alle tecniche distruttive, ma una maggiore velocità di esecuzione.

Le tecniche distruttive consistono in analisi di campioni effettuate in laboratorio previa distruzione del campione con metodi fisico-chimici. Tali tecniche di misura offrono una sensibilità superiore rispetto alle tecniche non distruttive, ma necessitano di una maggiore quantità di tempo e richiedono che i campioni analizzati siano sufficientemente rappresentativi di tutto il materiale che si necessita indagare.

Le competenze acquisite nel settore consentono di offrire anche capacità di consulenza e calcolo applicate a problemi complessi, come le valutazioni inerenti ai siti di deposito di rifiuti radioattivi finalizzate alla protezione dei lavoratori e della popolazione.

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



Spettrometria alfa per quantificare la presenza di alfa emettitori



Scintillazione liquida per quantificare la presenza di beta emettitori



Spettrometria gamma a basso fondo per quantificare la presenza di gamma emettitori



Tomographic Gamma Scanner – sistema sperimentale per tomografia gamma di rifiuti radioattivi condizionati



Spettrometria gamma per rivelare e quantificare in situ la presenza di gamma emettitori

## FNG FACILITY, 14-MEV NEUTRON GENERATOR

The FNG (Frascati Neutron Generator) 14-MeV neutron generator is primarily used to validate the nuclear data at the neutron energy of next-generation ITER plants for thermonuclear controlled fusion. The FNG facility is also used for neutron detectors qualification, radiation damage resistance tests of nuclear and Aerospaziale electronic and studies on new neutron detectors.

**Potential users: Research institutes, Universities, Aerospace and Nuclear Companies**

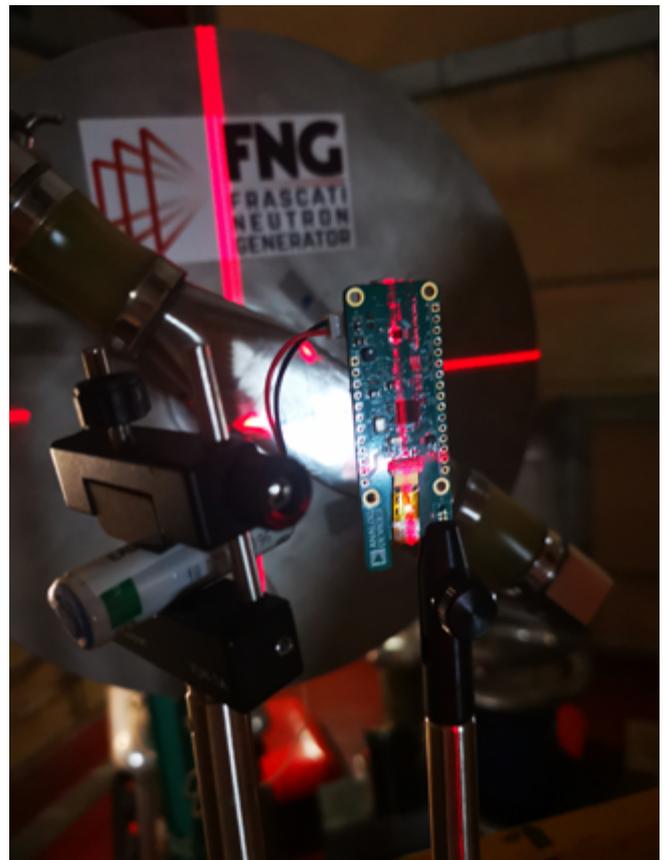
The FNG facility can provide accurately-measured fast neutron fluxes up to  $5 \times 10^9$  neutrons  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ . It is based on the  $T(d,n)\alpha$  fusion reaction and produces up to  $1 \times 10^{11}$  n/s in continuous or pulsed mode. It also produces 2.5 MeV neutrons by using targets deuterated with the  $D(d,n)^3\text{He}$  fusion reaction.

The FNG was designed and built by ENEA Frascati laboratories to perform experiments in neutron research in the framework of the European controlled thermonuclear fusion programs.

The design of the breeding blanket and neutron shield of fusion reactors needs an experimental verification of the cross sections used for nuclear calculations and the validation of calculation methods used for the neutron transport. To do so, a special experimental activity is required, namely "benchmark experiments".



A block of silicon carbide in the irradiation position



Preparing of an irradiation of some samples to be activated with neutrons produced by FNG

## IMPIANTO FNG, GENERATORE DI NEUTRONI DA 14 MEV

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 di rivelatori nucleari, test di resistenza ai danni da radiazioni di elettronica per applicazioni nucleari ed aerospaziali e studi su nuovi rivelatori di neutroni.

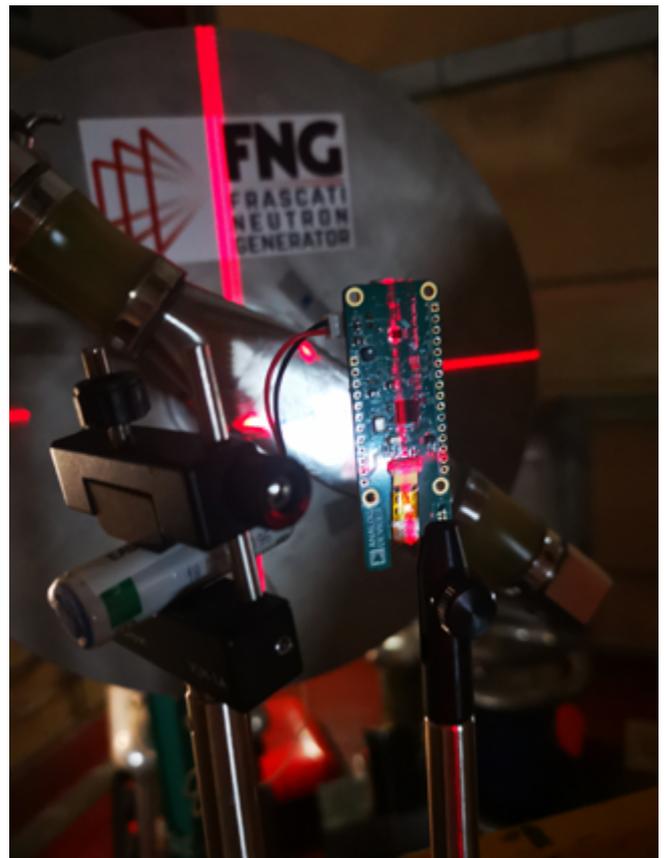
**Potenziali utenti: istituti di ricerca, università, aziende aerospaziali e nucleari**

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 Carbuuro di Silicio in posizione per l'irraggiamento



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

## VAPORE PLANT FOR THERMOMECHANICAL AND FLUID-DYNAMIC TESTS ON COMPONENTS AND SYSTEMS

The VAPORE experimental facility is designed to perform thermomechanical and fluid-dynamic tests on components and systems to be installed in nuclear and conventional power plants. VAPORE provides important support to industries operating in the framework of power plant engineering and mechanical and structural components of power generating plants. The facility provides access to market opportunities closely depending on the supply of innovative components and systems, to be qualified in representative operating conditions, in compliance with a QA program. **Potential users: industries interested in power plant engineering and mechanical and structural components to be installed in the main loops of power plants.**

The VAPORE plant, designed by ENEA, was built in 1986 and upgraded in 1992. The main component is a PWR pressurizer operating both as a steam generator and accumulator of saturated steam and water. By means of piping and control valves it is possible to feed – with regulated flow rates of steam or water – typical components and systems of the primary and secondary nuclear and conventional power plants, thus generating realistic process stresses and the environmental conditions needed to qualify the performance of the components or systems being tested.

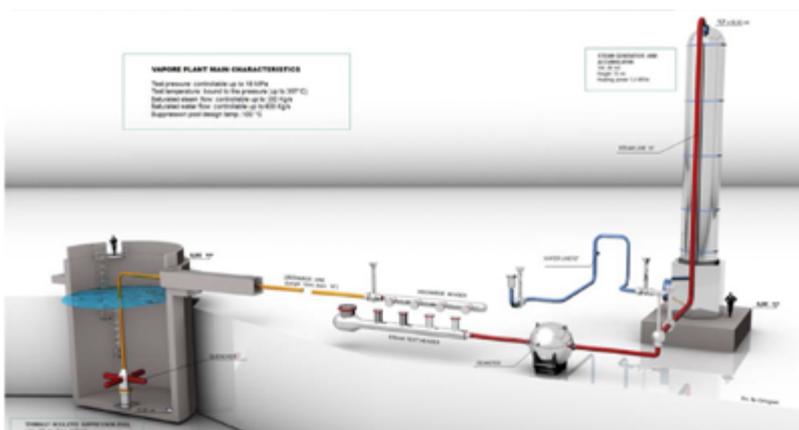
The operative flexibility and some aspects of the VAPORE plant configuration – that are unusual within similar test facilities (e.g., the large 400 m<sup>3</sup> suppression pool thermally insulated to contain heated water up to 100 °C) allow to perform tests and/or fulfill requirements in a wide range of performances and for a large variety of test sections.

Some activities and experimental campaigns performed on VAPORE are:

- tests on the discharge system (quencher and piping) of a General Electric BWR reactor;
- tests to qualify, under QA, the safety-relief valves (manufactured by Nuovo Pignone) to be installed on the former “Montalto di Castro” (Italy) Nuclear Power Plant;
- tests to qualify, under QA on behalf of Westinghouse, the Automatic Depressurization System of the AP-600 PWR reactor, and to investigate and experimentally define the stresses on the piping and on the reactor building due to the Depressurization System actuation.

The main characteristics of VAPORE are:

- test pressure: adjustable up to 18 MPa
- test temperature: related to the test pressure (up to 357 °C)
- saturated steam flow: variable up to 300 kg/s
- saturated water flow: variable up to 600 kg/s.



Layout of Vapore Facility



10" and 24" flanges for the installation of valves to be tested

## IMPIANTO VAPORE PER PROVE TERMOMECCANICHE E FLUIDODINAMICHE SU COMPONENTI E SISTEMI

L'impianto VAPORE consente di effettuare prove termomeccaniche e fluidodinamiche su componenti e sistemi d'impianti nucleari e convenzionali. Rappresenta pertanto, un'impianto può fornire un importante supporto strategico per le industrie del settore dell'impiantistica e della componentistica meccanica e strutturale di processo, consentendo di accedere a opportunità di mercato direttamente connesse all'introduzione di componenti e sistemi innovativi, da qualificare in condizioni operative reali, nel rispetto dei requisiti 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 di acqua satura, componenti e sistemi tipici dei circuiti primari e secondari d'impianti nucleari e convenzionali, riproducendo le sollecitazioni di processo e le condizioni ambientali necessarie per la qualifica funzionale delle apparecchiature in prova.

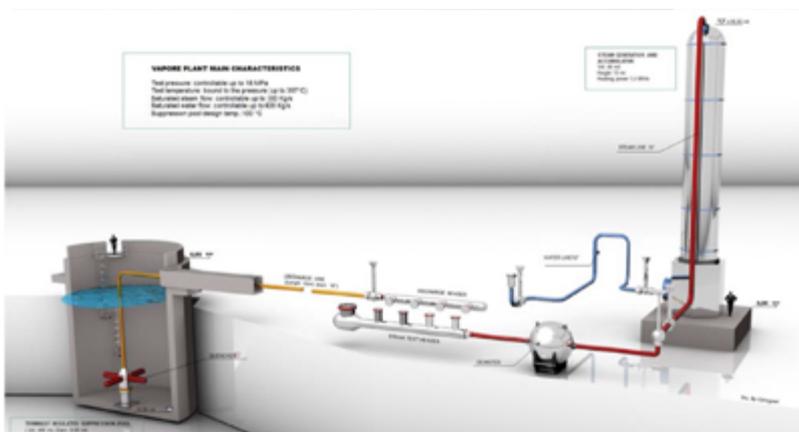
L'elasticità d'esercizio è una caratteristica peculiare di VAPORE: essa, grazie anche alla configurazione che presenta aspetti unici nel panorama degli impianti simili (come ad es. la piscina di scarico termicamente coibentata da 400 m<sup>3</sup>, per contenere acqua riscaldata fino a 100 °C), consente di effettuare prove funzionali e soddisfare requisiti in una vasta gamma di tipologie e prestazioni e per una grande varietà di sezioni di prova.

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

- attività di verifica sperimentale del sistema di scarico di reattore BWR General Electric;
- qualifica 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.

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.



Layout Impianto Vapore



Flange da 10" e 24" per l'installazione delle valvole da provare

## PRE- AND POST-GAMMA IRRADIATION CHARACTERIZATION LABORATORY

The Characterization Laboratory of the CALLIOPE irradiation facility is dedicated to studying the gamma radiation-induced effects in materials and components (inorganic systems, crystalline, glassy, polymers, composites), organic matrices (plants, animals, microorganisms), and artifacts of artistic and cultural interest (historical, archival, and documentary materials, wood, natural fibers, composites).

The laboratory is equipped with instruments for non-invasive (or minimally destructive) optical and spectroscopic analyses, providing information on the physico-chemical and structural features of irradiated samples. Services are provided for external users, as well as research and educational activities in collaboration with universities and research institutions.

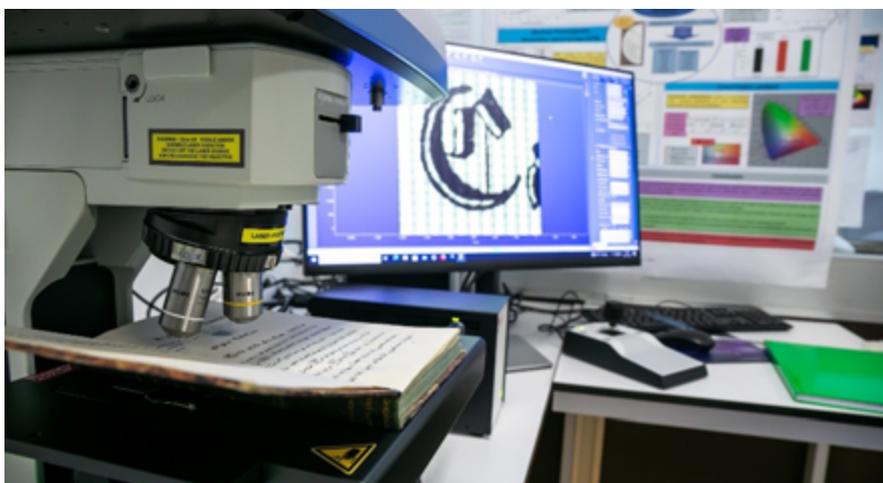
**Potential Users:** National and international industries, public and private users, universities, and research institutes.

Gamma radiation can induce ionization and excitation processes in the irradiated samples. These processes may alter the pre-existing properties of materials, causing either to an enhancement of their performance or to their deterioration. Some of these changes occur during irradiation, while others appear after the end of the irradiation (pre- and post-irradiation effects, respectively).

The CALLIOPE facility laboratory, developed since 1985, is equipped with the following instruments:

- UV-VIS-NIR and FTIR spectrophotometer for measurements of transmittance, absorbance, and reflectance (in air or inert gas) of optical, polymeric, composite components, dosimeters, solid samples, liquids, powders; equipment for in situ colorimetric measurements;
- spectrofluorimeter (light source: Xenon lamp) for solid and liquid samples, equipped with optical fibers for measuring large samples and capable of fluorescence measurements under ambient conditions, inert gas, and low temperature (liquid nitrogen);
- Electron Spin Resonance spectrometer (X-band) for studying free radicals and their decay in solid samples, liquids, powders, alanine dosimeters (ISO 17025), under ambient conditions, inert gas, low temperature (liquid nitrogen);
- automated imaging confocal Raman microscope to analyze the structure and chemical mapping of solid samples at various temperatures (-196°C to 350°C), liquids, powders, equipped for measuring large samples.

The Laboratory is involved in several research projects (H2020, Horizon Europe, IAEA, ASI, PNRR, DTC-Lazio) and collaborations with the major national (Universities, ASI, CNR, INFN) and international institutions (CERN, ITER Organization, ESA, IAEA), as well as with industries and users in the fields of Space, Nuclear, High-Energy Physics, medical, and biological applications.



Pre- and Post-Gamma Irradiation Characterization Laboratory

## LABORATORIO DI CARATTERIZZAZIONE PRE- E POST-IRRAGGIAMENTO GAMMA

Il Laboratorio di caratterizzazione pre- e post-irraggiamento gamma, presso la facility CALLIOPE, è dedicato allo studio degli effetti radioindotti in materiali e componenti di differente tipologia (sistemi inorganici, cristallini, vetrosi, polimeri, compositi), matrici organiche (vegetali, animali, microrganismi), manufatti di interesse artistico-culturale (materiale storico-archivistico-documentale, ligneo, in fibra naturale, compositi). Il Laboratorio è dotato di strumentazione per analisi ottiche e spettroscopiche non invasive (o minimamente distruttive) in grado di fornire informazioni sulle caratteristiche chimico-fisiche e strutturali dei campioni sottoposti ad irraggiamento e per seguirne l'evoluzione nel tempo. Vengono svolte attività di servizio per utenti esterni, di ricerca e didattica in collaborazione con Università ed Enti di Ricerca.

**Potenziali utenti: industrie nazionali ed estere, utenti pubblici e privati, università, enti ed istituti di ricerca.**

Le radiazioni gamma possono indurre nei campioni irraggiati processi di ionizzazione ed eccitazione. Questi processi possono modificare le proprietà preesistenti dei materiali, portando ad un miglioramento delle loro prestazioni o ad un loro deterioramento. Alcune di queste modifiche si verificano durante l'irraggiamento, altre possono manifestarsi anche successivamente al termine dello stesso (effetti post-irraggiamento).

Il Laboratorio della facility CALLIOPE, sviluppato a partire dal 1985, è dotato di:

- spettrofotometri UV-VIS-NIR e spettrofotometro FTIR per misure di trasmittanza, assorbanza e riflettanza (in aria o in gas inerte) di componenti ottici, polimerici, compositi, dosimetri, campioni solidi, liquidi, polveri; strumentazione per misure colorimetriche in situ;
- spettrofluorimetro (sorgente: lampada a Xenon) per campioni solidi e liquidi, accessorato con fibre ottiche per la misura di campioni di grandi dimensioni e possibilità di misure di fluorescenza in condizioni ambiente, gas inerte, bassa temperatura (azoto liquido);
- spettrometro Electron Spin Resonance (in banda X) per lo studio dei radicali liberi e del loro decadimento in campioni solidi, liquidi, polveri, dosimetri alanina (ISO 17025), in condizioni ambiente, gas inerte, bassa temperatura (azoto liquido);
- microscopio confocale Raman ad imaging automatico per lo studio della struttura e la mappatura chimica di campioni solidi a diverse temperature (-196°C a 350°C), campioni liquidi, polveri, accessorato per misura di campioni di grandi dimensioni.

Il Laboratorio è stato e continua ad essere coinvolto in numerosi progetti di ricerca (H2020, Horizon Europe, IAEA, ASI, PNRR, DTC-Lazio) e collaborazioni con le maggiori Istituzioni in ambito nazionale (Università, ASI, CNR, INFN) ed internazionale (CERN, ITER Organization, ESA, IAEA), oltre che con industrie ed utenti in ambito Spazio, Nucleare, Fisica delle Alte Energie, medico, biologico.



Laboratorio di caratterizzazione pre- e post-irraggiamento gamma

## THERMOMECHANICAL CHARACTERIZATION LABORATORY

The Laboratory consists of an integrated system of equipments and skills in the field of mechanical characterization (tensile, compression, bending, low-cyclic fatigue, creep, creep-fatigue, impact, etc.). It performs traditional mechanical tests both at high temperatures and at room temperature, as well as instrumented creep and toughness tests. These tests are essential for assessing the mechanical behavior of structural materials at room temperature and at the typical operational temperatures in the energy sector. They are also necessary for studying and determining the thermo-mechanical properties of new structural materials that can be used in the energy sector. The Laboratory is capable of conducting qualification tests on the mechanical properties of structural materials even in hostile environments, such as in liquid Lead or Lead alloys, and at temperatures ranging from  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Indeed, besides the mechanical testing equipments, it is provided with cryogenic systems and specially equipped test sections.

**Potential users:** research institutions, energy industries, nuclear component manufacturers.

The Laboratory, operational since 1983, is equipped with machines for fatigue, tensile, and compression testing with capacities of 50, 100, and 500 kN. It also features a compressive fatigue testing machine with an 8000 kN capacity, designed and developed by ENEA. The Laboratory has been primarily involved in European projects related to nuclear fusion and fission (generation IV reactors). Additionally, it provides support to private companies, conducting, for instance, friction tests in cryogenic environments for the characterization of antifriction materials. The Laboratory contributes to the mechanical and thermo-mechanical characterization of metal alloys for nuclear fusion field, contributing to the development of low activation martensitic steels.

The Laboratory is equipped with:

- two 100 kN universal hydraulic machines for mechanical testing equipped for high temperature tests (max  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- a 500 kN universal hydraulic machine;
- a 8000 kN hydraulic machine for compressive fatigue designed and developed by ENEA;
- a 50 kN electromechanical machine, which in addition to the 50 kN cell can also be equipped with 5 and 1 kN cells;
- seven instrumented creep testing machines (max. temperature  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- a Charpy pendulum with 25 and 50 J hammers for impact tests on micro samples (micro-charpy kIst).



MTS universal testing machine 100 kN size



Hydraulic machine for compressive fatigue designed and developed by ENEA, 8000 kN size



Pendulum CEAST (Instron) with 25 Joule hammer

## LABORATORIO DI CARATTERIZZAZIONE TERMOMECCANICA

Il Laboratorio è dotato di un sistema integrato di attrezzature e competenze per la caratterizzazione meccanica, comprendente prove di trazione, compressione, flessione, fatica oligociclica, creep, creep-fatica, impatto, ecc. È in grado di eseguire prove meccaniche tradizionali sia a caldo che a temperatura ambiente, oltre a prove di creep strumentato e resilienza. Tali prove sono essenziali per la verifica del comportamento meccanico dei materiali strutturali a temperatura ambiente ed alle temperature caratteristiche di impiego nel settore energetico. Inoltre, sono altrettanto importanti per lo studio e a determinazione delle caratteristiche termo-meccaniche di nuovi materiali strutturali impiegabili nel settore energetico. Il laboratorio è attrezzato per eseguire prove di qualificazione delle proprietà meccaniche dei materiali strutturali anche in ambienti ostili (Piombo o leghe di Piombo allo stato liquido) e a temperature comprese tra i  $-196$  e i  $1000$  °C, essendo dotato, oltre che delle apparecchiature per prove meccaniche, anche di sistemi di criogenia e sezioni di prova appositamente attrezzate.

I potenziali utenti del laboratorio sono: enti di ricerca, industrie del settore energetico, fabbricanti di componenti nucleari.

Il Laboratorio, operativo dal 1983, è dotato di macchine per prove di fatica, trazione e compressione da 50,100, 500 kN. Dispone inoltre di una macchina per prove di fatica compressiva da 8000 kN, progettata e sviluppata dall'ENEA. Il Laboratorio è stato principalmente impegnato in progetti europei riguardanti la fusione e la fissione nucleare, con particolare riferimento ai reattori di quarta generazione. Ha inoltre offerto supporto a ditte private, eseguendo, ad esempio, prove di attrito in ambiente criogenico per la caratterizzazione di materiali antifrizione. Il Laboratorio contribuisce alla caratterizzazione meccanica e termo-meccanica di leghe metalliche per la fusione, contribuendo allo sviluppo degli acciai martensitici a bassa attivazione.

Il Laboratorio è dotato di:

- due macchine idrauliche universali per prove elettromeccaniche da 100 kN equipaggiate per prove in temperatura (max  $1000$  °C);
- una macchina idraulica universale da 500 kN;
- una macchina idraulica per fatica compressiva da 8000 kN progettata e sviluppata dall'ENEA;
- una macchina elettromeccanica da 50 kN, che oltre alla cella da 50 kN può essere equipaggiata anche con celle da 5 e 1 kN;
- 7 macchine per prove strumentate di scorrimento viscoso (temperatura max  $1000$  °C);
- pendolo charpy con mazze da 25 e da 50 J per prove di resilienza su micro campioni (micro-charpy k1st).



Macchina idraulica universale MTS da 100 kN



Macchina per fatica compressiva da 8000 kN



Pendolo CEAST (Instron) con mazza da 25 Joule

## MICROSTRUCTURAL AND MICROANALYTICAL CHARACTERIZATION LABORATORY

The Laboratory consists of an integrated system of instruments and skills for the characterization/qualification of materials and components, based on their microstructure. It allows you to carry out in-depth investigations on the structure, microstructure and chemical heterogeneities present in the matter. The information obtainable is essential for development programs of innovative materials. Furthermore, some microstructural indicators can be used to support and integrate NDT for diagnostics on the onset of anomalies and defects, as well as useful for providing information on the residual life of steels subjected to high loads and high temperatures. Potential users: the versatility of the instrumentation allows both research actions and service analyzes in collaboration with the research and industrial systems.

The laboratory is engaged in microstructural characterization activities of materials in the European Fusion Programs (Eurofusion), in the aerospace sector (Laerospazio, CLOSE, TEM) and in the energy sector (Program Agreement within the National Electrical System Research, Project "Frontier materials for energy uses", INNOVASOL, PARSIVAL), SIADD, TEX-STYLE, EcoCARBONIO, ERN-APULIA, Eco CRFP.

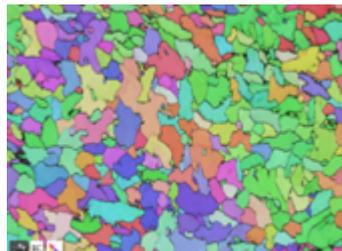
The Laboratory is equipped with:

- Optical Microscopy
- Scanning electron microscopy (SEM)
- X-ray diffraction for structural investigations by diffraction

The instruments used in the laboratories and their characteristics are shown below:

### Scanning electron microscope SEM EVO MA 15 by Zeiss (CR Casaccia)

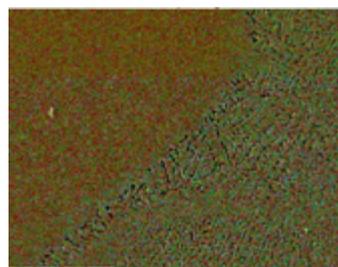
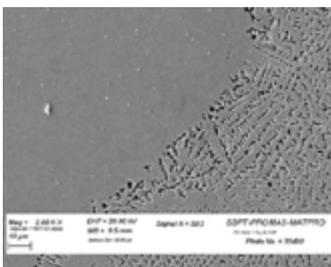
- Acceleration voltage 0.2-30 kV. Thermionic effect source. Equipped with: Backscattered Electron Detector (BSD), Energy Dispersive Spectrometer (EDS), Electron Backscatter Diffraction Detector (EBSD). It can also work in VP mode.



SEM EVO MA15 in operation and map obtained by EBSD on a steel sample

### Scanning electron microscope SEM Leo 1530 by Zeiss (CR Casaccia)

- Acceleration voltage 0.2-30 kV. Schottky field emission source. Equipped with: Backscattered Electron Detector (BSD), Energy Dispersive Spectrometer (EDS).



SEM Leo 1530 during examination of dissimilar joint In625-CuCrZr (Eurofusion DIV DEMO)

## LABORATORIO DI CARATTERIZZAZIONE MICROSTRUTTURALE E MICROANALITICA

Il Laboratorio è costituito da un sistema integrato di strumentazioni e competenze 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 impegnato in attività di caratterizzazione microstrutturale dei materiali in Programmi Europei sulla Fusione (Eurofusion), nel settore aerospaziale (Laerospazio, CLOSE, TEMA) e nel settore energetico (Accordo di Programma all'interno della Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale, Progetto "Materiali di Frontiera per usi energetici", INNOVASOL), SIADD, TEX-STYLE, EcoCARBONIO, ERN-APULIA, Eco CRFP.

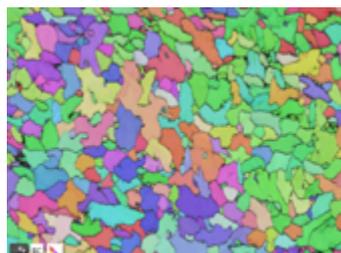
Il Laboratorio è dotato di:

- Microscopia Ottica
- Microscopia elettronica a scansione (SEM)
- Diffrazione di raggi X per indagini strutturali mediante diffrazione

Gli strumenti presenti presso i laboratori e le loro caratteristiche sono di seguito riportati:

### Microscopio elettronico a Scansione SEM EVO MA 15 della Zeiss (CR Casaccia)

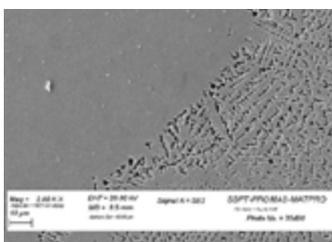
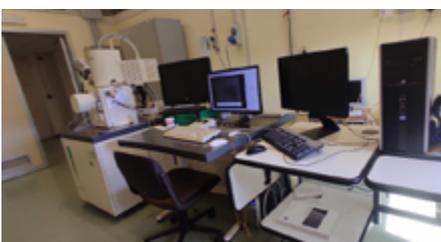
- Tensione di accelerazione 0.2-30 kV. Sorgente a effetto termoionico. Equipaggiato con: Backscattered Electron Detector (BSD), Energy Dispersive Spectrometer (EDS), Electron Backscatter Diffraction Detector (EBSD). Può lavorare anche in modalità VP.



SEM EVO MA15 in funzione e mappa ottenuta mediante EBSD su campione di acciaio

### Microscopio elettronico a Scansione SEM Leo 1530 della Zeiss (CR Casaccia)

- Tensione di accelerazione 0.2-30 kV. Sorgente a emissione di campo di tipo Schottky. Equipaggiato con: Backscattered Electron Detector (BSD), Energy Dispersive Spectrometer (EDS).



SEM Leo 1530 utilizzato nella caratterizzazione di giunzioni dissimili In625-CuCrZr (Eurofusion DIV DEMO)

**SEM Merlin Scanning Electron Microscope by Zeiss (CR Brindisi)**

- Acceleration voltage 0.02-30 kV. Schottky field emission source. Equipped with: High and Low Angle Backscattered Electron Detector (BSD), Energy Dispersive Spectrometer (EDS)

**Optical Digital Microscope Keyence VHX 7000**

- KEYENCE VHX-7000 Series Digital Optical Microscope with 4K CMOS Sensor Fully Automated System

**X-Ray diffractometer XRD SmartLab Rigaku (CR Casaccia)**

- Diffractometer with automatic alignment of the optics, Cu  $\alpha$  source (3kW X-Ray sealed tube) and D/teX Ultra 250 detector, 1D silicon strip detector with subtraction of fluorescence phenomena. Possibility of working with capillary in Convergent Beam mode (CBO-E).

**Microscopio elettronico a Scansione SEM Merlin della Zeiss (CR Brindisi)**

- Tensione di accelerazione 0.02-30 kV. Sorgente a emissione di campo di tipo Schottky. Equipaggiato con: Backscattered Electron Detector ad alto e basso angolo (BSD), Energy Dispersive Spectrometer (EDS)

**Microscopio Ottico Digitale Keyence VHX 7000**

- Microscopio ottico digitale KEYENCE Serie VHX-7000 con sistema completamente automatizzato sensore CMOS 4K

**Diffrattometro XRD SmartLab Rigaku (CR Casaccia)**

- Diffrattometro con allineamento automatico delle ottiche, sorgente  $\text{Cu } \alpha$  (3kW X-Ray sealed tube) e rivelatore D/teX Ultra 250, 1D silicon strip detector con sottrazione dei fenomeni di fluorescenza. Possibilità di lavorare con capillare in modalità Convergent Beam (CBO-E).

## CALIBRATION CENTRE FOR IONIZING RADIATION

The Calibration Centre for Ionizing Radiation of the ENEA Radiation Protection Institute (ENEA-IRP) can provide the calibration of radiation monitors for purposes of radiation protection and/or dosimetry (ionisation chambers, proportional counters, Geiger-Muller counters, scintillators and semiconductor detectors, personal dosimeters).

**Potential users: employers/operators – including nuclear facilities and/or storage sites for ionizing radiation monitoring – working in environmental monitoring, radiation protection, radiology, radiotherapy, oil wells; research institutes, health physics services.**

The Calibration Centre laboratories extend over an overall area of approximately 300 m<sup>2</sup> with five irradiation rooms and three control rooms.

It can operate with metrological traceability to ionizing radiation primary standards for photon, beta and neutron radiation fields for the following quantities respectively:

### Photons:

- Air kerma
- Exposure
- Ambient dose equivalent
- Directional dose equivalent
- Personal dose equivalent
- Rate (of all quantities above).

### Beta radiations:

- Surface dose in air
- Surface dose in tissue
- Personal dose equivalent
- Rate (of all sizes above).

### Neutrons (thermal and fast):

- Ambient dose equivalent
- Personal dose equivalent
- Fluence
- Rate (of all quantities above).



Irradiation facilities



Fast and thermal neutron facilities



Angular irradiation of personal dosimeters with beta sources

## CENTRO DI TARATURA PER LE RADIAZIONI IONIZZANTI

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-Muller, scintillatori e rivelatori a semiconduttore, dosimetri personali).

**Potenziali utenti:** datori di lavoro/esercienti, anche di impianti nucleari e/o siti di stoccaggio, operatori nel campo dei controlli ambientali, di radioprotezione, radiodiagnostica, radioterapia, servizi di fisica sanitaria, enti di ricerca attività industriali.

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 m<sup>2</sup>. È in grado di operare con riferibilità metrologica a campioni di riferimento per radiazioni ionizzanti (fotoni, beta e neutroni) rispettivamente per le seguenti grandezze.

### Fotoni:

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

### Radiazioni beta:

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

### Neutroni (termici e veloci):

- 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 sorgenti beta

## ENEAGRID COMPUTING GRID AND CRESCO HIGH-PERFORMANCE COMPUTING INFRASTRUCTURE

The ENEAGRID Computing Grid and the CRESCO High-Performance Computing infrastructure are capable of providing the research and national industrial sectors with a range of software products, services, and expertise to support the advanced design of complex systems through modelling, numerical simulation, and structural and safety certification. The areas of interest include nuclear technology and physics from fusion and fission (the structural components of a nuclear plant require numerical simulations in various fields for certification, safety, and operation), energy sources, new materials, climate, biotechnologies, and critical infrastructures.

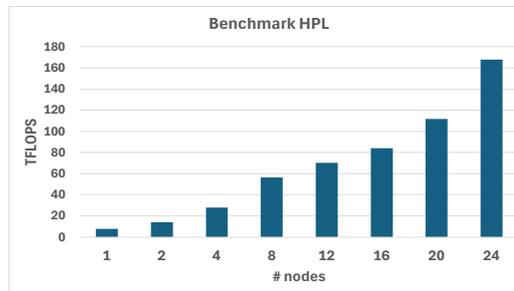
Potential users include the energy sector industry, research institutes and entities that support industrial technological innovation activities, conduct studies on climate, new materials, and biotechnologies, as well as certification and verification institutes, and educational institutions.

The ENEAGRID Computing Grid, with over 128,000 conventional cores and 310 accelerated GPUs mostly provided by the CRESCO8 supercomputer (with a peak computing power of around 6 PetaFlops with conventional CPUs and 3 PetaFlops with accelerated GPUs), ranks among the top national supercomputing infrastructures.

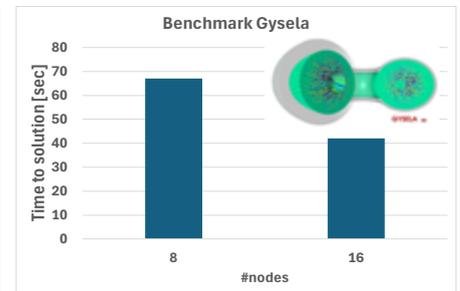
The ENEAGRID technology allows any end user to web access all hardware and software resources on the grid: computing codes, 3D visualization tools, collaborative work infrastructures, e-learning, and multimedia environments. CRESCO8 can perform parallel computations with linear "speed-up" on the High-Performance Linpack (HPL) benchmark run on 24 CRESCO8 nodes (see figure). This means that a computing application, such as solving a linear system, which would take 84 years to complete serially with a single core, can be completed in about 8 hours using CRESCO8's 758 nodes in parallel. The graphs shown in this sheet refer to computational calculations performed on the CRESCO8 high-performance computing system.



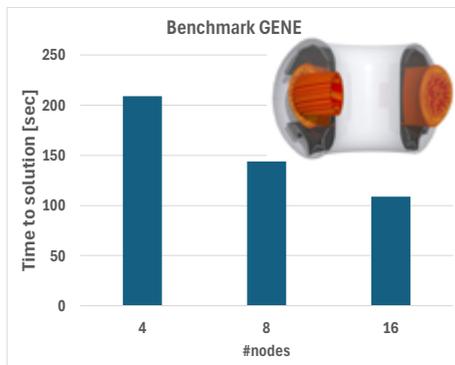
CRESCO computer room



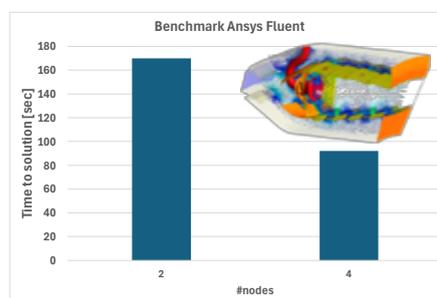
Speed-up of High Performance Linpack(HPL) test on CRESCO8



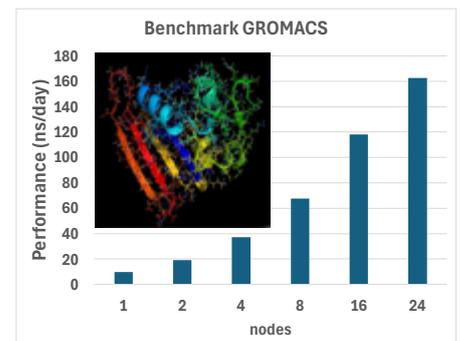
Speed-up of the Gysela Software: a numerical Plasma Physics Model applied to Tokamak Fusion Reactors. Gysela is a gyrokinetic approximation model with 5 independent variables in phase space. The benchmark shown in the figure displays the solution times for a single time step of a simulation performed with the following mesh:  $N_r=512$ ,  $N_\theta=512$ ,  $N_\phi=512$ ,  $N_v=256$ ,  $N_\mu=0$ . The speed-up was evaluated on 8 and 16 nodes of CRESCO8.



Speed-up of the GENE software: a numerical Plasma Physics Model applied to Tolamak and Stellerator . GENE is a model in gyrokinetic approximation with 5 independent variables in phase space. The benchmark in the figure shows the solution times over 10 time steps of a simulation carried out with the following mesh:  $N_x=288$ ,  $N_y=32$ ,  $N_z=24$ ,  $N_v=96$ ,  $N_\mu=32$ . The speed-up was evaluated on 4, 8, and 16 nodes of CRESCO8.



Speed-up of the Ansys software: Simulation of combustion processes on a mesh of 12 million polyhedral cells. The simulation was performed on 4 and 8 nodes of CRESCO8.



Speed-up of the GROMACS Software: Molecular Model of Lignocellulose in Aqueous Solution with 3.3 Million Atoms. The simulations are performed on 1, 2, 4, 8, 16, 24 nodes of CRESCO8. The performance is expressed in terms of the number of simulations per day.

## GRIGLIA COMPUTAZIONALE ENEAGRID E INFRASTRUTTURA DI CALCOLO AD ALTE PRESTAZIONI CRESCO

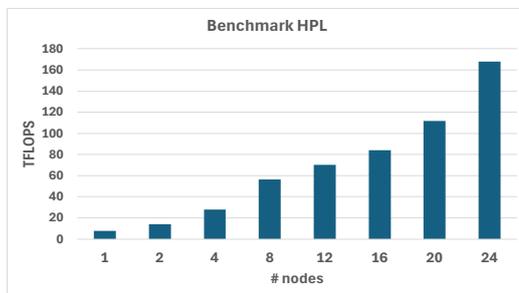
La Griglia Computazionale ENEA-GRID e l'infrastruttura di calcolo ad alte prestazioni CRESCO sono in grado di mettere a disposizione del mondo della ricerca e dell'industria nazionale un insieme di prodotti software, servizi e competenze per il supporto alla progettazione avanzata di sistemi complessi attraverso la modellistica, la simulazione numerica e la certificazione strutturale e di sicurezza. I settori di interesse vanno dalla tecnologia e fisica del nucleare da fusione e 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 sulle biotecnologie; istituti di certificazione e verifica; istituti di formazione.

La Griglia Computazionale ENEAGRID, con oltre 128000 cores convenzionali e 310 GPUs accelerate forniti in maggioranza dal supercalcolatore CRESCO8 (potenza di calcolo di picco dell'ordine di 6 PetaFlops con CPUs convenzionali e 3 PetaFlops con GPUs accelerate), si colloca fra le maggiori infrastrutture di supercalcolo nazionali.

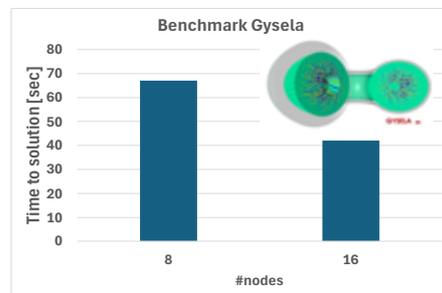
La tecnologia ENEAGRID consente a qualunque utente finale di accedere (via web) a tutte le risorse hardware e software della griglia: codici di calcolo, strumenti per la visualizzazione 3D, infrastrutture per il lavoro collaborativo, formazione a distanza ed ambienti multimediali. CRESCO8 è in grado di effettuare computazioni parallele con "speed-up" lineare sul benchmark High Performance Linpack eseguito su 24 nodi di CRESCO8 (vedi figura). Questo equivale a dire che una applicazione di calcolo, come la risoluzione di un sistema lineare, effettuata serialmente con un solo core in 84 anni, può essere effettuata usando i 758 nodi di CRESCO8 parallelamente in circa 8 ore. I grafici riportati in questa scheda si riferiscono a calcoli computazionali eseguiti sul sistema di calcolo ad alte prestazioni CRESCO8.



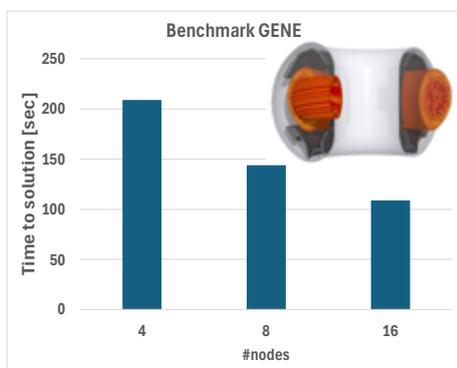
CRESCO computer room



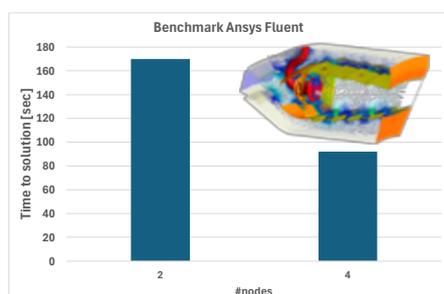
Speed-up del test High Performance Linpack su CRESCO8



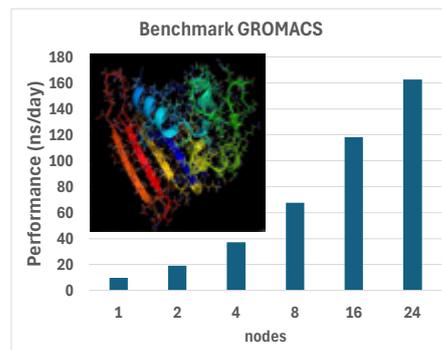
Speed-up del software Gysela: modello numerico di fisica dei plasmi applicato ai reattori a fusione di tipo tokamak. Gysela è modello in approssimazione gyrocinetica con 5 variabili indipendenti nello spazio delle fasi. Il benchmark in figura mostra i tempi di soluzione su singolo step temporale di una simulazione eseguita con la seguente mesh:  $N_r=512$ ,  $N_\theta=512$ ,  $N_\phi=512$ ,  $N_v=256$ ,  $N_\mu=0$ . Lo speed-up è stato valutato su 8 e 16 nodi di CRESCO8.



Speed-up del software GENE: modello numerico di fisica dei plasmi applicato ai reattori a fusione di tipo tokamak e stellarator. GENE è modello in approssimazione gyrocinetica con 5 variabili indipendenti nello spazio delle fasi. Il benchmark in figura mostra i tempi di soluzione su 10 step temporali di una simulazione eseguita con la seguente mesh:  $N_x=288$ ,  $N_y=32$ ,  $N_z=24$ ,  $N_v=96$ ,  $N_\mu=32$ . Lo speed-up è stato valutato su 4, 8 e 16 nodi di CRESCO8



Speed-up del software Ansys: Simulazione di processi di combustione su una mesh di 12milioni di celle di tipo poliedrico. La simulazione è stata eseguita su 4 e 8 nodi di CRESCO8.



Speed-up del software GROMACS: modello molecolare di lignocellulosa in soluzione acquosa con 3.3 Milioni di atomi. Le simulazioni sono eseguite 1,2,4,8,16,24 nodi di CRESCO8. Le prestazioni sono espresse in termini di numero di simulazioni al giorno.

## REMOTE HANDLING TESTING FACILITY DRP

The DRP (Divertor Refurbishment Platform) facility is a testing laboratory for remote handling applications. It hosts a COORD 3 measuring gantry system, and a multipurpose gantry crane equipped with the PFCT (Plasma Facing Component Transporter) and a trolley with an interchangeable end effector extensible boom. The DRP is a flexible facility operating since 1995, examples of the uses involve the assembly of the ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) divertor cassette, the development and manufacturing of the PFCT, the development and manufacturing of several Remote Handling equipment for EUROfusion projects IFMIF-EVEDA/DONES (International Fusion Materials Irradiation Facility – Engineering Design and Engineering Validation Activities/Demo Oriented Neutron Source).

**Potential users: universities and research institutions in the nuclear and robotics/mechatronic, and industries producing components in the nuclear, robotic, and mechatronic sector.**

The DRP is mainly used today for validation of components design of the International Fusion Materials Irradiation Facility – Demo Oriented Neutron Source (IFMIF-DONES) focusing on the suitability to remote handling. The facility hosted many international collaborations and workshops in the EUROFUSION framework.

The DRP was commissioned in 1995 and is used in numerous research sectors:

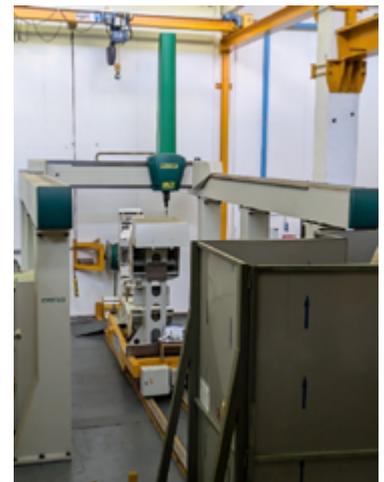
- in the design, construction, and validation of fusion facilities components;
- in the design, construction, and validation of robotic systems for fusion application;
- in the development and validation of the maintenance process for fusion facilities.

These are its main characteristics:

- One multipurpose Gantry crane with a telescopic boom equipped with an interchangeable gripper system that can be connected to different robotic arms:
- Heavy Robotic arm (100 kg payload, 2 DOF)
- Light Robotic arm (25 kg payload, 6 DOF)
- The PFCT system capable of 2.5 tons lifting with ability to tilt and rotate the payload (6DOF) via three independent ropes
- COORD 3 Metrology gantry system
- Bolting tools for both manual and automated use
- Lifting frames for IFMIF-EVEDA/DONES Target Assembly
- Viewing system for monitoring the remote handling tests
- Control room equipped with:
  - Manual console for gantry crane/PFCT operation
  - Viewing system monitors
  - Computer for automatic control of the gantry crane and PFCT
  - Control cabinet



DRP hall – Gantry Crane, trolley and PFCT



DRP hall – COORD 3 system



DRP hall – end effectors and bolting tools

## IMPIANTO DI PROVA PER MANUTENZIONE REMOTIZZATA DRP

L'impianto DRP (Divertor Refurbishment Platform) è un laboratorio di test per applicazioni di manutenzione remotizzata. La DRP ospita diversi sistemi, tra cui un misuratore a portale COORD 3 e un carro ponte multifunzione che ospita il PFCT (Plasma Facing Component Transporter) ed un trolley con un braccio estensibile che può equipaggiare diversi bracci robotici dotato di un gripper change system. La DRP è un laboratorio flessibile operativa dal 1995 ed ampiamente utilizzata nel campo della fusione. In particolare, le attività svolte includono l'assemblaggio della cassetta del divertore del reattore a fusione ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), lo sviluppo e la produzione del PFCT, lo sviluppo e la produzione di diversi equipaggiamenti di movimentazione remota per i progetti EUROfusion IFMIF-EVEDA/DONES (International Fusion Materials Irradiation Facility – Engineering Design and Engineering Validation Activities/Demo Oriented Neutron Source).

**Possibili utilizzatori: università e istituti di ricerca nel settore nucleare, robotico e meccatronico, nonché industrie che producono componenti nei settori nucleare, robotico e meccatronico.**

Oggi, la DRP è principalmente utilizzata per attività validazione della progettazione dei componenti di IFMIF-DONES che richiedono manutenzione remotizzata. Il laboratorio ha ospitato molte collaborazioni internazionali e workshop nell'ambito del progetto EUROFUSION.

- La DRP è stata commissionata nel 1995 ed utilizzata in numerosi settori di ricerca:
- nella progettazione, costruzione e validazione dei componenti delle strutture di fusione;
- nella progettazione, costruzione e validazione di sistemi robotici per applicazioni nella fusione;
- nello sviluppo e nella validazione dei processi di manutenzione per le strutture di fusione.

Di seguito le caratteristiche principali:

- Un carro ponte multifunzione con braccio telescopico dotato di un gripper change system che può essere collegato a diversi bracci robotici:
- Braccio robotico pesante (capacità di carico di 100 kg, 2 DOF)
- Braccio robotico leggero (capacità di carico di 25 kg, 6 DOF)
- Il sistema PFCT in grado di sollevare fino a 2,5 tonnellate con la capacità di inclinare e ruotare il carico (6 DOF) tramite tre funi indipendenti
- Sistema di metrologia a portale COORD 3
- Utensili di serraggio per uso manuale e automatizzato
- Lift Frames per l'assemblaggio del bersaglio IFMIF-EVEDA/DONES
- Sistema di visione per il monitoraggio dei test di movimentazione remota
- Sala di controllo dotata di:
  - Consolle manuale per il funzionamento del carro ponte/PFCT
  - Monitor del sistema di visione
  - Computer per il controllo automatico del carro ponte e del PFCT
  - Armadio di controllo



DRP hall – Carroponte, trolley e PFCT



DRP hall – Sistema metrologico COORD 3



DRP hall – Bracci robotici e utensili di serraggio remotizzato

## THE NACIE FACILITY

The NACIE facility (NATural Circulation Experiment) is an heavy liquid metal loop originally conceived for Lead Bismuth (LBE) and then converted in Lead as working fluid. It is a rectangular loop made by 2 1/2" pipes 8 m height and 2 meters large. It is thought as a multi-purpose facility that can work both with a closed pressurized water secondary loop and with an open water secondary side.

The facility is characterized by the presence of prototypical Fuel Pin Bundle Simulator (FPS) with a power of 250 kW. Several FPS have been manufactured and used in the facility along the years, both wire-spaced FPS and grid spaced FPS to study heat transfer in the FPS subchannels.

Historically, the pumping system of the facility is a gas-lift system that allowed to reach up to 10 kg/s.

The conversion of the facility to lead has implied some modifications and a new Permanent Magnet Pump was installed to provide mass flow rates up to 20 kg/s.

The actual power of the FPS is 250 kW and the facility is provided with an oxygen control system which allow the operation in the range of 10E-6 wt% to 10E-8 wt% of dissolved oxygen into the melt.

Two oxygen sensors are installed along the loop and one is installed into the storage tank. The facility currently hosts the LHT (lead heat Transfer) test section which will investigate heat transfer correlation for the specific heat exchangers used in newcleo steam generator. The LHT is and heat exchanger with a power of 70 kW and an open water secondary side.

The facility is available to test the deformed bundle experiment in which hot spots due to deformed pins will be experimentally investigated in a 19-pin bundle 1:1 vertical scale. This experiment will allow to assess CFD numerical simulation and validate computations. For this experiment, a closed pressurized water secondary loop will be used. Historically, the facility was used in several experimental campaign to investigate the transition from forced to natural circulation due to the difference in height between heat source and heat sink.

The facility is instrumented with a prototypical Thermal Flow Meter in the range 0-20 kg/s and thermocouples along the loop.

The FPS or different test sections (like LHT) are instrumented with several thermocouples to investigate heat transfer.

The NACIE facility can be used in several fields:

- Characterization of prototypical Fuel Pin Simulator test sections with different features;
- Prototypical heat exchangers test;
- Instrumentation tests;
- Power transition and mass flow rate transition with different features.



View of the FPS instrumentation (grid-spaced)



NACIE facility: primary loop.

## IMPIANTO NACIE

L'impianto NACIE (NATural Circulation Experiment) è un impianto a metallo liquido pesante concepito per piombo-bismuto (LBE) e successivamente convertito a Piombo puro come fluido di lavoro. L'impianto è un loop rettangolare costituito da tubazioni da 2 ½" e si sviluppa in altezza per 8m ed in larghezza per 2m. L'impianto è stato concepito come una facility multi-scopo che può lavorare sia con un secondario chiuso ad acqua in pressione che con un secondario aperto.

La facility è caratterizzata dalla presenza di un fascio di barrette scaldanti (FPS, Fuel Pin Simulator) prototipico della Potenza di 250 kW. Diversi FPS sono state costruite ed usate nell'impianto nel corso degli anni, sia con filo separatore che con griglie spaziatrici al fine di studiare lo scambio termico nei canali del fascio.

Storicamente, il Sistema di pompaggio della facility è un sistema di gas-lift che permette di raggiungere portate sino a 10 kg/s.

La conversione della facility a Piombo ha comportato diverse modifiche ed una nuova pompa a magneti permanenti è stata installata per raggiungere portate sino a 20 kg/s.

La potenza attuale del FPS è di 250 kW e l'impianto può essere operato in controllo dell'ossigeno disciolto nel piombo nel range 1E-6 fino a 1E-8 wt% grazie al sistema di controllo dell'ossigeno basato sull'utilizzo di tre sonde ossigeno, due nel loop e una nel serbatoio di stoccaggio.

L'impianto attualmente ospita la sezione di prova LHT (Lead Heat Transfer) che investigherà le correlazioni di scambio termico nello scambiatore di calore usato nel generatore di vapore Newcleo. La sezione LHT è uno scambiatore di calore con una potenza di 70 kW and un secondario ad acqua a circuito aperto.

L'impianto è inoltre pronto per l'esecuzione dell'esperimento del bundle deformato nel quale saranno investigati i punti caldi dovuti alle deformazioni delle pin in un pin bundle a 19 pin. Questo esperimento permetterà di validare i codici CFD in metallo liquido fluente. Per questo esperimento, verrà utilizzato il secondario chiuso ad acqua pressurizzata.

Storicamente la facility è stata usata in diverse campagne sperimentali per investigare la transizione da convezione forzata a naturale dovuta alla differenza in altezza tra sorgente e pozzo termico.

L'impianto è strumentato con un misuratore di portata termico (TFM) prototipico che misura nel range 0-20 kg/s e termocoppie lungo il loop.

L' FPS o le differenti sezioni di prova sono strumentate con termocoppie per investigare lo scambio termico.

La facility NACIE può essere usata in diversi campi:

- Caratterizzazione di fasci di barrette prototipiche con differenti caratteristiche;
- Test di scambiatori prototipici;
- Test strumentazione;
- Transizioni di potenza e di portata con differenti caratteristiche.



View of the FPS instrumentation (grid-spaced)



Sistema Primario Impianto NACIE.

## ROBOTIC LASER WELDING SYSTEM

The robotic laser system is a workstation dedicated to the development of laser welding and treatment of materials. It can handle large samples with wide freedom of movement, and also carry out processing in vacuum and controlled atmosphere. The materials typically treated are stainless steels (SS316, SS304, 15-15Ti), nickel alloys (IN625, 718, 792), aluminum alloys (mainly AA5xxx and 6xxx), titanium (Ti Gr1 and Gr5) and copper alloys (CuCrZr), as well as their combinations in dissimilar junctions.

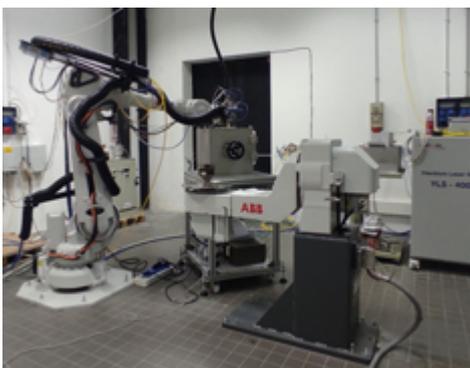
**Potential users: research laboratories and companies in the aeronautical and aerospace sector, companies that operate in the production of components for the fusion and/or fission nuclear sector.**

The plant is located in the Casaccia Research Center. The main components and features of the system are summarized below:

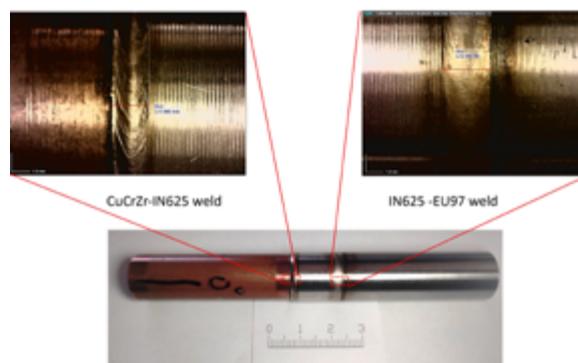
- Manipulator ABB IRB 4600: 6 d.o.f., 60 kg handling capacity, 2,05 m reach
- Workpiece positioner ABB IRBP A: 2 d.o.f., 250 kg handling capacity
- IPG YLS 4000 Ytterbium fiber laser source,  $\lambda \approx 1 \mu\text{m}$ , 4000 W rated power, CW / modulated (5 kHz)
  - Spot diam. 0,25 mm, zR 4,8 mm
  - Wobbling, 4 shapes ( $\sigma, |, 8, \infty$ ), deflection 2,5 mm max, up to 1 kHz
  - Coaxial camera system for process control
- Auxiliaries: inert gas supply (Ar, He), workpiece fixtures (preheating up to 500 °C), vacuum chamber up to  $10^{-3}$  mbar with cubic geometry of approximately 40 cm side
- Possibility of integrating and combining different welding techniques such as TIG and Plasma. AC/DC generator available up to 450 A with wire guide and 4-axis CNC positioner.

The system developed and implemented over the years, thanks to the skills acquired by the working group in over 25 years of activity, is designed to adapt to complex materials and welding configurations in both the aerospace and nuclear sectors. The main projects that have seen the development of advanced welding and repair processes concern:

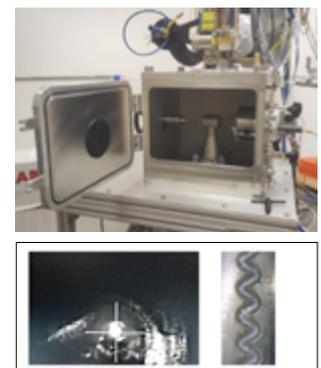
- PRIN - CLEBJOINT (POLIBA Sub-Unit contract: development of joints between Titanium alloy and Alloy 625)
- POR LAZIO research groups 2014-2020 - NI-AWARE (Repair of nickel superalloys for the aeronautical and aerospace sector, IN792 e Alloy718)
- POR LAerospAZIO - MAGIC (Development of the robotic welding workstation and welding processes on Alloy 718 e SS 17-4 PH)
- PON ARS 2014-2020 THALASSA (Dissimilar welding between S335 J0 and AA 5083 using transition joints)
- PRIN - ELAPSE (UNIPD Sub-Unit contract)(repair of bulk and 3D printed nickel superalloys IN 625, AF955 and Nimonic C263)
- MAIA order from AVIO (Spot welding on CuCrZr firing plate)
- EUROFUSION 2020-2027 contract (development of the laser welding process of CuCrZr pipes with EU97 for the DEMO divertor and support for the development of remote cutting and welding systems for the replacement of divertors to be tested in CuCrZr pipes with EU97 for the DEMO divertor and support for the development of remote cutting and welding systems for the replacement of divertors to be tested in DTT)



Robotic laser welding system



Sample with heterogeneous welds under development for Eurofusion (DEMO Divertor) welds



Vacuum chamber and process control

## IMPIANTO ROBOTIZZATO PER SALDATURA LASER

L'impianto laser robotizzato è una postazione dedicata allo sviluppo di procedimenti di saldatura e trattamento di materiali mediante laser. Può gestire campioni di grandi dimensioni con ampia libertà di movimentazione ed effettuare lavorazioni anche in vuoto e atmosfera controllata. I materiali tipicamente trattati sono acciai inossidabili (SS316, SS304, 15-15Ti), leghe di nichel (IN625, 718, 792), leghe di alluminio (principalmente AA5xxx e 6xxx), titanio (Ti Gr1 e Gr5) e leghe di rame (CuCrZr), oltre che loro combinazioni in giunzioni dissimili.

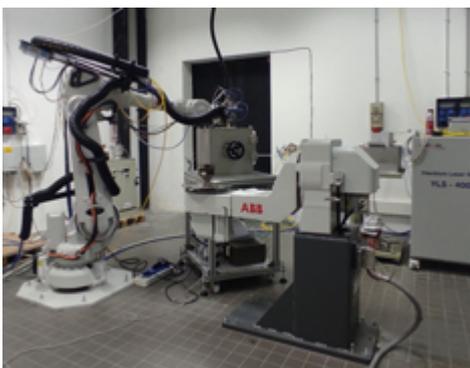
**Potenziali utenti:** laboratori di ricerca e aziende del settore aeronautico ed aerospaziale, aziende che operano nella produzione di componenti per il settore nucleare da fusione e/o fissione.

L'impianto è situato nel Centro Ricerche Casaccia. Di seguito vengono riepilogate le principali componenti e caratteristiche del sistema:

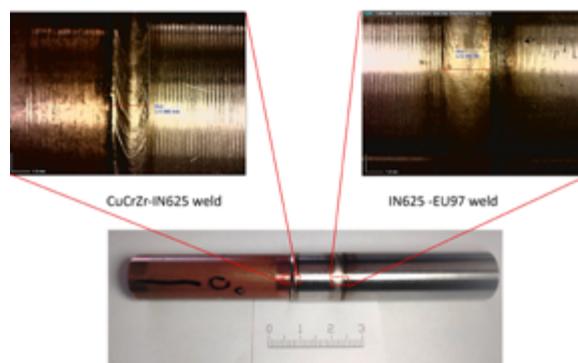
- Manipolatore ABB IRB 4600: 6 gradi di libertà, 60 kg di capacità di carico, 2,05 m di sbraccio
- Posizionatore del pezzo ABB IRBP A: 2 gradi di libertà, 250 kg di capacità di carico
- Sorgente laser IPG YLS 4000 a itterbio in fibra ottica,  $\lambda \approx 1 \mu\text{m}$ , 4000 W di potenza nominale, CW / modulato (5 kHz)
  - Diametro del fascio focalizzato 0,25 mm, zR 4,8 mm
  - Oscillazione dello spot, 4 tipi ( $\sigma, l, 8, \infty$ ), 2,5 mm di deflessione massima, fino a 1 kHz
  - Sistema visione con telecamera coassiale per controllo di processo
- Ausiliari: alimentazione di gas inerte (Ar, He), dispositivi di serraggio (con possibilità di preriscaldamento fino a 500 °C), camera da vuoto fino a 10<sup>-3</sup> mbar con geometria cubica, lato 40 cm ca.
- possibilità di integrare e affiancare tecniche diverse di saldatura come TIG e Plasma. Disponibile generatore AC/DC fino a 450 A con guidafile e posizionatore cnc a 4 assi.

L'impianto sviluppato e implementato negli anni, grazie alle competenze maturate dal gruppo di lavoro in oltre 25 anni di attività, è predisposto per adattarsi a materiali e configurazioni di saldatura complesse sia in ambito aerospaziale che nucleare. I principali progetti che hanno visto lo sviluppo di processi avanzati di saldatura e riparazione riguardano:

- PRIN - CLEBJOINT (contratto Sub Unità POLIBA: sviluppo di giunzioni fra lega di Titanio e Alloy 625)
- POR LAZIO gruppi di ricerca 2014-2020 - NI-AWARE (Riparazione di superleghe di nichel per il settore aeronautico ed aerospaziale, IN792 e Alloy718)
- POR LAerospAZIO - MAGIC (Sviluppo della stazione di saldatura robotizzata e di processi di saldatura su Alloy 718 e SS 17-4 PH)
- PON ARS 2014-2020 THALASSA (Saldatura dissimile fra S335 JO e AA 5083 mediante giunti di transizione)
- PRIN - ELAPSE (contratto sub Unità UNIPD) (riparazione di superleghe di nichel Alloy 625 bulk e stampato 3D, AF955 e Nimonic C263)
- Commessa MAIA da AVIO (Puntatura su firing plate in CuCrZr)
- Commessa EUROFUSION 2020-2027 (sviluppo di processo di saldatura laser di tubi di CuCrZr con EU97 per il divertore di DEMO e supporto allo sviluppo di sistemi di taglio e saldatura remotizzati per sostituzione Divertori da testare in DTT)



Impianto robotizzato saldatura laser



Campione con saldature eterogenee in fase di sviluppo per Eurofusion (Divertore di DEMO)



Camera da vuoto e Controllo di processo

## EXPERIMENTAL FACILITY SOLEAD

The experimental facility SOLEAD (Solar tOwer LEAd Demo) has been designed to be interfaced with Concentrated Solar Power (CSP) air-based tower systems. However, due to its characteristics, the facility can be used to carry out tests of interest for GEN-IV fast reactors, using lead as coolant (LFR). The facility SOLEAD can be used for the qualification of components of large size, having interest for LFRs, to carry out tests in natural or forced circulation of the lead coolant, for thermo-hydraulics tests in a big pool, for material corrosion tests, for lead conditioning and chemistry control tests.

**Potential users: universities and research institutions in the nuclear sector, industries involved both in the production of components and instrumentation of interest in the nuclear sector, and in the construction of entire nuclear reactor type LFR.**

The lead included in the main vessel of SOLEAD can reach the maximum temperature of 800 °C. Thanks to this feature, components and equipment can be tested even at temperatures higher than those normally expected in lead-cooled reactors, thus making it possible to simulate even accidental transients. Conditioning, which consists of obtaining the right concentration of oxygen in the lead, is mainly performed in the storage tank.

The facility has been operational since 2023 and has so far been used to carry out research on:

- conditioning of lead;
- performances of Zirconium getters;
- verification of the performances of a prototypical pin electrically powered and immersed in lead, simulating a nuclear fuel pin;
- corrosion of steel specimens.

Furthermore, tests have already been planned regarding the study of new oxygen probes/pumps, the study of the diffusion kinetics of oxygen in lead and, finally, the study of the interaction of water and lead.

The main characteristics of the facility are:

- lead quantity: 37 t;
- storage vessel capacity: 3640 L
- main vessel capacity: 3720 L
- maximum temperature of lead conditioning: 500 °C;
- maximum temperature for tests in lead: 800 °C;
- lead conditioning by mixtures Ar/H<sub>2</sub> and Ar/Air;
- oxygen concentration measurements inside the storage vessel: max 3 oxygen probes;
- air blower for the external cooling of the main vessel.



Facility SOLEAD



Main vessel

## IMPIANTO SPERIMENTALE SOLEAD

L'impianto sperimentale SOLEAD (Solar tOwer LEAd Demo) è stato progettato per interfacciarsi con sistemi di concentrazione di potenza solare (CSP) a torre ad aria atmosferica. Tuttavia, per le sue caratteristiche, l'impianto può essere utilizzato per eseguire prove d'interesse per i reattori veloci di quarta generazione (GEN-IV) che usano piombo come refrigerante (LFR). L'impianto SOLEAD può essere utilizzato per la qualifica di componenti di grandi dimensioni di interesse per i LFR, per eseguire prove in regime di circolazione naturale e forzata del refrigerante piombo, per prove di termoidraulica in una grande piscina, per prove di corrosione di materiali, per prove di condizionamento e controllo della chimica del piombo.

**Potenziali utenti: università ed enti di ricerca del settore nucleare, industrie coinvolte sia nella realizzazione di componenti e strumentazione nel settore nucleare, che nella costruzione di interi reattori nucleari di tipo LFR.**

Il piombo contenuto nel serbatoio principale di SOLEAD può raggiungere la temperatura massima di 800 °C. Grazie a questa caratteristica, componenti e apparecchiature possono essere provati anche a temperature superiori a quelle normalmente previste nei reattori raffreddati a piombo, rendendo così possibile simulare anche transitori incidentali. Il condizionamento, consistente nell'ottenere la giusta concentrazione di ossigeno nel piombo, è principalmente eseguito nel serbatoio di stoccaggio.

L'impianto è operativo dal 2023 ed è stato sinora utilizzato per svolgere ricerche riguardanti:

- condizionamento del piombo;
- prestazioni di getter di zirconio;
- verifica prestazione di una barretta prototipica alimentata elettricamente ed immersa in piombo, simulante una barretta di combustibile nucleare;
- corrosione di provini in acciaio.

Risultano inoltre già pianificate prove riguardanti lo studio di nuove sonde/pompe ossigeno, lo studio della cinetica di diffusione dell'ossigeno nel piombo e, infine, lo studio dell'interazione di acqua e piombo.

Le caratteristiche principali dell'impianto sono:

- quantità di piombo: 37 t;
- volume del serbatoio di stoccaggio: 3640 L
- volume del serbatoio principale: 3720 L
- temperatura massima condizionamento piombo: 500 °C;
- temperatura massima prove in piombo: 800 °C;
- condizionamento piombo mediante miscela Ar/H<sub>2</sub> e Ar/Aria;
- misura concentrazione ossigeno nel serbatoio di stoccaggio: max 3 sonde ossigeno;
- soffiante ad aria per il raffreddamento esterno del serbatoio principale.



Impianto SOLEAD



Serbatoio principale

## IN VESSEL VIEWING AND RANGING SYSTEM (IVVS) FOR HOSTILE ENVIRONMENTS

Based on an amplitude modulated laser radar, the system is able to provide high resolution viewing and ranging pictures at the same time. Developed at ENEA laboratories for nuclear fusion reactors, it can also be used for the vision and diagnostics of activated components of fission reactors, in hot cells and, generally, in all the environments (also underwater) with high ionizing radiation fluxes and doses. Potential users: nuclear industry (Sogin, Enel, Ansaldo etc.)

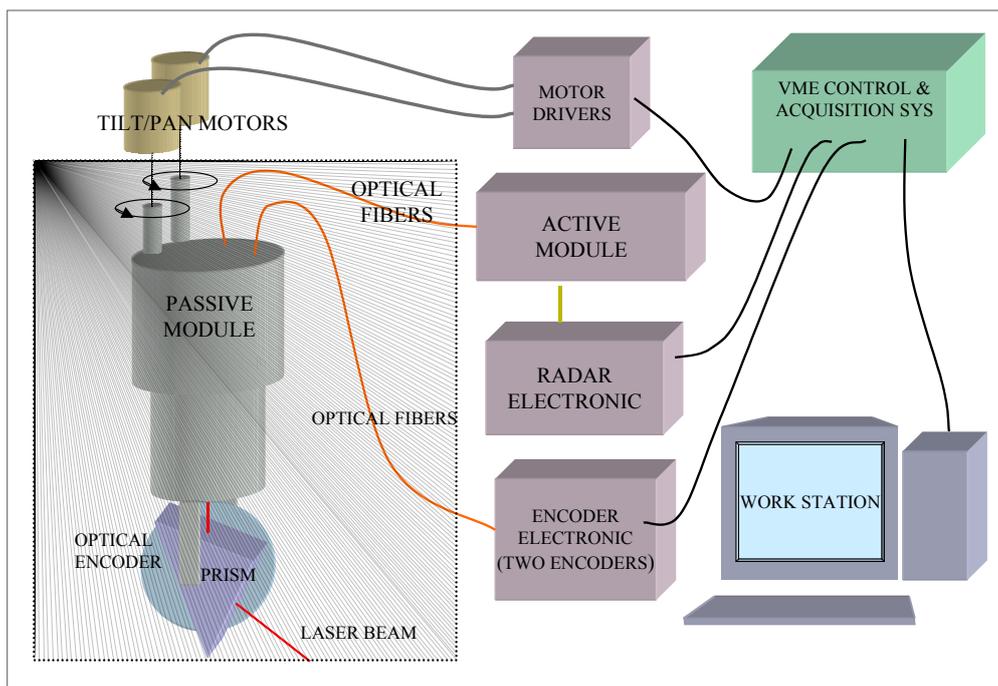
Machines for thermonuclear fusion research like JET and ITER need periodic inspections to check for damage on the in-vessel components. To overcome this limit, a prototype of Laser in Vessel Viewing and ranging System (IVVS) has been developed at laboratories in ENEA Frascati Research Centre, in the framework of the EFDA contracts for ITER relevant technologies. The system could be used in future nuclear plants, where TV systems and ccd camera cannot be successfully used due to large amounts of neutron and gamma radioactivity.

The system is based on an amplitude modulated laser radar (500MHz) and is able to provide simultaneous high-resolution viewing and ranging pictures (1mm@10m and 1ms pixel integration time). It was designed for ITER in the following operating conditions:

- pressure in UHV conditions:  $10^{-3}$  Pa
- temperature: 120-240 °C
- gamma rays: 5 kGy/h
- total radiation dose: up to 10 MGy
- total neutron fluence:  $5 \cdot 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>
- magnetic field: up to 8 Tesla.



Passive module



System architecture

## IN VESSEL VIEWING AND RANGING SYSTEM (IVVS) PER LA VISIONE IN AMBIENTI OSTILI

Il sistema, basato su un laser modulato in ampiezza, è in grado di fornire simultaneamente immagini in intensità e distanza con elevata accuratezza. Sviluppato nei laboratori ENEA 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 (anche in presenza di acqua) con elevati flussi e dosi di radiazioni ionizzanti. Potenziali utenti: industria nucleare (Sogin, Enel, Ansaldo ecc.)

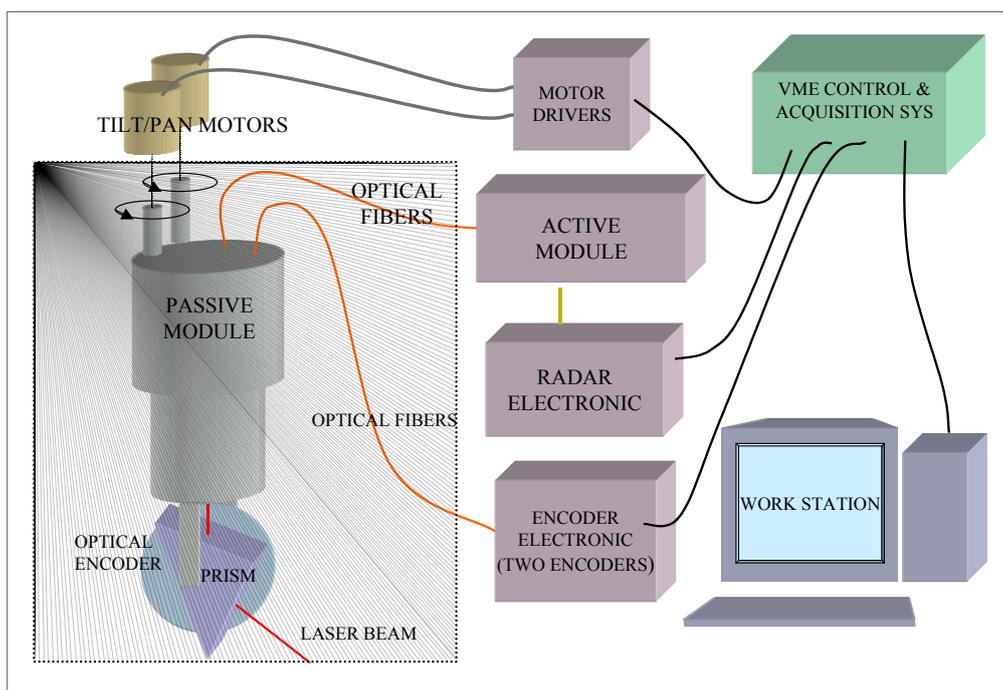
I reattori a fusione nucleare necessitano di ispezioni periodiche per controllare il degrado dei componenti del vessel durante il funzionamento. Per superare questo problema un prototipo di Laser In Vessel Viewing and ranging System (IVVS) è stato sviluppato presso i laboratori del Centro di ricerche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

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

- pressione UHV:  $10^{-3}$  Pa
- temperatura: 120-240 °C
- flusso gamma: 5 kGy/h
- dose gamma di radiazione totale: fino a 10 MGy
- flusso neutronico:  $5 \cdot 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>
- campo magnetico: fino a 8 Tesla.



Modulo passivo



Architettura del sistema

## RADIATION PROTECTION INSTITUTE

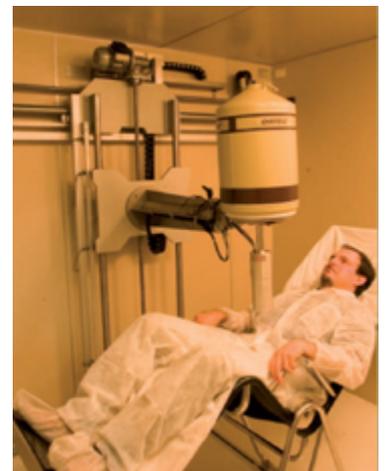
The ENEA Radiation Protection Institute (ENEA-IRP), in addition to ensuring compliance with radiation protection regulations for ENEA activities, conducts research, technological innovation, and qualification activities, and provides specialized technical radiation protection services. These services are qualified through constant interaction and comparison with international organizations (e.g., ICRP, ICRU, IAEA, EURADOS, ISPRA, ISO, IEC). Specifically, the services include:

- Personal and environmental external dosimetry for all types of radiation.
- Monitoring of internal contamination for alpha, beta, and gamma-emitting radionuclides (in vivo measurements with Whole Body Counter and in vitro measurements on biological samples);
- Radiological characterization measurements for all nuclear or naturally occurring radionuclides, on samples of various nature and origin, including nuclear facilities.
- Surface contamination measurements resulting from the dispersion of radioactive material in various environments using direct and indirect methods, as well as measurements of airborne radioactivity concentration and dose rate in the air.
- Monitoring of radon gas concentration, progeny radionuclides, and risk assessments for natural radionuclides or alpha emitters.
- Calibration of instruments and radiation detectors, and irradiation of dosimeters.
- Potential users: employers, registrants and licensees also operating in nuclear power plants or facilities under risk of exposure to ionizing radiation; public administrations and private companies operating in the field of nuclear energy. Current users are ISIN, VVFF (firefighter units), Nucleco, SOGIN, ENEL.

The Institute is hosted in several ENEA research centres all over Italy and is equipped with laboratories and facilities allowing all measurements associated with radioactivity, dosimetry and radiation protection applying methods and techniques most up-to date. The quality of ENEA-IRP services is ensured by its research activity and constant successful participation in intercomparison exercises and performance tests organized by national and international organizations: AEA-ALMERA, PROCORAD, EURADOS, HPA, ISPRA, BfS, UKHSA, IRSN, Politecnico di Milano. ENEA-IRP can provide radiological safety expertise for infrastructures with ionizing radiation sources and/or potentially contaminated sites, as well as advanced technical consultancy and services in radiation protection such as dosimetry, radioactivity monitoring, and radiological safety assessments.



Calibration centre for ionizing radiation (neutron irradiation facility)



Whole Body Counter – In vivo measurements for internal radioactive contamination



Measurements and spectrometry of various matrix samples

## ISTITUTO DI RADIOPROTEZIONE

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

- dosimetria esterna personale ed ambientale per tutti i tipi di radiazione;
- monitoraggio della contaminazione interna per radionuclidi emettitori alfa, beta e gamma (misure in vivo, con Whole Body Counter e misure in vitro su campioni biologici);
- misure di caratterizzazione radiologica per tutti i radionuclidi di interesse nucleare o naturali, su campioni di varia natura e origine, impianti nucleari inclusi;
- misure di contaminazione superficiale derivanti dalla dispersione di materiale radioattivo in ambienti lavorativi e non, mediante metodologie dirette e indirette nonché misure della concentrazione di radioattività in aria e del rateo di dose in aria;
- monitoraggio della concentrazione di gas radon, dei radionuclidi figli e valutazioni di rischio da radionuclidi naturali o alfa emettitori;
- taratura di strumenti e rivelatori di radiazioni e irraggiamento di dosimetri.
- Potenziali utenti: datori di lavoro/esercenti, anche di impianti 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: ISIN, VVFF, Nucleco, SOGIN, ENEL.

L'Istituto possiede in vari Centri ENEA laboratori e strumentazione che permettono di affrontare qualsiasi problematica connessa 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 attraverso la partecipazione a tutte le iniziative di interconfronto o di verifica organizzate da organizzazioni nazionali e internazionali: IAEA-ALMERA, PROCORAD, EURADOS, HPA, ISPRA, BfS, UKHSA, IRSN, Politecnico di Milano.

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 quali dosimetria, monitoraggio della radioattività, valutazioni di sicurezza radiologica.



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

## NATIONAL INSTITUTE OF IONIZING RADIATION METROLOGY

The National Institute of Ionizing Radiation Metrology (ENEA-INMRI) acts as the National Metrology Institute for ionizing radiation quantities in Italy, based on the role given to ENEA by the Italian Law No. 273/1991. The ENEA-INMRI is responsible for developing and providing the Italian national standards relating to ionizing radiation quantities. These standards are needed to guarantee the reliability of ionizing radiation measurements at the national level, in all fields of interest, along with their international traceability.

The national standards developed at the ENEA-INMRI include about 20 experimental lines for absolute measurements of ionizing radiations. These are complemented by irradiation facilities (for alpha, beta and gamma radiation), x-ray generators, neutron and many radionuclide sources, etc.

**Potential users:** radiotherapy and radiodiagnostic medical centres; regional agencies for environmental protection; national bodies for radiological surveillance and control, particularly ISIN; defence and protection bodies; producers, manufacturers and end-users of radioisotopes or ionizing radiation measuring instruments.

The research and development activities carried out by the ENEA-INMRI staff have given rise to expertise that is unique in the Country because of its high specialization. On such basis the qualification of ionizing-radiation-measuring instruments is now possible for the following needs:

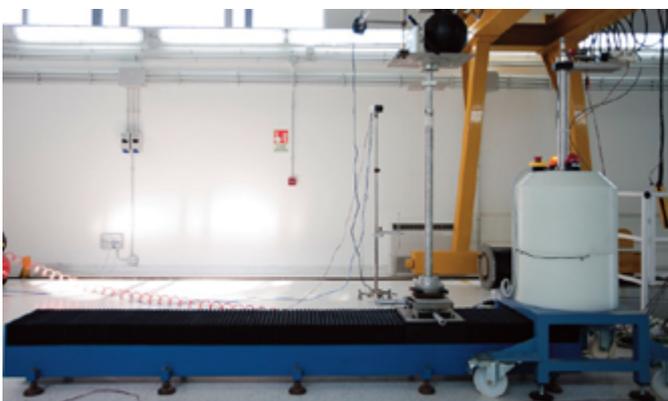
- x- and gamma-ray dosimetry at the protection or therapy level and for industrial radiation processing (radiation sterilization of materials);
- beta-radiation dosimetry in the medical and radioprotection fields;
- dosimetry of high-energy charged particles (electrons, protons, etc.) produced in medical accelerators;
- radionuclide surface contamination measurement;
- radionuclide activity measurement of environmental and medical interest (including positron emitters and short half-life nuclides for medical examinations such as PET, SPECT, etc.);
- radon-in-air and radon-in-water measurement;
- thermal and fast -neutron fluence measurement.



National standard for radon atmosphere reference dosimetry (radon chamber)



National Dosimetry Standards for Medium Energy X-Ray Radiation for the quantity absorbed dose to water (foreground) and air kerma (background)



National standard for fast neutron reference measurement



National standard for beta-gamma emitting nuclides activity measurement ( $4\pi\beta\text{-}\gamma$  system)

## ISTITUTO NAZIONALE DI METROLOGIA DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

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 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'ISIN; 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:

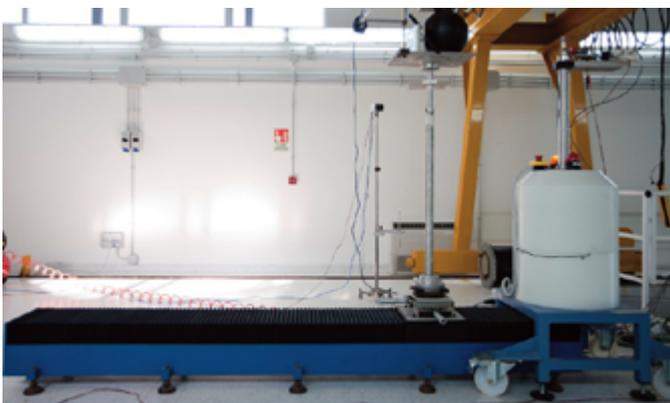
- la dosimetria della radiazione x e gamma in campo radioprotezionistico, medico e industriale (radiosterilizzazione di materiali);
- la dosimetria della radiazione beta in campo medico e radioprotezionistico;
- la dosimetria di particelle cariche di alta energia prodotte in acceleratori di elettroni, 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 fluenza di neutroni termici e veloci.



Campione primario nazionale per la dosimetria di riferimento dell'atmosfera di Radon (camera Radon)



I campioni nazionali dosimetrici per fasci di raggi X di medie energie, che realizzano le grandezze dose in acqua (in primo piano) e kerma in aria (sullo sfondo)



Campione nazionale di riferimento per le misure dei neutroni veloci



Campione nazionale di misure di attività di radionuclidi emettitori beta-gamma (sistema  $4\pi\beta\text{-}\gamma$ )

## AUTOMATION AND CONTROL LABORATORY

The Automation and Control Laboratory located at the ENEA Brasimone Research Center, in collaboration with METAPROJECTS (a private research company), provides applied research and innovation services in the field of prototyping instruments, regulation and control systems, automation and certification in the nuclear field.

The laboratory is able to design innovative electronic products for the nuclear sector, industrial automation, electro-medical, motion control and sensors. The scientific research and embedded electronic design activity is carried out with functional models of predictive simulation, development and industrialization of products, firmware and software applications, support for certification and realization of products.

The laboratory also has expertise in designing high-tech payloads for IoT, Big Data and innovative sensors for security and environmental monitoring to be installed on unmanned aircraft.

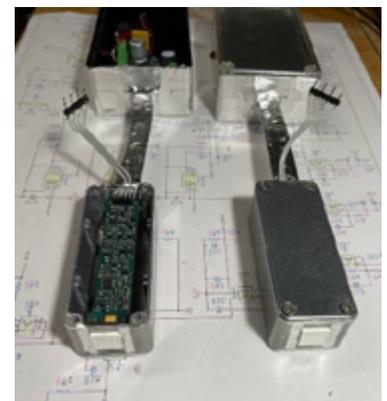
From this experience, and with a project co-financed by the Emilia-Romagna Region, the ExaDrone Drone piloting academy was born, a flight school open to the public for training pilots in critical scenarios such as monitoring sites with possible radiological pollution, searching for dispersed radioactive sources and inspecting nuclear sites.

Furthermore, the laboratory has developed and tested with drones some new generation LIDAR (Light Detection And Ranging) sensors based on laser technologies developed by ENEA, useful for environmental monitoring and water analysis in real time but also sensors for monitoring sites, nuclear installations and strategically important infrastructures such as bridges, viaducts and dams, detecting critical issues or changes over time.

*Prototype of a nuclear sensor for environmental monitoring with installation on an unmanned aircraft*

Innovative systems and sensors for nuclear applications, including pressure and temperature sensors for application in liquid lead up to 600°C with wireless signal transmission, are prototyped and certified.

The laboratory carries out mechatronic and electronic design activities, research and consultancy in product development, firmware and software applications, certification support for their marketing and performs tests on sensors and automation technologies, motion control and power electronics, as well as miniaturized GPS localization systems, radio frequency and IoT, aimed in particular at applications supporting the Public Administration.



UV-C lamp for environmental sanitization with organic certification



Oxygen Sensor for Liquid Lead System



Automation and control laboratory view with CE - EMI/EMC pre-compliance

## LABORATORIO AUTOMAZIONE CONTROLLO

Il Laboratorio Automazione e Controllo sito al Centro Ricerche Brasimone di ENEA, in collaborazione con METAPROJECTS (ente di ricerca privato) offre alle aziende servizi di ricerca applicata e innovazione nell'ambito della strumentazione prototipica, sistemi di regolazione e controllo, automazione e certificazione in ambito nucleare.

Il laboratorio è in grado di progettare prodotti elettronici innovativi per il settore nucleare, l'automazione industriale, elettromedicale, motion control e sensoristica. L'attività di ricerca scientifica e progettazione elettronica embedded si svolge con modelli funzionali di simulazione predittiva, sviluppo e industrializzazione dei prodotti, applicazioni firmware e software, supporto alla certificazione e produzione dei prodotti.

Il laboratorio inoltre ha competenze di progettazione di payload high-tech per l'IoT, big data e sensori innovativi per la sicurezza e il monitoraggio ambientale da installare su velivoli a pilotaggio remoto.

Da questa esperienza, e con un progetto co-finanziato dalla Regione Emilia-Romagna, è nata l'accademia di pilotaggio Droni ExaDrone, una scuola di volo aperta al pubblico per l'addestramento dei piloti in scenari critici come il monitoraggio di siti con possibile inquinamento radiologico, la ricerca di sorgenti radioattive disperse e l'ispezione di siti nucleari.

Inoltre, il laboratorio ha sviluppato e testato su droni alcuni sensori di nuova generazione di tipo LIDAR (Light Detection And Ranging) basati su tecnologie laser sviluppate da ENEA, utili per il monitoraggio ambientale ed analisi delle acque in tempo reale ma anche sensori per il monitoraggio di siti, installazioni nucleari e infrastrutture di rilevanza strategica quali ponti, viadotti e dighe rilevando criticità o cambiamenti nel tempo.

Prototipo di sensore nucleare per monitoraggio ambientale con installazione su velivolo a pilotaggio remoto

Presso il laboratorio vengono prototipati e qualificati sistemi e sensori innovativi per applicazioni nucleari, tra cui sensori di pressione e temperature per applicazione in piombo liquido fino a 600°C con trasmissione del segnale wireless.

Il laboratorio svolge infine attività di progettazione meccatronica ed elettronica, ricerca e consulenza nello sviluppo dei prodotti, applicazioni firmware e software, supporto alla certificazione per la loro commercializzazione ed esegue test su sensori e tecnologie di automation, motion control ed elettronica di potenza, oltre a sistemi di localizzazione GPS miniaturizzati, radiofrequenza e IoT, rivolta in particolare ad applicazioni di supporto alla Pubblica Amministrazione.



Lampada UV-C per sanificazione ambiente con certificazione biologica.



Sensore Ossigeno per impianto a piombo liquido



Vista laboratorio automazione e controllo con pre-compliance CE - EMI/EMC

## LABORATORY OF ELECTROMAGNETIC CHARACTERIZATION OF MATERIALS

The Laboratory is equipped for the measurement of electrical permittivity  $\epsilon^*$  and magnetic permeability  $\mu^*$  on solid and liquid materials according to the following methods:

- waveguide bench for the measurement of  $\epsilon^*$  and  $\mu^*$  from 3.95 GHz to 6 GHz on solid materials;
- air bench for the measurement of  $\epsilon^*$  and  $\mu^*$  from 3.95 GHz to 6 GHz on planar specimens (1 m x 1.5 m panels);
- bench based on the open-ended coaxial probe for the measurement of  $\epsilon^*$  from 500 MHz to 6 GHz on liquid materials and organic.

**Potential users:** industries and laboratories involved in the development of innovative materials absorbing radio frequency, in the development of antennas; public bodies and institutions; scientific research bodies and institutions.

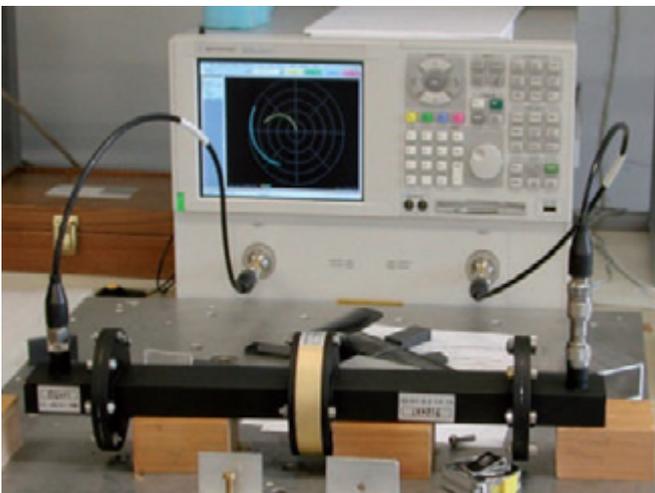
The most important methods of measuring  $\epsilon^*$  and  $\mu^*$  at microwaves are:

- Broadband: transmission and reflection method (TRM) and short circuit line (SCL), which are based on the alteration of the propagation path of an electromagnetic wave due to the insertion of the material under test in the path itself; open-ended coaxial probe method, in which the material under test (liquid) alters the capacitance of an open coaxial line;
- Narrowband: method of altering the resonant frequency and quality factor of resonant cavities following insertion of the sample into the cavity.

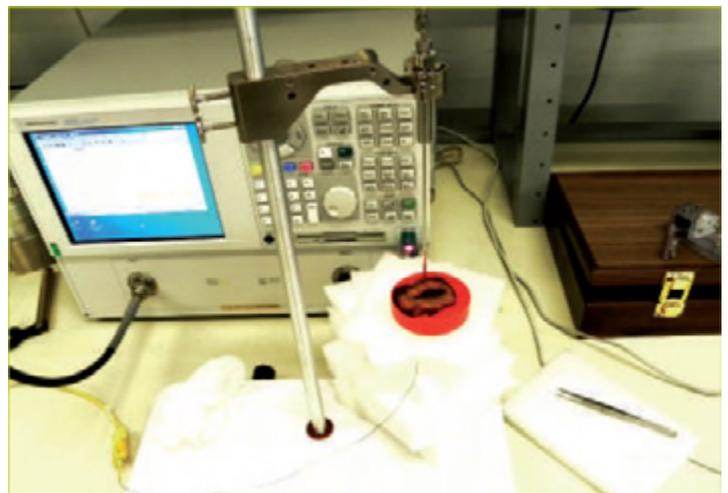
The Laboratory is equipped with a vector network analyzer, coaxial lines in air, waveguides, open coaxial lines and resonant cavities, as well as software for the inversion of scattering parameters; it is possible to set up measurement benches with different propagation paths.

The Laboratory has carried out various measurement campaigns:

- on solid polymeric materials on a waveguide bench (Arylite, Kemafoil);
- in resonant cavities on liquid, solid materials (Polystyrene, TOPAS, PMMA, FR4, Zirconia, Titanium Dioxide) and solids in powder form ( $Zn(SR)_2$ ,  $Cd(SR)_2$ );
- on biological materials (swine and bovine liver) as part of the FILAS project financed by the Lazio region "TAM" (Thermal Microwave Ablation).
- Measurements in the air on building materials (tuff, brick and travertine walls) and on wooden panels.



View of the waveguide measurement bench



Electromagnetic characterization of a Bovine liver sample subjected to microwave ablation

## LABORATORIO DI CARATTERIZZAZIONE ELETTROMAGNETICA DEI MATERIALI

Il Laboratorio è attrezzato per la misura della permittività elettrica  $\epsilon^*$  e della permeabilità magnetica  $\mu^*$  su materiali solidi e liquidi secondo i seguenti metodi:

- banco in guida d'onda per la misura di  $\epsilon^*$  e  $\mu^*$  da 3,95 GHz a 6 GHz su materiali solidi;
  - banco in aria per la misura di  $\epsilon^*$  e  $\mu^*$  da 3,95 GHz a 6 GHz su provini planari (pannelli d 1 m x 1,5m);
  - banco basato sull'open ended coaxial probe per la misura di  $\epsilon^*$  da 500 MHz a 6 GHz su materiali liquidi e biologici.
- Potenziali utenti: industrie e laboratori impegnati nello sviluppo di materiali innovativi assorbenti la radiofrequenza, nello sviluppo di antenne; enti ed istituzioni pubbliche; enti ed istituzioni di ricerca scientifica.

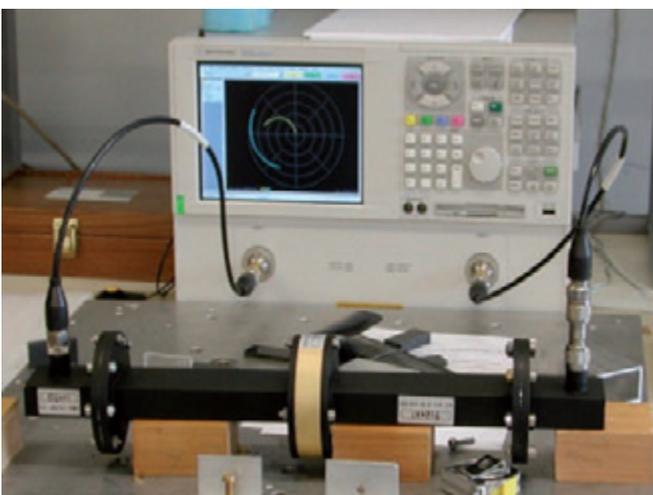
I più importanti metodi di misura di  $\epsilon^*$  e  $\mu^*$  alle microonde sono:

- 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 (liquido) 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.

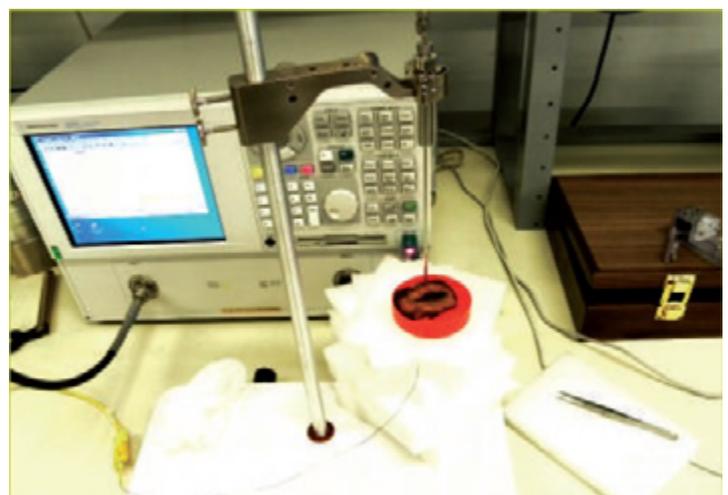
Il Laboratorio è dotato di un analizzatore di rete vettoriale di linee coassiali in aria, guide d'onda, linee coassiale aperte e cavità risonanti, nonché di software per l'inversione dei parametri di scattering; è possibile allestire banchi di misura con diversi percorsi propagativi.

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 Microonde).
- Misure in aria su materiali edili ( muretti in tufo, in mattone ed in travertino) e su pannelli in legno.



Vista del banco di misura in guida d'onda



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

## THERMOMECHANICAL CHARACTERISATION LABORATORIES

The Thermomechanical Characterisation laboratories provide technical and scientific services, support the development of new materials in international and national projects, participate in the development of new regulatory standards by developing new test methods and perform the qualification of prototype components. The materials mainly characterised are: metals, monolithic ceramics and composites, polymer matrix composites and construction materials.

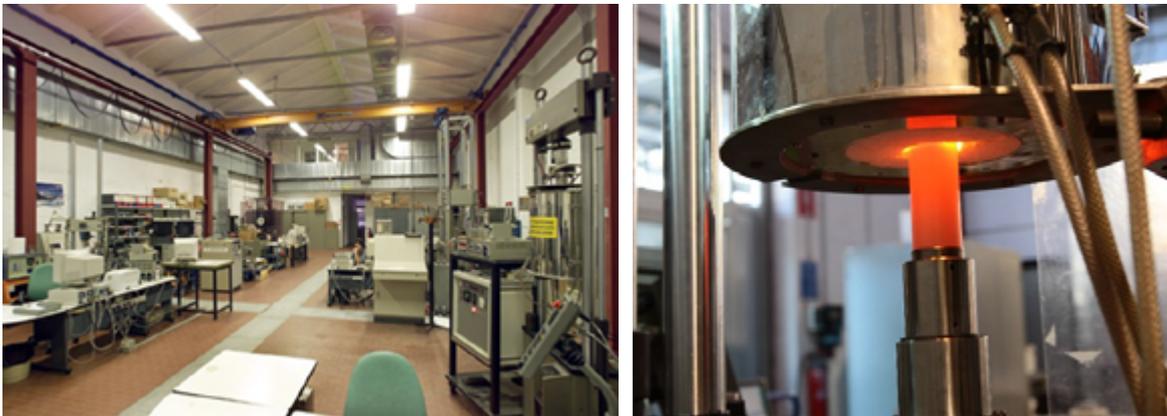
The skills achieved in the field of qualification and thermomechanical characterisation allow static and dynamic tests to be performed, including at high temperature, on materials and components under operating or incidental conditions. Activities include standard tests (such as tensile, compression, flexural, fracture toughness, resilience, fatigue, creep-fatigue, creep etc.) on instrumented samples. In addition, the engineering and fine-tuning of mechanical tests, including non-standard tests, supported by finite element calculations and reliability analyses, can be performed.

Potential users: universities, research institutions, industries involved in the manufacture of components in the aerospace, aeronautics, shipbuilding, nuclear, energy and transport sectors.

Laboratories have been present at Faenza site since 1994 and at the Brindisi site since 2001, and many of the activities currently carried out make use skills and experiences acquired at ENEA since 1970.

### Projects, activities and relevant collaborations in the nuclear field:

- Fusion projects: DEMO, ITER and DTT with focus on thermomechanical characterisation of materials and/or components;
- European projects related to the development of materials and components for Generation IV: EUROTRANS, MATISSE etc.



Overview MTS laboratory and MTS 50 kN machine with oven detail



High temperature low cycle fatigue testing

## LABORATORI CARATTERIZZAZIONE TERMOMECCANICA

I laboratori di Caratterizzazione Termomeccanica forniscono servizi tecnico-scientifici, supportano lo sviluppo di nuovi materiali nell'ambito di progetti internazionali e nazionali, partecipano alla messa a punto di nuovi standard normativi mettendo a punto nuovi metodi di prova ed eseguono la qualifica di componenti prototipali. Le tipologie di materiali prevalentemente caratterizzati sono: metalli, ceramici monolitici e compositi, compositi a matrice polimerica e materiali da costruzione.

Le competenze acquisite

nell'ambito della qualificazione e caratterizzazione termomeccanica permettono di effettuare prove statiche e dinamiche, anche ad alta temperatura, su materiali e componenti in condizioni di esercizio o incidentali. Le attività comprendono prove standard (come: trazione, compressione, flessione, tenacità, resilienza, fatica, creep ecc..) su campioni strumentati. Inoltre, è possibile effettuare la progettazione e la messa a punto di prove meccaniche, anche fuori standard, supportate da calcoli agli elementi finiti e analisi di affidabilità.

Potenziali utenti: università, enti di ricerca, industrie coinvolte nella realizzazione di componenti nel settore aerospaziale, aeronautico, navale, nucleare, energia e trasporti.

Le attività dei laboratori attualmente svolte, che si sono sviluppate presso la sede di Faenza dal 1994 e di Brindisi dal 2001, si avvalgono di competenze maturate da ENEA a partire dal 1970.

### Progetti, attività e collaborazioni rilevanti in ambito nucleare:

- Progetti per la Fusione: DEMO, ITER e DTT con particolare riguardo alla caratterizzazione termomeccanica dei materiali e/o componenti.
- Progetti Europei relativi a sviluppo di materiali e componenti dei reattori di IV generazione: (EUROTRANS, MATISSE)



Panoramica laboratorio MTS e macchina MTS kN con dettaglio forno



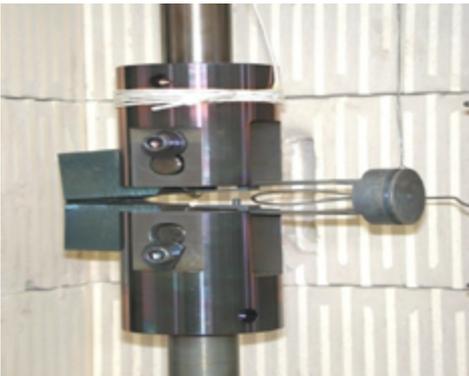
Test di fatica oligociclica ad alta temperatura

### Main equipment available at the laboratories:

- Universal testing machines for material tests, static and dynamic mechanical tests, from 5 to 500 kN and temperature test up to 1500°C;
- Instrumented tensile creep machines up to 1000 °C and instrumented flexural creep machines up to 1500 °C;
- Rotating bending machine for fatigue tests on metals;
- Pressurisation system for burst tests/pipe and components;
- Charpy pendulum of 50, 150 and 300 J;
- 1000 L Climatic Chamber with combined temperature, humidity and radiation control: T from -45°C to + 180°C, H from 10% to 98% RH, UVA 50 w/m2, UVB 15 W/m2.

### Significant results achieved:

- Participation in European research projects: THERMIE I e II, BAYEHEX, Nexttower, 3DMPWIRE, CEM-WAVE, FENICE, C2CC, etc....;
- Participation in National research projects: Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale – Accordo di Programma, MITGEA FAR & FIRB, PUMA, PROMOMAT, GENERATOR, SEMPRE, etc....;
- Contract commissioned research with universities and companies: RIMMEL, PERMARE, Scuderia Toro Rosso (current VISA Racing Bull), etc...



High temperature fracture toughness test and Fatigue crack growth test



CREEP laboratory overview, tensile and bending



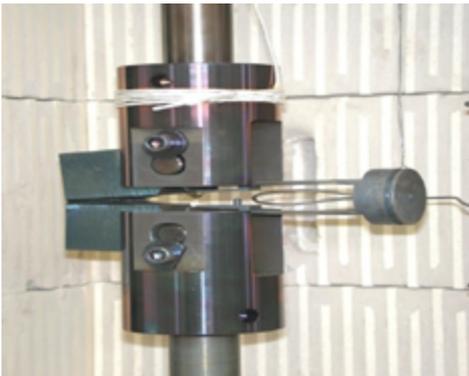
Universal testing machine MTS 485 kN

**Principali apparecchiature a disposizione dei laboratori:**

- Macchine universali per prove materiali, test meccanici statici e dinamici, da 5 a 500 kN con possibilità di effettuare test in temperatura fino a 1500°C;
- Macchine per creep in trazione fino a 1000 °C e per creep in flessione fino a 1500 °C.
- Macchina a flessione rotante per prove di fatica su metalli;
- Impianto di pressurizzazione per prove di scoppio/tenuta tubi e componenti;
- Pendoli di Charpy da 50, 150, 300 e 450J
- Camera Climatica da 1000 litri con controllo combinato di temperatura, umidità ed irraggiamento: T da -45°C a + 180°C, H da 10% a 98% UR, UVA 50 w/m2, UVB 15 W/m2.

**Risultati di rilievo conseguiti:**

- Partecipazioni a progetti di ricerca europei: THERMIE I e II, BAYEHEX, Nexttower, 3DMPWIRE, CEM-WAVE, FENICE, C2CC, ecc....;
- Partecipazione a progetti di ricerca nazionali: Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale – Accordo di Programma, MITGEA FAR & FIRB, PUMA, PROMOMAT, GENERATOR, SEMPRE, ecc....;
- Contratto di ricerca commissionata con Università e aziende: RIMMEL, PERMARE, Scuderia Toro Rosso (attuale VISA Racing Bull)



Test di tenacità ad alta temperatura e Test di avanzamento di cricca in regime di fatica



Panoramica laboratorio CREEP, macchine a trazione e flessione



Macchina MTS da 485 kN

## CETRA LABORATORY FOR THE CHARACTERIZATION OF CEMENT MATRICES IN RADIOACTIVE WASTE CONDITIONING PROCESS

The CETRA Laboratory conducts chemical, physical-mechanical, and radiological characterization of matrices used for conditioning toxic and/or radioactive waste. The Laboratory studies, qualifies and sets up processes for treating and conditioning radioactive waste in accordance with the Technical Guide 33 – ISIN for the management of radioactive waste as well as IAEA guidelines.

Potential users: nuclear fuel cycle operators (e.g., Sogin, ENEL, Ansaldo).

The qualification of the conditioning processes involves a series of activities aimed at demonstrating that the waste form resulting from the conditioning process complies with the minimum requirements for interim storage, transport, and final disposal in the Italian National Repository. The chemical, physical-mechanical and radiological properties are assessed on scale model “specimens”, obtained by using chemical elements that simulate radionuclides.

The major tests performed are:

- Compressive strength,
- Resistance to thermal cycles (freeze-thaw),
- Radiation damage resistance,
- Fire resistance,
- Leaching test,
- Depth of penetration of water under pressure,
- Absence of free liquids,
- Biodegradation resistance,
- Immersion resistance.

Some tests (bio-degradation resistance, leaching test, and radiation damage resistance) are carried out in cooperation with other ENEA laboratories.

Additional tests are conducted in order to integrate basic information obtained from the Technical Guide 33, providing further structural, physical, chemical and mechanical properties useful for optimizing the conditioning process. These include:

- Heat of hydration of cement,
- Setting time of cementitious matrices,
- Resistance to aggressive solutions,
- Fineness and porosity.



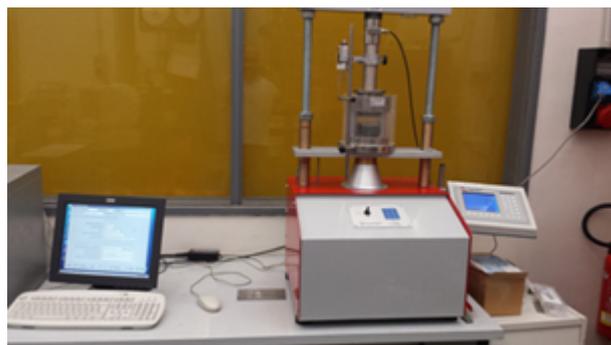
Climatic chambers for the curing of cementitious specimens and thermal cycle tests



Apparatus to test the specimens compressive strength



Vicat apparatus to assess the setting time



Device to test small size specimens compressive strength

## LABORATORIO CETRA DI QUALIFICAZIONE DELLE MATRICI CEMENTIZIE PER IL CONDIZIONAMENTO DEI RIFIUTI RADIOATTIVI

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, la Guida Tecnica n. 33 - ISIN e dalle linee guida dall'organo internazionale di controllo, la 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 impiegate nel processo di condizionamento permettono la realizzazione di manufatti che rispettano i requisiti minimi richiesti per il deposito temporaneo, il trasporto e lo smaltimento finale nel Deposito Nazionale. Le proprietà chimiche, fisicomeccaniche 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 effettuate sono:

- Resistenza alla compressione,
- Resistenza ai cicli termici (gelo-disgelo),
- Resistenza all'irraggiamento,
- Resistenza al fuoco,
- Prova di lisciviazione,
- Permeabilità all'acqua sotto pressione,
- Assenza di liquidi liberi,
- Resistenza alla biodegradazione,
- 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 ai parametri previsti dalla Guida Tecnica 33, nel Laboratorio si effettuano ulteriori prove per la determinazione di alcune proprietà strutturali, fisiche, chimiche e meccaniche utili ai fini dell'ottimizzazione del processo di condizionamento, quali:

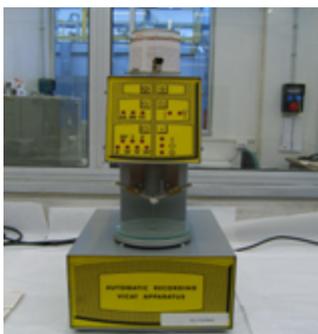
- Calore di idratazione del cemento,
- Tempo di presa,
- Resistenza alle soluzioni aggressive,
- Finezza e porosità.



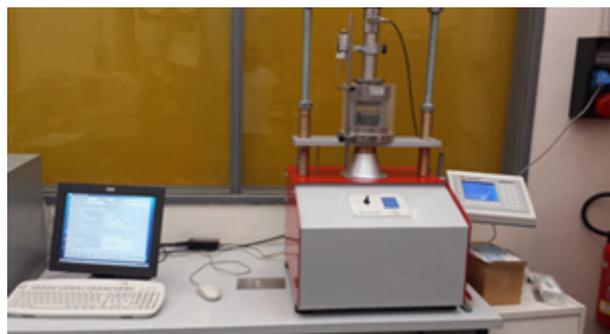
Camere climatiche per la stagionatura dei provini cementizi e per le prove che impiegano i cicli termici



Pressa per prove di resistenza alla compressione dei provini cementizi



Ago di Vicat per la valutazione del tempo di presa delle matrici cementizie



Pressa per prove di compressione di provini di piccole dimensioni

## LIQUID LEAD CHEMISTRY LABORATORY – RACHEL

The RACHEL (Reactions and Advanced CHEmistry for Lead) laboratory is equipped with various steel capsules operating with liquid and static lead alloys, as well as the isothermal pool system containing 150 liters of molten lead, named as BID1 (Brasimone In-gas Device 1). The RACHEL laboratory primarily works with pure Pb to support the design of Lead-cooled Fast Reactors (LFR), with Lead-Bismuth Eutectic (LBE) to support the design of LFR and Accelerator Driven Systems (ADS), and with Pb-16Li (Lithium-Lead Eutectic) to support the design of the breeding blanket component WCLL (Water-cooled Lithium-Lead) for the future DEMO fusion reactor.

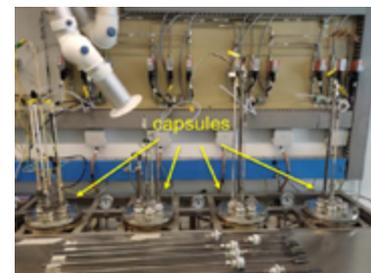
**Potential Users:** universities, research institutions, and private companies in the nuclear and energy sectors, with a focus on the chemistry of liquid Pb alloys and the chemical compatibility of materials with these alloys.

The laboratory has a total of 25 stainless steel Capsules used with liquid lead alloys as process fluids. These capsules are employed for material exposure tests and for investigating corrosion behavior; for testing, calibrating, and validating oxygen sensors; and for studying the chemistry of liquid lead alloys. 15 are larger-sized, capable of holding about 6-10 kg of liquid metal, which reaches a maximum temperature of 750°C. The other smaller capsules held up to 800 grams of liquid metal at a maximum temperature of 550°C. The measurement instruments and ancillary technical gas circuits (e.g., argon cover gas, or mixtures of argon + H<sub>2</sub> + conditioning air, etc.) are installed through penetrations in the capsule's cover flange. Samples for testing are in the form of plates or cylinders. For tests with Pb-16Li alloy, which is highly sensitive to atmospheric oxygen, a melting furnace with a filter is available for melting and purifying the liquid metal before loading it into the capsules. The capsules are designed to operate with a slight overpressure of gas (0.2-0.5 barg).

**The BID1 (Brasimone In-gas Device 1)** is a small isothermal pool system containing 150 liters of molten lead. It features an agitator/mixer to ensure dynamic conditions for the molten lead and a gas control system to monitor the concentration of dissolved oxygen in the lead volume. It can be used for controlling lead chemistry (e.g., oxygen concentration control tests) and testing components such as oxygen sensors for molten lead, supporting the development of liquid lead technology for next-generation nuclear systems. The system consists of a stainless-steel vessel and a cover flange for the hermetic sealing of the liquid metal and gases. It is designed to operate at a maximum molten lead temperature of 550°C.

Key Characteristics:

- Internal diameter of the vessel: 478 mm
- Total height of the vessel: 1000 mm
- Height of lead from the bottom of the vessel: 600-800 mm
- Maximum power: 10 kW
- Maximum agitation speed: 220 rpm (approximately 0.4 m/s lead flow)
- Maximum operating pressure of cover gas: 0.2 barg
- Oxygen control: gas phase method with Ar-H<sub>2</sub>-air injectio
- Monitoring of oxygen concentration in lead with sensor



Large capsules with molten lead



BID1 facility: detail of the cover flange and penetrations

## LABORATORIO DI CHIMICA DEL PIOMBO – RACHEL

Il laboratorio RACHEL (Reactions and Advanced CHEmistry for Lead) è un laboratorio dotato di diverse capsule in acciaio operanti con leghe liquide e statiche di piombo e dell'impianto isotermico a piscina contenente 150 litri di piombo fuso, denominato BID1 (Brasimone In-gas Device 1). Il laboratorio RACHEL opera principalmente con Pb puro a supporto della progettazione LFR (Lead-cooled Fast Reactor), con LBE (lega eutettica piombo-bismuto) a supporto della progettazione LFR e ADS (Accelerator Driven System) e Pb-16Li (lega eutettica litio-piombo) a supporto della progettazione del componente breeding blanket WCLL (litio-piombo raffreddato ad acqua) per il futuro reattore a fusione DEMO.

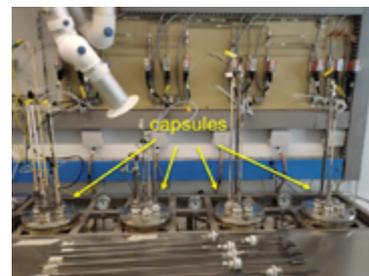
**Potenziali utilizzatori:** università ed enti di ricerca nel settore nucleare ed energetico, con focalizzazione sulla chimica delle leghe liquide di Pb e sulla compatibilità chimica dei materiali con le suddette leghe.

Il laboratorio dispone di un totale di 25 capsule in acciaio inossidabile esercite con leghe di piombo liquido come fluido di processo. Tali capsule sono utilizzate per eseguire prove di esposizione di materiali e per indagarne il loro comportamento alla corrosione; per eseguire prove, calibrazioni e validazioni di sensori di ossigeno; e per studiare la chimica stessa delle leghe di piombo liquido. Di queste, 15 sono di grandi dimensioni, possono contenere circa 6-10 kg di metallo liquido che può raggiungere una temperatura massima di 750 °C. Le restanti capsule, più piccole sono in grado di contenere fino a 800 grammi di metallo liquido ad una temperatura massima di 550 °C. La strumentazione ed i circuiti ancillari del gas tecnico (e.g. gas argon di copertura, o miscele di gas argon+H<sub>2</sub>+aria di condizionamento, ecc.) sono installate attraverso delle penetrazioni nella flangia di copertura della capsula. I campioni da testare hanno forma di piastrina o di cilindro. Per le prove con lega Pb-16Li, molto sensibile all'ossigeno atmosferico, è disponibile un forno fusorio con filtro per la fusione e la purificazione del metallo liquido prima del caricamento nelle capsule. Le capsule sono progettate per operare con una leggera sovrappressione di gas (0.2-0.5 barg).

L'impianto **BID1 (Brasimone In-gas Device 1)** è un piccolo impianto isotermo a piscina contenente 150 litri di piombo fuso. È dotato di un agitatore/miscelatore per garantire condizioni dinamiche al piombo fuso e di un sistema di controllo del gas per controllare la concentrazione di ossigeno disciolto nel volume di piombo. Può essere impiegato per l'esecuzione di prove di controllo della chimica del piombo (ad esempio, prove di controllo della concentrazione di ossigeno) e prove di componenti quali sensori di ossigeno per piombo fuso a supporto dello sviluppo della tecnologia del piombo liquido per sistemi nucleari di nuova generazione. L'impianto è costituito da un recipiente (vessel) in acciaio inossidabile e da una flangia di copertura per la tenuta ermetica del metallo liquido e dei gas. È progettato per operare ad una temperatura massima del piombo fuso pari a 550 °C.

Queste sono le caratteristiche principali:

- Diametro interno del vessel: 478 mm;
- Altezza totale del vessel: 1000 mm;
- Altezza del piombo dal fondo del vessel: 600-800 mm;
- Potenza massima: 10 kW;
- Velocità massima di agitazione: 220 giri/min (circa 0.4 m/s di flusso di piombo);
- Pressione massima di esercizio del gas di copertura: 0.2 barg;
- Controllo dell'ossigeno: metodo fase gas con iniezione di Ar-H<sub>2</sub>-aria;
- Monitoraggio della concentrazione di ossigeno in piombo con sensore.



Capsule grandi con piombo fuso.



Impianto BID1: dettaglio della flangia di copertura e delle penetrazioni

## LABORATORY OF PHYSICAL-CHEMISTRY OF MATERIALS

The Laboratory of Physical-Chemistry of Materials is dedicated to the study and experimentation of structural materials (steels and metal alloys) and functional materials (coating barriers resistant to the heavy liquid metal alloys corrosion and hydrogen isotope permeation) involved in the development of specialised components for the construction of nuclear fission and fusion reactors. Specifically, the scientific activities focus on the characterisation of the structure, morphology, chemical composition, and physico-chemical properties of those materials by using techniques such as X-ray diffraction, optical and electron microscopies, calorimetry and thermal transport, and spectroscopy. Furthermore, the laboratory is engaged in developing methodologies for the application of protective coatings by means of physical and chemical vapour deposition techniques as well as in studying their properties regarding resistance to heavy liquid metals corrosion and inhibition of hydrogen isotopes permeation.

**Potential users:** Universities and research institutions in the field of materials, industries involved in the manufacturing of components for the nuclear and energy sectors.

The laboratory comprises five halls, dedicated respectively to the morphological/structural characterisation, to a chemical laboratory and spectroscopic and calorimetric techniques, to the metallographic preparation, to the vapour phase coating deposition, and to the thermal spray coating deposition.

In particular, the laboratory is equipped with:

- X-ray diffractometer
- Scanning electron microscope (SEM) equipped with Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) detector
- X-ray fluorescence spectrophotometer (currently awaiting maintenance)
- Optical stereomicroscopes
- Metallographic optical microscope
- Chemical laboratory equipped with fume hoods and ventilated cabinets
- UV-Vis spectrophotometer
- Differential scanning calorimeter
- Atomic emission spectrophotometer with an inductively coupled plasma source
- Calorimeter for thermal conductivity measurement
- Profilometer
- Microhardness tester
- A 2-glove glove-box for controlled inert atmosphere manipulation
- Lapping and polishing machine for metallographic preparations
- Macro- and micro-cutting machine for metal cutting and sample preparation
- Mounting press for microscopy and metallography preparation
- Magnetron sputter coater for electron microscopy preparation
- Equipment for electrolytic etching and polishing
- Equipment for Atomic Layer Deposition coating
- Equipment for Detonation Gun thermal spray coating



Chemistry and Spectroscopy Hall



Atomic Layer Deposition Hall

## LABORATORIO DI CHIMICA-FISICA DEI MATERIALI

Il laboratorio di chimica-fisica dei Materiali si occupa dello studio e della sperimentazione dei materiali strutturali (acciai e leghe metalliche) e funzionali (coating avversi alla corrosione da leghe di metalli liquidi pesanti e alla permeazione degli isotopi dell'idrogeno) coinvolti nella realizzazione di componenti particolari per la costruzione di reattori a fissione e fusione nucleare. In particolare, le attività scientifiche si focalizzano sulla caratterizzazione della struttura, della morfologia, della composizione chimica e delle proprietà chimico-fisiche di tali materiali attraverso tecniche di diffrazione di raggi-X, di microscopia ottica ed elettronica, di calorimetria e trasporto termico e di spettroscopia. Inoltre, il laboratorio è impegnato nella messa a punto di metodologie di realizzazione dei coating protettivi tramite tecniche fisiche e chimiche di deposizione da fase vapore e nello studio delle loro proprietà di resistenza alla corrosione da leghe di metalli liquidi pesanti e di inibizione alla permeazione dell'idrogeno e dei suoi isotopi.

**Potenziali utenti:** università ed enti di ricerca nel settore dei materiali, industrie coinvolte nella realizzazione di componenti nel settore nucleare e dell'energia.

Il laboratorio consta di cinque hall dedicate rispettivamente alle caratterizzazioni morfologiche/strutturali, ad un laboratorio chimico e tecniche spettroscopiche e calorimetriche, alla preparativa metallografica, alla deposizione di coating da fase vapore ed alla deposizione di coating da spray termico.

In particolare, la dotazione del laboratorio comprende:

- Diffrattometro a raggi-X
- Microscopio elettronico a scansione con detector per spettroscopia a dispersione di energia EDS
- Spettrofotometro a fluorescenza di raggi-X (attualmente in attesa di manutenzione)
- Stereomicroscopi ottici
- Microscopio ottico metallografico
- Laboratorio chimico completo di cappe aspiranti e armadi ventilati
- Spettrofotometro UV-Vis
- Calorimetro a scansione differenziale
- Spettrofotometro ad emissione atomica con sorgente al plasma indotto
- Calorimetro per la misura della conducibilità termica
- Profilometro
- Micro-durometro
- Glove-box 2-guanti ad atmosfera inerte controllata
- Lappatrice e lucidatrice per preparazioni metallografiche
- Macro- e micro-troncatrice per taglio dei metalli e preparazione campioni
- Inglobatrice per preparazione microscopia e metallografia
- Magnetron sputter coater per preparazione alla microscopia elettronica
- Apparecchiatura per attacchi e lucidatura elettrolitici
- Apparecchiatura per la deposizione di coating via Atomic Layer Deposition
- Apparecchiatura per la deposizione di coating via spray termico Detonation Gun



Sala chimica e spettroscopia



Sala Atomic Layer Deposition

## NON-DESTRUCTIVE TESTING LABORATORY SSPT-TIMAS-MADD

### NON-DESTRUCTIVE TESTING LABORATORY SSPT-TIMAS-MADD

The laboratory provides scientific and technological services for the dissemination of non-destructive analysis methods in industrial sectors where safety aspects, for humans and the environment, and product quality assurance are involved. The NDT laboratory develops systems for defect diagnosis based on both traditional and innovative methods, with highly reliable characteristics, which are used in the development of production processes, in product quality controls and for the in-service inspection of plant components.

**Potential users:** industries involved in the production of components in the aerospace, aeronautical, automotive, railway, nuclear, energy & transport sectors.

The laboratories were founded in Casaccia in the 70s for the testing of nuclear components, have evolved over the years by participating in various national and European projects about development and application of advanced diagnostic methodologies and technologies.

Relevant projects, activities and collaborations in the nuclear field:

- Nuclear Fusion Reactor Project DEMO, ITER and DTT: development of methodologies and equipment for the UT examination of the Divertor components and X-Ray examination of welded joints
- EU project about development of material and component for GEN IV Reactor: examination of silicon carbide jacket (MATISSE); Xray and UT examination of welded Joint (MATTER, GEMMA)
- Thickness gauge checks of the TRIGA and TAPIRO nuclear reactors
- Ultrasonic control of the copper brazing of the alternator flywheel of the FTU machine of ENEA Frascati
- Laser scanning of the FTU Buildings of ENEA Frascati

Infrastructures available to the laboratories:

- Automatic systems and software development laboratory
- Technological hall with 450 KV and 150 KV Tomographic cabin and ultrasonic tank for large components
- High resolution X-ray nano-tomography laboratory
- System for non-contact ultrasonic probes pair of XY translators
- Phased Array instrumentation 64 channels UT and Eddy current multi-probe
- Ultrasonic and Eddy current mapping software developed at ENEA
- Endoscopy fiber optics and microcamera diameter 6 mm and length 5 meters
- Laser scanner and Thermography equipment
- Low frequency ultrasound equipment for concrete control



Radiographic and Tomographic Cabin 450 KV and 150 KV



Radiographic Cabin with 2 sources of 150 KV and 450 KV and digital detector with 100 micron resolution

## LABORATORI CONTROLLI NON DISTRUTTIVI

I laboratori CND forniscono servizi tecno-scientifici e sviluppano metodi di analisi non distruttive nei settori industriali in cui siano coinvolti aspetti di sicurezza, per l'uomo e per l'ambiente, e di garanzia della qualità del prodotto. Il laboratorio CND sviluppa sistemi per la diagnosi difettologica basati sia su metodi tradizionali che innovativi, aventi caratteristiche di elevata affidabilità ed automazione, che vengono utilizzati nella messa a punto dei processi di produzione, nei controlli di qualità del prodotto e per l'ispezione in servizio di componenti di impianto.

**Potenziali utenti: industrie coinvolte nella realizzazione di componenti nel settore aerospaziale, aeronautico, nucleare, energia e trasporti.**

I laboratori, che nascono in Casaccia negli anni 70' per le verifiche di componenti Nucleari, si sono evoluti negli anni partecipando a diversi progetti nazionali ed europei nel campo dello sviluppo ed applicazione di metodologie e tecnologie diagnostiche avanzate.

Progetti, attività e collaborazioni rilevanti in ambito nucleare:

- Progetti per la Fusione: DEMO, ITER e DTT con particolare riguardo allo sviluppo di metodologie e sistemi per il controllo ad ultrasuoni dei componenti del Divertore e controllo radiografico di giunzioni saldate
- Progetti Europei relativi a sviluppo di componenti dei reattori di IV generazione: controlli di guaine in carburo di silicio (MATISSE); controlli RX e UT di giunzioni saldate (MATTER, GEMMA)
- Controlli spessimetrici dei reattori nucleari TRIGA e TAPIRO
- Controllo ad ultrasuoni delle brasature in rame del volano alternatore della macchina FTU di ENEA Frascati
- Scansione laser degli Edifici FTU di ENEA Frascati

Apparecchiature a disposizione dei laboratori:

- Hall tecnologica con cabina Tomografica 450 KV e 150 KV e vasca ad ultrasuoni per grandi componenti
- Laboratorio di nano-tomografia a raggi X ad alta risoluzione
- Sistema per sonde ultrasonore non a contatto coppia di traslatori XY
- Strumentazione phased Array 64 canali UT e Eddy current multi-probe
- Sistema di mappatura ultrasonora ed Eddy current sviluppata da ENEA
- Endoscopia a fibre ottica e microtelecamera diametro 6 mm e lunghezza 5 metri
- Sistemi Laser scanner e Termografici
- Ultrasuoni a bassa frequenza per controllo del calcestruzzo



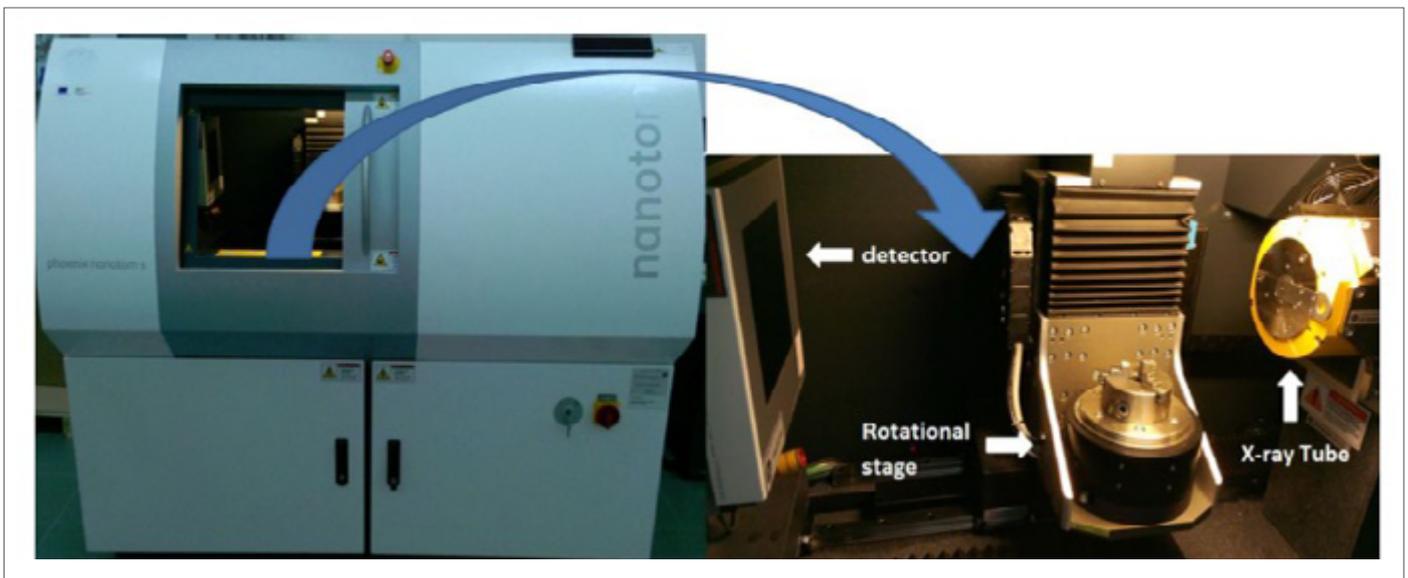
Cabina Radiografica e Tomografica da 450 KV e 150 KV



Cabina Radiografica con le 2 sorgenti da 150 KV e 450 KV e rivelatore digitale a 100 micron di risoluzione

Significant results achieved:

- Development of the automatic system for the control of the Divertor component of the ITER and DTT Fusion reactor
- Development of the automatic system for the control of aeronautical, aerospace and industrial components
- European AWFORS and FANTASIA project for the control of turbine blades with capacitive welding and laser cladding
- Eddy current control of laser welding of superconducting coils of the ITER fusion machine
- Eddy current control in the production line of aluminum tubes - ALURES
- In-line control of laser welding on steel sheets with an automatic ultrasonic system - As part of a FASP Project order
- Ultrasonic control of copper brazing of the alternator flywheel of the FTU machine in Frascati
- Control of aerospace components 3D printed Inconel combustion chambers project VEGA-E AVIO sp
- Regional project for the control of hollow railway axles for high speed
- Development of an ultrasonic system with an anthropomorphic arm for the control of pipes for helically welded pen-stocks
- Development of an ultrasonic system with an anthropomorphic arm for the control of aerospace components



Phoenix nanotom s - Nanofocus Computed Tomography System



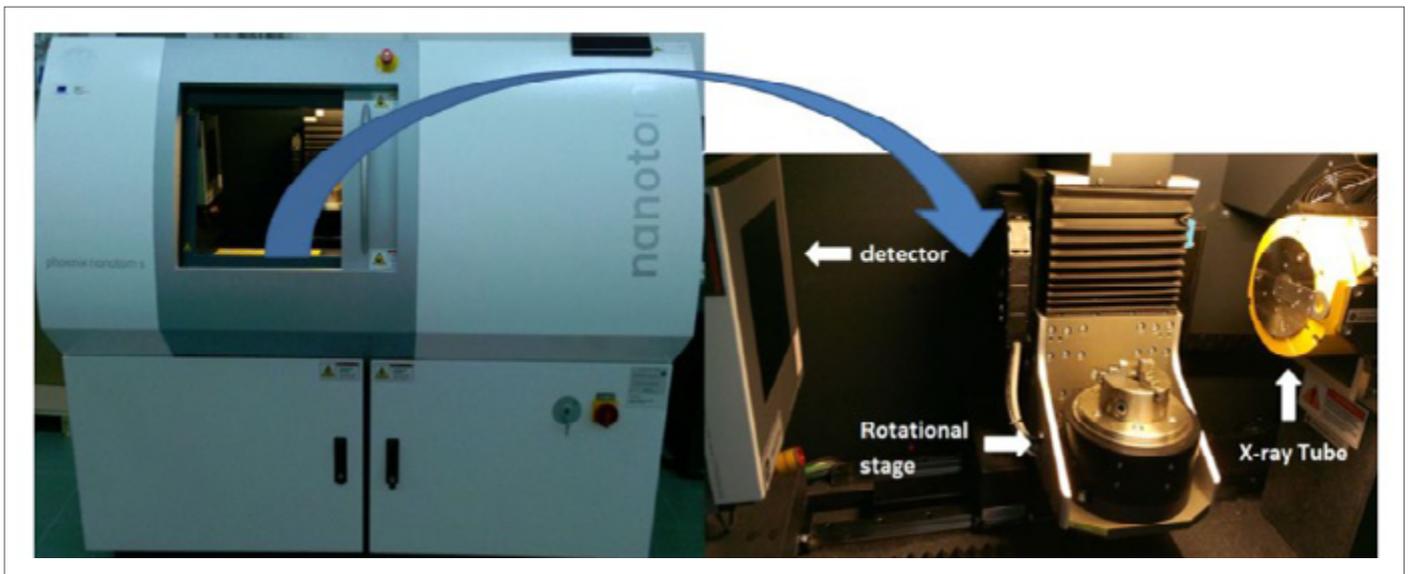
Technological Hall in the foreground ultrasonic tank for aerospace components



Thickness measurement of the Triga Nuclear Reactor Vessel

Risultati di rilievo conseguiti:

- Sviluppo del sistema automatico per il controllo della giunzione tungsteno-rame dei componenti per i target dei Divertori
- Sviluppo di sistemi automatici di mappatura UT per il controllo di componenti aeronautici, aerospaziali ed industriali
- Sistema di controllo della saldatura di palette di turbina realizzati con processi a scarica capacitiva e laser cladding (Progetti AWFORS e FANTASIA)
- Sistemi di controllo con correnti indotte delle saldature laser delle bobine superconduttrici della macchina per fusione ITER
- Controllo con correnti indotte in linea di produzione di tubi di alluminio – ALURES
- Controllo in linea di saldature laser su lamiere di acciaio con un sistema automatico ultrasonoro – Nell'ambito di una commessa del Progetto FASP
- Controllo ad ultrasuoni delle brasature in rame del volano alternatore della macchina FTU di Frascati
- Controllo di componenti aerospaziali in Inconel 718 realizzati mediante Selective Laser Melting (progetto VEGA-E – commessa AVIO)
- Progetto Regionale per il controllo degli assili ferroviari cavi per l'alta velocità
- Sviluppo di sistema di controllo ad ultrasuoni con braccio antropomorfo per il controllo di tubazioni per condotte forzate saldate in modo elicoidale e per componenti aerospaziali a geometria complessa



Sistema di nano-tomografia GE Phoenix nanotom S



Hall Tecnologica in primo piano vasca ad ultrasuoni per componenti aerospaziali



Spessimetria del Vessel del Reattore Nucleare Triga

## ULTRASONIC NON-DESTRUCTIVE EVALUATION LABORATORY

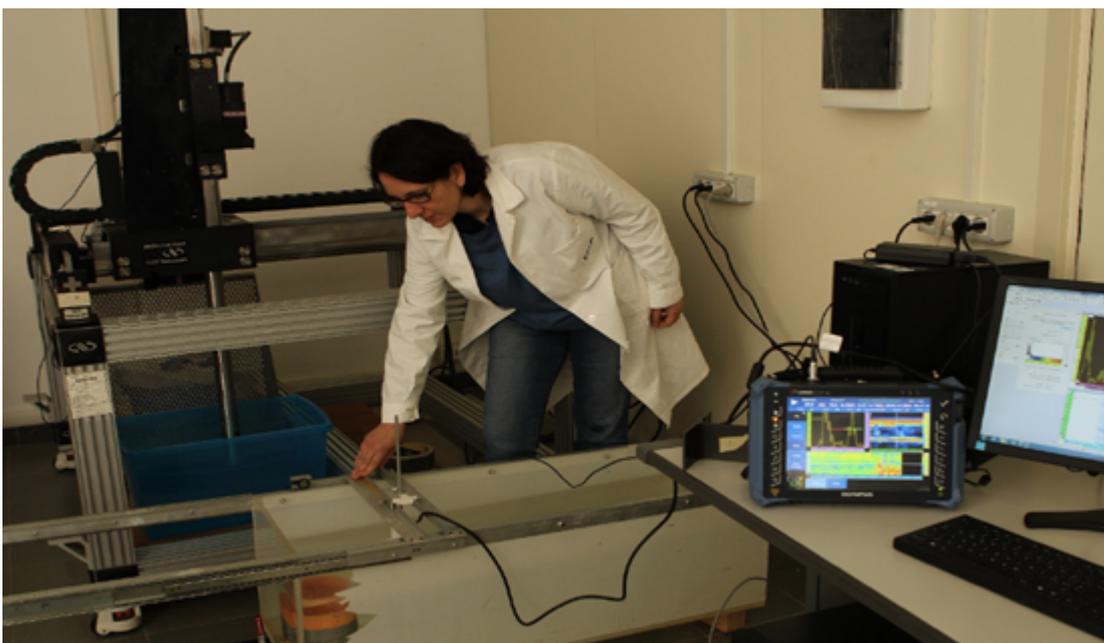
The Laboratory uses ultrasonic techniques applied to material characterization. It provides:

- research on advanced materials to detect internal defects and identify different metallographic structures and phase transformations.
- correlations between the structural changes of the materials detected by means of non-destructive and destructive testing (mechanical, microstructural, microanalysis);
- development and testing of innovative instrumentation for monitoring the structural changes of materials versus time, temperature, pressure, humidity.
- Potential users: enterprises interested in the study, design and implementation of innovative test methods applicable to different sectors, universities and scientific research institutions

The Laboratory has been involved in:

- on-line monitoring of forming processes of thermosetting matrix composite (collaboration with the University of Lecce);
- qualification of heterogeneous ceramic-metal brazing (collaboration with Metz University);
- to develop innovative, reliable, and fast nondestructive testing technologies and methodologies to assess the strength of concrete in place to apply on reinforced concrete structure (collaboration with the Universities of Bordeaux, Basilicata and Polytechnic of Milan);
- analysis of different joint types (metal-ceramic, fiber reinforced PP, concrete-FRP);
- study of changes in the structural properties of concrete + epoxy resins versus environmental conditions and time.
- The Laboratory has collaborated with Padua's CNR-ITEF for the thermographic analysis and has worked in collaboration with: ENEL, SKF, Avio, GE Nuovo Pignone, Consorzio CETMA.

The Laboratory is equipped with the C-SCAN (scanning acoustic microscope), a facility showing the location of a possible defect inside the analyzed material, and instruments measuring ultrasonic parameters. Furthermore, with regards to material studies, the Laboratory collaborates with other laboratories: thermo-mechanical characterization lab., micro structural characterization lab., chemical analysis lab., wear-resistant coatings and thermal barriers lab.



Ultrasonic C-Scan system at the ENEA Brindisi Research Center

## LABORATORIO DI CARATTERIZZAZIONE NON DISTRUTTIVA AD ULTRASUONI

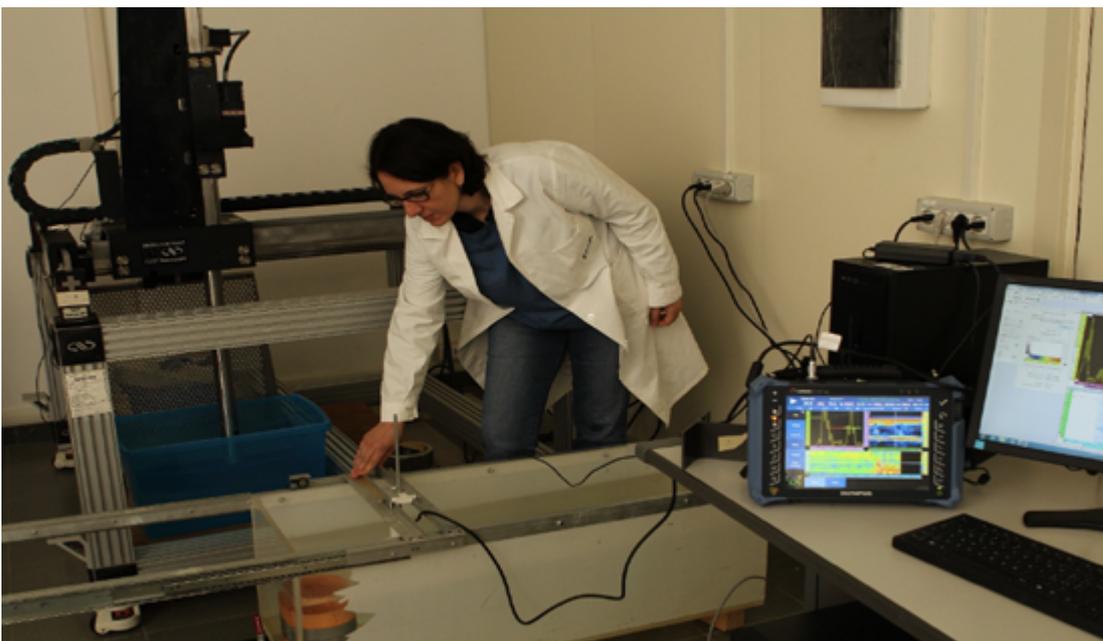
Il Laboratorio utilizza tecniche ad ultrasuoni per il controllo di materiali. Può effettuare:

- 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, università ed istituzioni di ricerca scientifica.

Il Laboratorio è stato coinvolto in:

- monitoraggio in linea di processi di formatura di compositi a matrice termoindurente (collaborazione con l'Università di Lecce);
- qualificazione della brasatura eterogenea ceramica-metallo (collaborazione con l'Università di Metz);
- sviluppare tecnologie e metodologie di prova non distruttive innovative, affidabili e veloci per valutare la resistenza del calcestruzzo in opera da applicare alle strutture in cemento armato (collaborazione con le Università di Bordeaux, Basilicata e Politecnico di Milano);
- analisi di diversi tipi di giunti (metallo-ceramica, PP fibrorinforzato, calcestruzzo-FRP);
- studio delle variazioni delle proprietà strutturali di calcestruzzo + resine epossidiche in funzione delle condizioni ambientali e del tempo.
- Il Laboratorio ha collaborato anche con il CNR-ITEF di Padova ed il Politecnico di Bari per le analisi termografiche e 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 dei laboratori: caratterizzazione termo-meccanica; caratterizzazione micro strutturale; analisi chimiche; realizzazione di rivestimenti antiusura e barriere termiche.



Ultrasonic C-Scan system presso il Centro Ricerche ENEA di Brindisi

## ADDITIVE MANUFACTURING (EBM) AND HOT ISOSTATIC PRESSING (HIP) LABORATORY

The Laboratory allows the building of metal alloy components through a powder bed fusion 3D printing process starting from an appropriately optimized CAD model as input and to perform heat and densification treatments, with consequent reduction of defects, on components made by additive manufacturing and by conventional processes too. In addition to the equipment presented below, the laboratory provides CAD modelling, process skills using additive technologies and material treatment in order to modify their microstructure.

3D printing presents several advantages compared to traditional manufacturing processes, such as subtractive or foundry ones, allowing components with complex geometries to be created in single pieces, which do not require assembly. It can also be used for rapid prototyping of components with a reduction in development costs and for the creation of lightweight components.

**Potential users: the versatility of the instrumentation allows both research actions and service analyses in collaboration with the research and industrial systems.**

The laboratory is engaged in service activities, through tariffs, and projects in the aerospace and energy fields. In the nuclear sector, the laboratory's equipment and skills can provide valid support in the development of materials and innovative components.

The Laboratory is equipped with:

- 3D electron beam printer (Electron Beam Melting, EBM)
- Hot Isostatic Press (HIP)

The equipment present in the laboratories and their characteristics are shown below:

### Electron beam 3D printer (Electron Beam Melting, EBM)

- Electron beam 3D printer with acceleration voltage of 60 kV;
- Maximum beam power: 3 kW;
- Tungsten source;



3D printing by EBM process with representative pictures of the extracting phase by sandblasting process of the components; (DX) Mock up (1:4 Scale) of the 3D printed Ti6Al4V handling hinge for Demo Divertor process

## LABORATORIO DI MANIFATTURA ADDITIVA (EBM) E PRESSATURA ISOSTATICA A CALDO (HIP)

Il Laboratorio consente la realizzazione di componenti in lega metallica mediante un processo di stampa 3D a letto di polvere utilizzando come input un modello CAD opportunamente ottimizzato e di effettuare dei trattamenti termici e di densificazione, con conseguente riduzione dei difetti, sia su componenti realizzati mediante manifattura additiva sia mediante processi convenzionali. Oltre alle attrezzature di seguito descritte il laboratorio fornisce le competenze di modellazione CAD, di processo mediante tecnologie additive e di trattamenti termomeccanici dei materiali al fine di modificarne la microstruttura.

La stampa 3D presenta diversi vantaggi rispetto ai processi di manifattura tradizionali, quali quelli sottrattivi o di fonderia, consentendo di realizzare componenti con geometrie complesse in singoli pezzi, che non richiedono assemblaggio. Può essere inoltre utilizzata per la prototipazione rapida di componenti con un abbattimento dei costi di sviluppo e per la realizzazione di componenti alleggeriti.

**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 impegnato in attività di servizi, mediante tariffario, e progetti in ambito aerospaziale e energetico. Nel settore nucleare le attrezzature e le competenze del laboratorio possono fornire un valido supporto in attività di sviluppo dei materiali e di componenti innovativi.

Il Laboratorio è dotato di:

- Stampante 3D a fascio di elettroni (Electron Beam Melting, EBM)
- Pressa isostatica a caldo (Hot Isostatic Press, HIP)
- Le attrezzature presenti presso i laboratori e le loro caratteristiche sono di seguito riportati:

### Stampante 3D a fascio di elettroni (Electron Beam Melting, EBM)

- Stampante a fascio di elettroni con tensione di accelerazione pari a 60 kV;
- Massima potenza del fascio: 3 kW
- Sorgente in tungsteno;
- Dimensione del piatto di stampa: 200x200x380 mm<sup>3</sup>;



Stampa mediante processo EBM con immagini rappresentative della fase di recupero del componente mediante sabbatura; (DX) Mock up (scala 1:4) di una cerniera di movimentazione del Divertore di DEMO stampata 3D

- Print plate size: 200x200x380 mm<sup>3</sup>;
- Minimum beam size: 250 µm;
- Standard CAD Interface: STL;
- Material in use: Ti6Al4V;
- EBM advantages compared to other processes: absence of residual stresses in the component, reduced use of supports, cleaning of dust using a vacuum process, creation of components directly inside the powder bed;
- Accessories: Powder Recover system, PRS, for sandblasting the components after printing and recovering the powder; vibro sieve.

### Hot Isostatic Press (HIP)

Advanced high-performance materials (nuclear, aerospace, automotive, energy sectors, etc.);

Pressures up to 2070 bar;

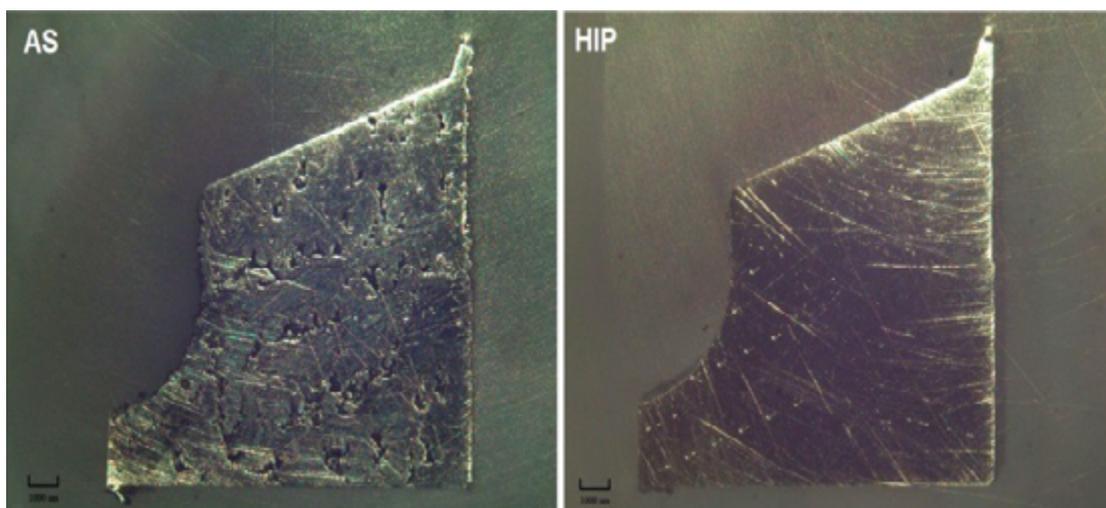
Temperatures up to 1450°C;

Cooling gradients over 3000°C/min;

Max dimensions: cylinder with height 700 and Ø 228 mm



Hot isostatic press and Mo furnace detail



Case study: In718 alloy before and after treatment in HIP

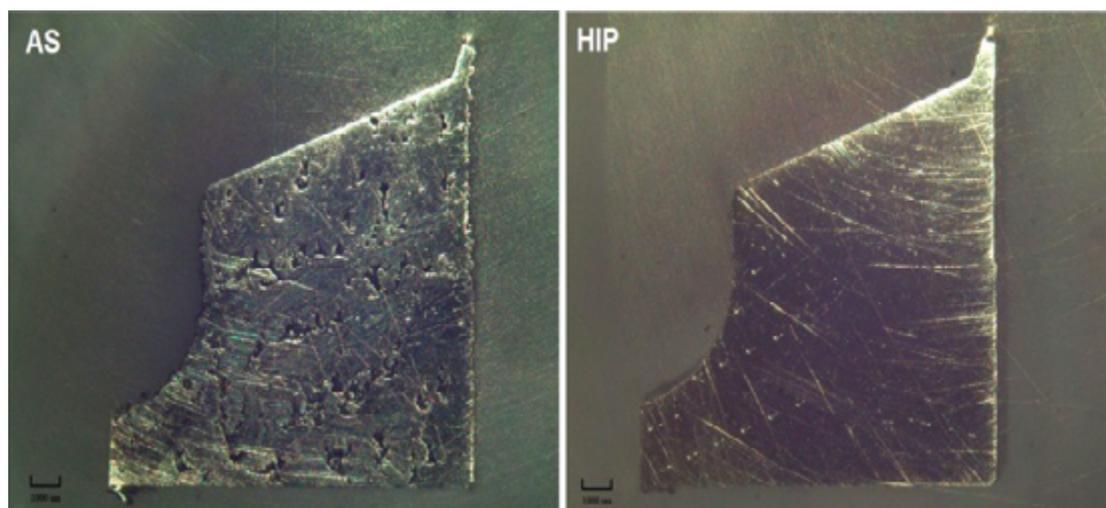
- Minima dimensione del fascio: 250  $\mu\text{m}$
- CAD Interface standard: STL
- Materiale in uso: Ti6Al4V
- Vantaggi EBM rispetto ad altri processi: assenza di tensione residue nel componente, utilizzo ridotto dei supporti, pulizia delle polveri mediante processo in vuoto, realizzazione di componenti all'interno del letto di polvere;
- Accessori: Powder Recover system, PRS, per la sabbiatura dei componenti dopo la stampa e il recupero della polvere; vibrosetacciatore.

#### Pressa Isostatica a caldo (Hot Isostatic Press, HIP)

- Materiali avanzati ad alte prestazioni (settori nucleare, aerospazio, automotive, energia, etc.);
- Pressioni fino a 2070 bar;
- Temperature fino a 1450°C;
- Gradienti di raffreddamento oltre i 3000°C/min;
- Dimensioni max: cilindro con altezza 700 e  $\varnothing$  228 mm



Hot isostatic press and Mo furnace detail



Pressa isostatica a caldo

## LIBS LABORATORY FOR MATERIAL CHARACTERIZATION

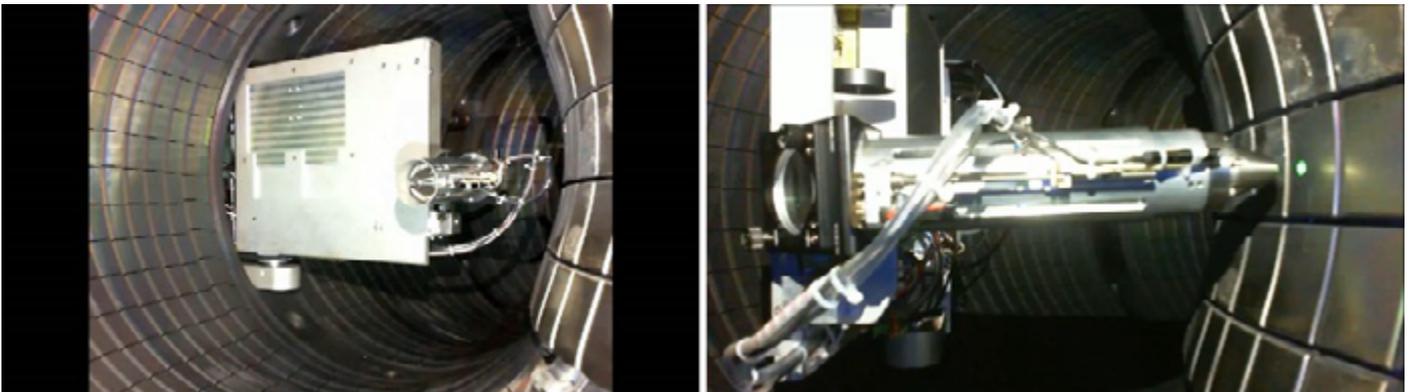
The Laboratory develops laser spectroscopic techniques aimed at identifying material composition and suitable to field application. Specifically, it is focused on the development of laser diagnostic systems for local and remote characterization of on-line machine components (also in vacuum and in the presence of fluids) working in hostile environments (high/low temperature, ionizing radiations).

**Potential users:** power plants for electrical energy production from combustion (with traditional fuels, nuclear for fission and/or fusion).

The Laboratory has specific expertise on the study of laser induced plasmas and on the development of innovative laser technologies for different applications.

The LIBS technique (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) has long been proposed as an analytical method for element detection in industrial processes, in the safeguard and control of the environment, or in cultural heritage preservation. With respect to various laboratory analytical techniques, LIBS advantages are clear: no need for sample pretreatment, and real-time results. Currently qualitative and quantitative analyses as well as profilometry can be performed in situ on a given surface, which is particularly useful to field applications.

A specific activity has been developed in the Laboratory aimed at optimizing the LIBS technique on materials important for nuclear fusion. LIBS technique research and development activities have been carried out for the qualitative, semi-quantitative and quantitative detection of contaminants on the surface of components inside the vacuum chamber of a tokamak machine.



Transportable high-resolution LIBS system available at the ENEA Frascati Research Center

## LABORATORIO LIBS PER LA CARATTERIZZAZIONE DI MATERIALI

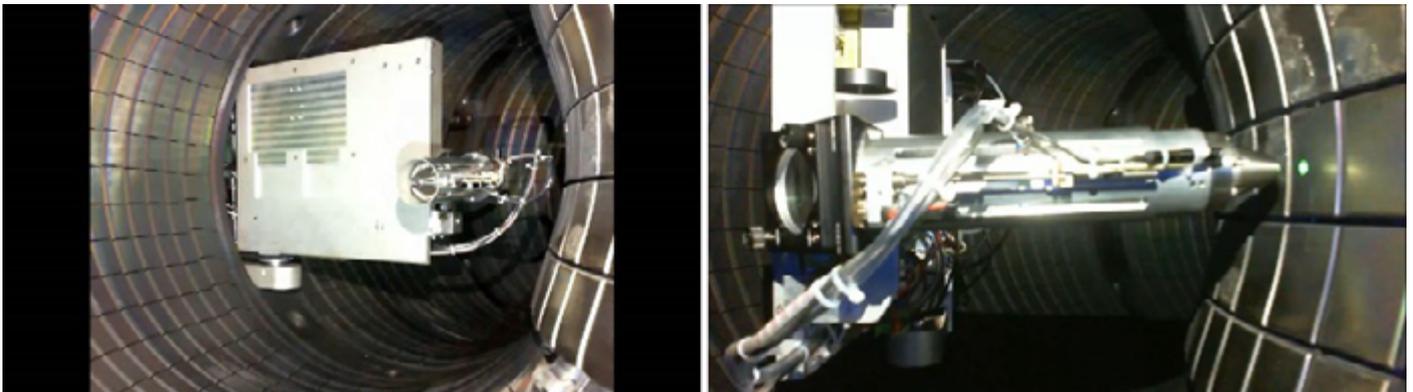
Il Laboratorio opera nello sviluppo di tecniche spettroscopiche laser, applicabili sul campo, per la misura della composizione di materiali. Si propone, in particolare, per lo sviluppo di sistemi diagnostici laser per la caratterizzazione, locale e remota, di componenti di impianto in fase di esercizio (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

## CLIMATIC QUALIFICATION LABORATORY

The Laboratory can perform the climatic qualification of nuclear components and systems using thermostatic ovens, salt spray chambers, and climatic chambers for thermal aging tests. Potential users: electronics, mechanical, aerospace, transport, nuclear industries.

Climatic qualification consists in subjecting the components and systems under examination to an accelerated thermal aging process to simulate long-term operation in a short period of time. The stresses imposed can be defined with physical or chemical degradation laws using measurable parameters, in order to obtain physical and chemical properties similar to those determined by a long period of use in operating conditions.

Among the most significant activities carried out by the Laboratory are:

- shock, drop and thermal aging qualification of transport containers for plutonium solutions (reference standards: 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);
- RHEINMETALL tests (reference standard: MIL-STD 810 G).



Climatic chambers and salt spray chambers for environmental qualification of nuclear components and systems



Climatic chamber for thermal cycling tests.



Transport container for plutonium solutions after 9 m drop test and thermal aging at 800 °C for 30 minutes

## LABORATORIO PER QUALIFICA CLIMATICA

Il Laboratorio può effettuare la qualifica climatica di componenti e sistemi nucleari mediante stufe termostatiche, camere a nebbia salina, e camere climatiche per prove d'invecchiamento termico. 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 a urti, caduta e invecchiamento termico 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 di cicli termici.



Contenitore di trasporto per soluzioni di plutonio dopo la prova di caduta da 9 m e invecchiamento termico a 800 °C per 30 minuti

## LABORATORY FOR FBG OPTICAL FIBER SENSING FOR THERMAL AND STRUCTURAL MONITORING

The Laboratory is focused on the development, planning and production of fiber-optic sensing systems specifically suited for thermal and structural monitoring of devices, structures and plant components. The main activities of the Laboratory are addressed to: the development of custom systems for permanent and realtime monitoring of plant components and structures whose critical role calls for applying both on-service SHM survey and structural monitoring during qualification tests in hostile environments.

**Potential users:** manufacturers and users of critical components.

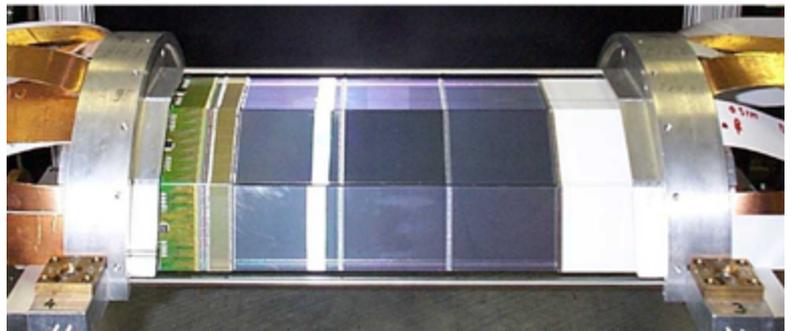
The Laboratory has gained focused knowledge in the development, planning and production of FBG (Fiber Bragg Grating) sensing systems specifically suited to monitor thermal gradients and mechanical deformation distribution. The targeted technology allows to develop distributed monitoring systems with simple cabling and minimal invasiveness, high density of sensing points, high resolution, extended measuring range, dynamic response capability and long-term stability. Moreover, FBG sensors are completely immune to e.m. disturbance and can be produced with enhanced Radiation Hardness capability. The Laboratory has worked to develop and characterise FBG sensors for application in high radiation environments.

FBG sensors are optical Strain Gauges and optical temperature sensors at the same time. Typically, 5 mm long, FBG sensors are intrinsic optical sensors located inside the core of the optical fiber and neither its dimensions nor its mechanical properties are affected. The small dimension of the FBG sensor makes the monitoring 'point-like'; more sensors can be located together along the same optical fiber, thus allowing to realize distributed sensing systems to map temperature and strain over extended surfaces.

The Laboratory has gained knowledge focused on techniques well suited to embedding FBG sensors in composite, ceramic and metallic materials. Such techniques allow to develop 'smart structures', i.e. components with an embedded monitoring system that permanently provides real-time control of their very mechanical/thermal working condition.



RadHard testing of FBG sensors at the Frascati Neutron Generator plant (ENEA – Frascati Research Centre)



Silicon Microstrip Vertex Detector used in the FINUDA nuclear experiment. The laboratory has developed a distributed FBG monitoring system for real-time control of mechanical stress to be operated under high magnetic field and high fluence of ionising particles.

## LABORATORIO SENSORI IN FIBRA OTTICA FBG PER MONITORAGGI TERMICI E STRUTTURALI

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 richiede 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.**

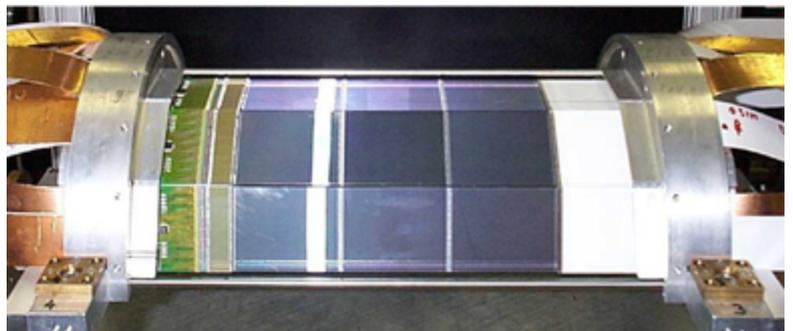
Il Laboratorio detiene specifiche competenze nello sviluppo, progettazione e realizzazione di sistemi di sensori FBG (Fiber Bragg Grating) idonei a monitorare gradienti termici e distribuzioni di deformazione. La tecnologia adottata consente la realizzazione di sistemi distribuiti di minima invasività, 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.

## LITHIUM TECHNOLOGIES LABORATORY FOR NUCLEAR APPLICATIONS: LIFUS 6 AND ANGEL FACILITIES

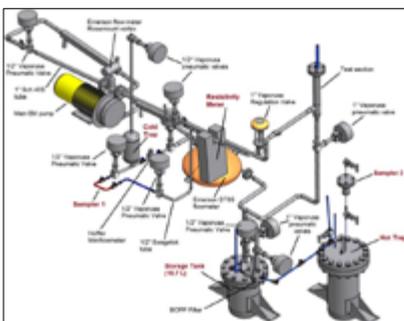
The characterization of the properties of liquid lithium, particularly the corrosion it exerts on contact materials, is crucial for the appropriate use of this metal in fusion energy research and applications. To this end, the Lithium Technologies Laboratory is equipped with two distinct facilities, "Lifus 6" and "ANGEL," both designed and built by ENEA over the past decade, as well as chemical equipment for quantifying the level of impurities in solid lithium samples. Potential Users: universities, research institutes, and private companies operating in the field of nuclear applications.

Lifus 6 is a liquid lithium facility (inventory ~20L), designed for conducting isothermal erosion-corrosion tests with flowing lithium. The facility consists essentially of a circuit divided into two branches. The main branch, where lithium flows at a maximum temperature and flow rate of 330°C and 30L/min, respectively, houses the Test Section for the insertion of material specimens under investigation. In this section, lithium can reach a maximum speed of 15 m/s. The secondary branch is dedicated to evaluating and reducing impurities in the flowing lithium, as these are known to enhance its corrosive behavior. For this purpose, it includes a Cold Trap (200-210°C) capable of purifying lithium from soluble impurities (oxygen, hydrogen, carbon), a Resistivity Meter that allows real-time monitoring of the total impurity concentration, and a sampler, which is a removable Swagelok tube (~25 mL) that, once filled with lithium, cooled to room temperature, and disconnected, allows offline quantification of nitrogen mass in the metal. Lifus 6 is also equipped with a Hot Trap, connected directly to the storage tank, where the entire lithium inventory at 550-650°C can be brought into long-term contact with a specific transition metal (getter), capable of absorbing and removing nitrogen impurities from the liquid lithium.

The ANGEL facility is specifically designed to test nitrogen getters, with the capability to evaluate up to five simultaneously. The facility consists of the following elements:

- A storage tank where the entire lithium inventory (approximately 10 kg) is initially in solid phase and then melted. This tank is equipped with a lithium sampler and an incoming gas line for the addition of small, calibrated amounts of nitrogen.
- A "dispenser" tank that allows for the precise dosing of the same volume (approximately 800 mL) of liquid lithium from the main tank to each of the 5 test containers.
- 5 identical test vessels, each of which holds lithium in contact with a specific getter (approximately 80 g) up to a temperature of 650°C.

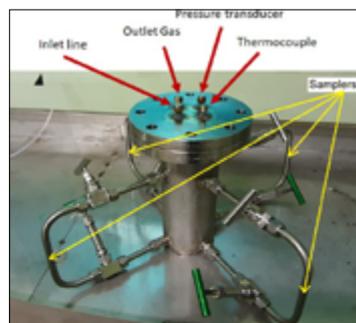
ANGEL is a versatile facility and, as such, it may be used in the future for various research applications. It will be particularly useful for performing comparative tests of different systems, each in separate contact with the same identical lithium, under controlled purity and safety conditions. Solid lithium samples, whether taken from Lifus 6, ANGEL, or any other source, can be analyzed in the lithium laboratory to accurately quantify the nitrogen content.



3D View of the Lifus 6



View of the Lifus 6 facility



Test vessel of ANGEL before insulation and integration with the facility



Equipment for Lithium Sample Analysis

## LABORATORIO TECNOLOGIE LITIO PER APPLICAZIONI NUCLEARI

La caratterizzazione delle proprietà del Litio liquido e, in particolare, della corrosione che esso esercita sui materiali a contatto è di fondamentale importanza per l'ideoneo impiego di questo metallo nella ricerca e nelle applicazioni dell'energia da fusione. In tale ottica, il laboratorio di tecnologie Litio è dotato di 2 differenti facilities, "Lifus 6" e "ANGEL", entrambe concepite e realizzate da ENEA durante lo scorso decennio, e dell'attrezzatura chimica per quantificare il grado di impurezze in un campione di Litio solido.

Potenziali utenti: università, istituti di ricerca e società private operanti nel campo delle applicazioni nucleari.

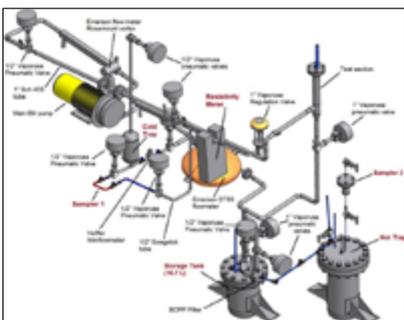
Lifus 6 è un impianto a Litio liquido (inventario ~ 20L), funzionale all'esecuzione di test isotermi di erosione-corrosione da Litio fluente. L'impianto è essenzialmente costituito da un circuito diviso in due rami. Il ramo principale, dove il Litio scorre alla massima temperatura e portata rispettivamente di 330°C e 30L min<sup>-1</sup>, ospita la Sezione di Prova, per l'inserimento dei provini del materiale investigato: qui il Litio può raggiungere la max velocità di 15 m s<sup>-1</sup>. Il ramo secondario è invece preposto alla valutazione e riduzione delle impurezze contenute nel Litio fluente, poiché è noto come queste accentuino il suo comportamento corrosivo. A tal fine, ospita una Trappola Fredda (200-210°C), in grado di purificare il Litio dalle impurezze poco solubili (Ossigeno, Idrogeno, Carbonio); un Resistivity Meter, che consente di monitorare in tempo reale la concentrazione totale di impurezze; e un campionatore, cioè un tubo Swagelok rimuovibile (~ 25 mL) che, una volta riempito di Litio, raffreddato a temperatura ambiente e scollegato, permette di quantificare offline la massa di Azoto nel metallo. Lifus 6 è inoltre dotato di una Trappola Calda, collegata direttamente al serbatoio di stoccaggio, dove tutto l'inventario di Litio a 550-650°C può essere posto in contatto per lungo tempo con uno specifico metallo di transizione (getter), in grado di assorbire e rimuovere impurezze di Azoto dal Litio liquido.

La facility ANGEL ha proprio lo scopo di testare getter per Azoto, fino a 5 simultaneamente. La facility è essenzialmente costituita dai seguenti elementi:

- un serbatoio 'madre', dove tutto l'inventario di Litio (~ 10 Kg) è posto inizialmente in fase solida e poi fuso, equipaggiato con un campionatore di Litio e con una linea gas in ingresso, per l'aggiunta di piccole, calibrate quantità di Azoto;
- un serbatoio 'dispensatore', che consente di dosare esattamente lo stesso volume (~ 800 mL) di Litio liquido dal serbatoio madre a ciascuno dei 5 contenitori di prova;
- 5 identici contenitori di prova, in ciascuno dei quali il Litio è posto in contatto con uno specifico getter (~ 80 g) fino ad una temperatura di 650°C.

ANGEL è una facility versatile e come tale potrà essere impiegata in futuro anche per differenti applicazioni di ricerca, ogni qual volta sia richiesto di eseguire test comparativi di sistemi diversi, ciascuno separatamente a contatto con lo stesso identico Litio, in condizioni di purezza e sicurezza controllate.

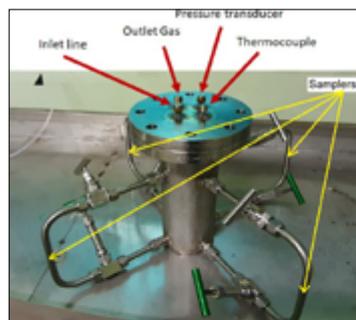
I campioni di Litio solido, sia prelevati da Lifus 6, ANGEL o qualsivoglia altra fonte, possono essere analizzati nel laboratorio Litio per quantificare in maniera accurata il contenuto di Azoto.



Vista 3D del Design di Lifus 6



Vista reale dell'impianto Lifus 6



Contenitore di prova di ANGEL prima della coibentazione e connessione al resto della facility



Attrezzatura per l'analisi dei campioni di Litio

## INDIVIDUAL MONITORING SERVICE

The Individual Monitoring Service (IMS) of the ENEA Radiation Protection Institute (ENEA-IRP) supplies personal and environmental dosimeters designed and qualified in ENEA laboratories to monitor external exposure to all types of radiation.

**Potential users: employers/operators of practices with risks from ionizing radiation due to external exposure, including nuclear facilities.**

The Individual Monitoring Service provides 6 kinds of dosimeters to assess Personal Dose Equivalent,  $H_p(d)$ , and Ambient Dose Equivalent,  $H^*(d)$ , and has the necessary equipment to process them. In particular:

- whole body TL dosimeter for photons, based on 2 detectors of  $LiF(Mg,Cu,P)$ ;
- whole body TL dosimeter for photons and thermal neutrons, based on 2 detectors of  $LiF(Mg,Cu,P)$  and  $7LiF(Mg,Cu,P)$  respectively;
- extremity TL dosimeters for X,  $\gamma$  and high-energy  $\beta$  based with one  $LiF(Mg,Cu,P)$  detector (available with ring or bracelet suitable for sterilization);
- extremity TL dosimeters for X,  $\gamma$  and medium-energy  $\beta$  with one thin detector of  $LiF(Mg,Cu,P)$  (available with sterilizable ring or bracelet);
- whole body (CR-39<sup>®</sup>) dosimeter for fast neutrons;
- Eye lens dosimeter.

The service is provided to internal ENEA users and to an external users (approximately 200 clients), consisting of 25% hospital companies, 25% research institutes, 25% industries, 5% companies operating in the decommissioning of nuclear facilities, and 20% various operators, predominantly private healthcare laboratories.

The constant participation in national and international intercomparisons allow the Service for the regular verification of the performance of every type of dosimeter in terms of accuracy and precision, confirming their quality and reliability.



Photon dosimeter



Thermal neutron dosimeter



Fast neutron dosimeter



Extremity dosimeter

## SERVIZIO DI DOSIMETRIA ESTERNA

Il Servizio di dosimetria esterna dell'Istituto di Radioprotezione ENEA fornisce 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/esercienti di pratiche con rischi da radiazioni ionizzanti per esposizione esterna, incluse impianti nucleari.**

Il Servizio dispone di 6 tipi di dosimetri idonei alla misura di Hp(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  $^7\text{LiF(Mg, Cu, P)}$ ;
- dosimetri per estremità per  $\gamma$  di alta energia, X e  $\beta$ , basati su rivelatori di LiF(Mg, Cu, P)(disponibili su supporto ad anello e bracciale sterilizzabili);
- dosimetri per estremità per  $\gamma$  di media energia, X e  $\beta$ , 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<sup>®</sup>;
- dosimetro cristallino.

Il Servizio è fornito all'utenza interna ENEA ed a un'utenza esterna di circa 200 clienti, costituita per il 25% da aziende ospedaliere, il 25% da istituti di ricerca, il 25% da industrie, il 5% da società operanti nel decommissioning di impianti nucleari e il 20% da operatori vari, prevalentemente laboratori sanitari privati.

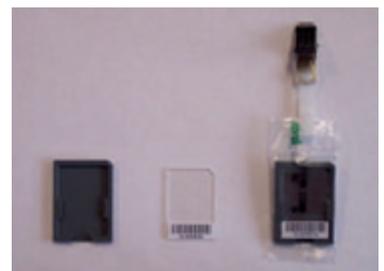
I buoni risultati ottenuti dal Servizio nella costante partecipazione ad interconfronti nazionali e internazionali permette la regolare verifica delle prestazioni di ogni tipo di dosimetro in termini di accuratezza e precisione, confermandone la qualità e affidabilità.



Dosimetro per fotoni



Dosimetro per neutroni termici



Dosimetro per neutroni veloci



Dosimetro per estremità

## SERVICE FOR RADIOACTIVITY MEASUREMENTS ON SAMPLES OF VARIOUS NATURE AND ORIGIN

The Service provided by the ENEA Radiation Protection Institute (ENEA-IRP) allows to determine radioactivity on environmental, food and other samples, as well as the monitoring of surface contamination from both radiometric and dosimetric perspectives. Thanks to the completeness and quality of the measurements provided, it is the most equipped facility in Italy able to fulfil any kind of requirement to detect radioactivity levels on samples of various nature and origin for the majority of natural and artificial radionuclides of interest for radiation protection purposes.

**Potential users: employers, registrants and licensees operating in nuclear power plants or facilities where radiological environmental surveillance is required. Current users are: ENEA, public administrations and companies like Nucleco, SOGIN, ENI.**

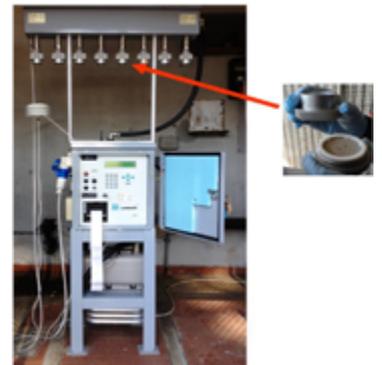
The Service combines four distinct laboratories, each originally established for environmental monitoring at its respective ENEA Reference Centre (Casaccia, Frascati, Saluggia, and Trisaia). This integration has significantly expanded its capabilities and expertise in radiometric sample analysis by utilizing the most advanced and current measurement methods:

- X-gamma spectrometry
- alpha spectrometry
- liquid scintillation counting
- gross alpha and beta counting
- ICP-Mass spectrometry.

The Service also offers the possibility to perform surface contamination monitoring resulting from the dispersion of radioactive material in various environments, using both direct and indirect methods, as well as measurements of airborne radioactivity concentration and dose rate in the air.

The methods, equipment, and facilities of the Institute, combined with the chemical and radiochemical treatment techniques specifically developed and qualified for a broad spectrum of materials, now enable the ENEA-IRP laboratories to perform measurements on any type of sample from any facility or area. This includes all radionuclides of interest for radiation protection.

The high quality of the measurements provided, in compliance with the national and international standards, is also ensured by ongoing research and implementation of results in routine procedures together with the constant successful participation in national and international intercomparison exercises and performance tests.



IRP Casaccia - Laboratory for radiological surveillance: gamma spectrometry measurement area

## SERVIZIO PER MISURE DI RADIOATTIVITÀ SU CAMPIONI DI VARIA NATURA E ORIGINE

Il Servizio, fornito dall'Istituto di Radioprotezione ENEA (ENEA-IRP), consente la misura di radioattività su campioni di diversa natura e origine, ambientali, alimentari e assimilabili, nonché il monitoraggio di contaminazione superficiali di ambienti sia dal punto di vista radiometrico che dosimetrico. Costituisce, per completezza e qualità delle prestazioni fornite, il Servizio più attrezzato nel Paese per affrontare richieste di misure di caratterizzazione radiologica su campioni per la 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, ENI.

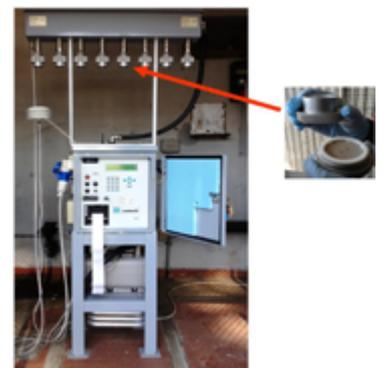
Il Servizio è costituito da quattro laboratori distinti ed originariamente finalizzati al solo monitoraggio ambientale del Centro ENEA di riferimento (Casaccia, Frascati, Saluggia, Trisaia). La loro integrazione ha permesso di estenderne le potenzialità e le competenze nel campo dell'analisi radiometrica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

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

Il Servizio offre inoltre la possibilità di effettuare il monitoraggio della contaminazione superficiale derivanti dalla dispersione di materiale radioattivo in diversi ambienti, mediante metodologie dirette e indirette nonché misure della concentrazione di radioattività in aria e del rateo di dose in aria.

I metodi, le attrezzature e le strutture dell'Istituto, unitamente alle tecniche di trattamento chimico e radiochimico sviluppate e qualificate per un'ampia gamma di materiali, consentono ai laboratori ENEA-IRP di effettuare misure su qualsiasi tipologia di campione proveniente da qualsiasi impianto o area per tutti i radionuclidi di interesse ai fini di radioprotezione.

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 alle più significative iniziative di interconfronto a livello nazionale ed internazionale.



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

## INDIVIDUAL MONITORING SERVICE FOR INTERNAL CONTAMINATION

The ENEA Radiation Protection Institute (ENEA-IRP) provides services aimed at the individual monitoring for internal contamination by ionizing radiation and is based on the main and most up-to-date analysis methods and measurements to detect radioactivity in the human body (in vivo measurements) and in biological samples (in vitro measurements). Thanks to the completeness and quality of the measurements provided, it is the only service in Italy able to fulfil any request in the field of individual monitoring for internal dosimetry.

**Potential users:** activities associated with the risk of radioactive contamination. **Actual users are:** ENEA, ISIN, VVFF (firefighter units), public administrations and companies like Nucleco, SOGIN, ENEL, ENI.

The analysis and measurement methods are:

- whole body and organ counting (low and high energy)
- X-gamma spectrometry (bioassay)
- alpha spectrometry (bioassay)
- liquid scintillation counting (bioassay)
- gross alpha and beta counting (bioassay)
- ICP-MS spectrometry (bioassay).

Methods, equipment and facilities available at ENEA-IRP for both direct and indirect methods, together with chemical and radio-chemical bioassay treatment techniques (urines, faeces, nasal mucus) defined and qualified at ENEA-IRP labs, allow to provide measurements for individual monitoring complying with the highest radiation protection standards and recommendations for all radionuclides of interest for dosimetry purposes. Among the most important:  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , Uranium isotopes, Plutonium isotopes,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$

The high quality of measurements provided is also ensured by continuous research and implementation of results in routine procedures together with the constant successful participation in national and international intercomparison exercises and performance tests.



IRP Casaccia – Laboratory for in vivo measurements (Whole Body Counter, WBC): lung activity measurement for radionuclides emitting gamma rays from 10 to 100 keV



RP Saluggia – Radiochemical treatment of bioassay samples for Plutonium radioisotopes determination and electrodeposition apparatus



## SERVIZIO PER IL MONITORAGGIO INDIVIDUALE DI CONTAMINAZIONE INTERNA

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, ISIN; PPAA, VVFF e società fra cui Nucleco, SOGIN, ENEL, ENI.

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)
- conteggio in 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:  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , isotopi dell'Uranio, isotopi del Plutonio,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ).

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.



IRP Casaccia - Laboratorio misure in vivo (WBC): misura dell'attività nel polmone di radionuclidi con emissione X-gamma fra 10 keV e 100 keV)



Trattamento radiochimico di campioni di bioassay per misure di isotopi del Plutonio e apparato di elettrodeposizione



## RADON AIR CONCENTRATION MEASUREMENT SERVICE

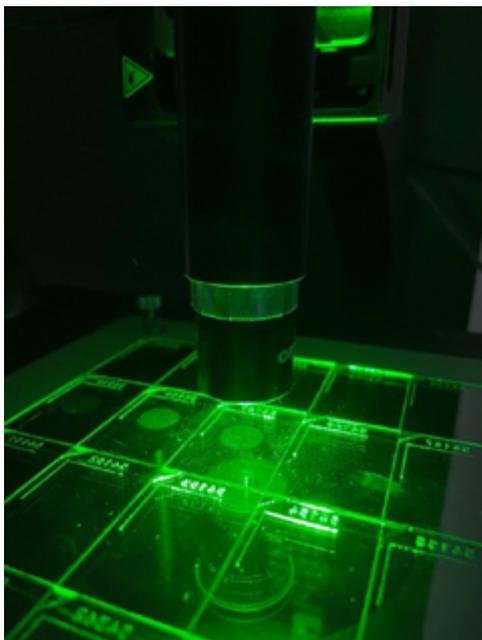
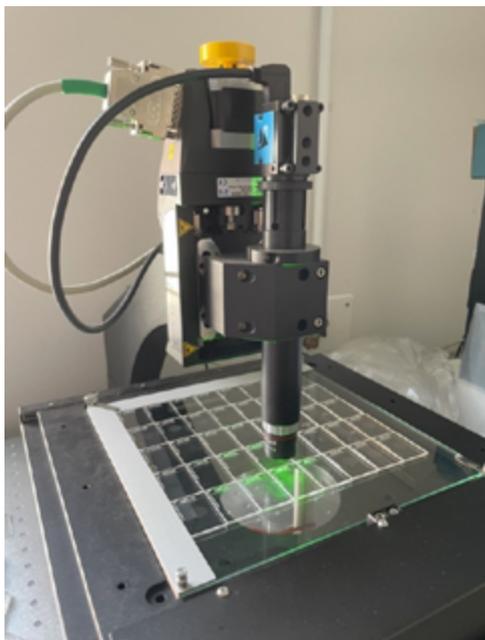
The radon concentration assessment service of the ENEA Radiation Protection Institute (ENEA-IRP) allows for the evaluation of the risk from direct exposure to radon by measuring its concentration in the air and the risk from internal exposure due to the incorporation of its alpha-emitting decay products.

**Potential users: public administration, hospital companies, businesses, and the public.**

The Service was established in 2002 to provide employers subject to regulations governing exposure to natural sources of ionizing radiation with a recognized facility suitable for measuring radon concentration in the air. The Service provides passive sampling devices directly to the user, who is responsible for their placement and for conducting the subsequent laboratory analysis, along with issuing the corresponding measurement report.

The Service also offers support to users through direct on-site interventions for a preliminary analysis of potential radon concentration to optimize the monitoring program.

In collaboration with other ENEA-IRP Laboratories, the Service provides users with measurements of natural radioactivity in samples of various nature and origin, particularly construction materials. The measurement technique used is gamma spectrometry in a Marinelli beaker, with sample pre-treatment aimed at achieving radioactive equilibrium between Ra-226 and its decay products.



Automatic CR39 detectors readout facility



Alpha track radon passive sampling device

## SERVIZIO DI VALUTAZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DI RADON IN ARIA

Il Servizio di valutazione della concentrazione di radon dell'Istituto di Radioprotezione ENEA (ENEA-IRP) consente la valutazione del rischio per esposizione diretta al radon mediante la misura della sua concentrazione in aria e di quello per esposizione interna dovuta all'incorporazione dei suoi prodotti di decadimento alfa emettitori.

**Potenziali utenti: Pubblica amministrazione, Aziende ospedaliere, imprese e persone del pubblico.**

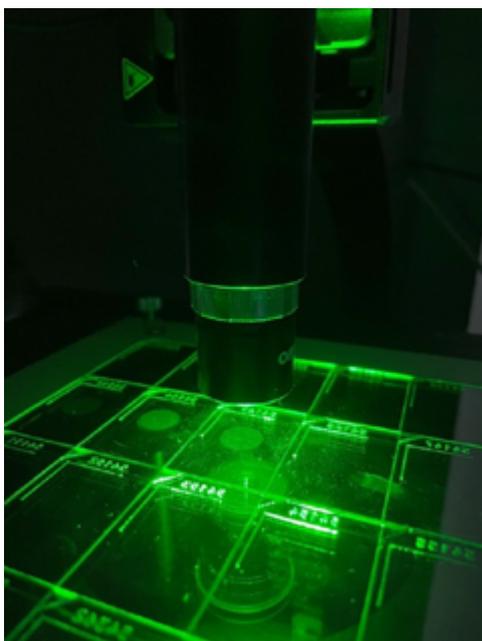
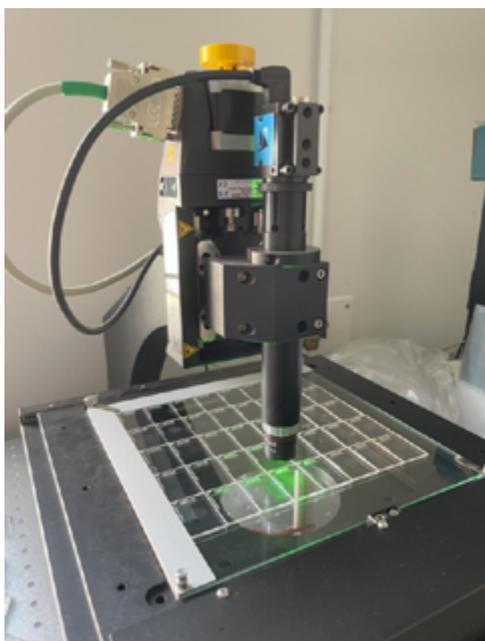
Il Servizio è stato istituito nel 2002 per fornire ai datori di lavoro soggetti alla normativa che disciplina l'esposizione a sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti, una struttura riconosciuta idonea per la misura della concentrazione di radon in aria.

Il Servizio fornisce dispositivi di campionamento passivo direttamente all'utente, che provvede in proprio al loro posizionamento e ne esegue la successiva analisi in laboratorio con emissione del relativo rapporto di misura.

Il Servizio offre inoltre supporto all'utenza anche con intervento diretto in loco per una analisi preventiva della potenziale concentrazione di radon ai fini dell'ottimizzazione del programma di campionamento.

Il Servizio in collaborazione con gli altri Laboratori ENEA-IRP fornisce all'utenza servizi di misura della radioattività naturale in campioni di varia natura e origine in particolare materiali da costruzione.

La tecnica di misura impiegata è la spettrometria gamma in beker di Marinelli con pre-trattamento del campione finalizzato al conseguimento dell'equilibrio radioattivo del Ra-226 con i suoi prodotti di decadimento.



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



Dispositivo ENEA per il campionamento passivo del radon

## NUCLECO - QUALIFICATION OF RADIOACTIVE WASTE CONDITIONING PROCESSES

**Nucleco activities are focused on: qualification of conditioning processes of liquid and solid radioactive wastes arising from new-generation nuclear power plants; treatment and cement matrix conditioning of very low (VLLW), low (LLW) and intermediate (ILW) level radioactive wastes resulting from decommissioning old nuclear power plants and research centres.**

**Potential users: industries involved in radioactive waste conditioning, safety authorities.**

Management strategies for very low (VLLW), low (LLW), and intermediate (ILW) level radioactive waste (GT No. 33) require that such waste undergo specific treatment and subsequent conditioning processes in order to produce a final waste form in which the radionuclides are encapsulated in a solid matrix (cementitious or geopolymeric) to limit their potential mobility. The qualification of a conditioning process is the set of activities designed to demonstrate that the final waste products meets the minimum requirements (mechanical, chemical and physical characteristics) for storage temporary storage, transport and disposal.

Among the most important NUCLECO projects the following must be mentioned:

CEMEX: pre-qualification of the conditioning process by solidification (cementation) of liquid radioactive wastes MTR and CANDU (2004-2007); qualification of the conditioning process by solidification of CANDU (2011-2013);

MAGNOX: qualification of the conditioning process by immobilization of solid radioactive wastes consisting of magnox alloy splitters and corrosion products (2005-2006); PHADEC: qualification of the conditioning process by direct cementation of solid powder ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) radioactive wastes (2006-2009);

PRODOTTO FINITO: qualification of the conditioning process by solidification (cementation) of liquid radioactive wastes containing U and Th (2006-2009);

RESINS: pre-qualification and qualification of the conditioning process by direct solidification of solid radioactive wastes from Wet Oxidation of exhausted resins (2009-2013);

SLUDGE: pre-qualification and qualification of the conditioning process in cement matrix of Radwaste sludge (2020-2022);

SUPER COMPACTION LIQUIDS: pre-qualification and qualification of the conditioning process in cement matrix of liquid waste from super-compaction activities (2017-2021);

Horizon PREDIS (European project): study of conditioning in geopolymer matrix of organic liquids of various kinds (oils, tributylphosphate/dodecane mixtures, scintillation liquids).



Preparation of cement mixture and packing of specimens



Concrete specimens for qualification tests



Compressive strenght test

## NUCLECO - QUALIFICAZIONE DEI PROCESSI DI CONDIZIONAMENTO DI RIFIUTI RADIOATTIVI

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 attività molto bassa (VLLW), bassa (LLW) e media (ILW) 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 (GT n. 33) di attività molto bassa (VLLW), bassa (LLW) e media (ILW) 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.

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

CEMEX: prequalifica del processo di condizionamento mediante solidificazione (cementazione) di rifiuti liquidi MTR e CANDU (2004-2007); qualifica del processo di condizionamento mediante cementazione dei liquidi CANDU (2011-2013);

MAGNOX: qualifica del processo di condizionamento mediante inglobamento di rifiuti radioattivi solidi costituiti da parti metalliche e prodotti di corrosione (2005-2006);

PHADEC: prequalifica e qualifica del processo di condizionamento mediante cementazione diretta di rifiuti solidi ( $Fe_2O_3$ ) polverulenti (2006-2009);

PRODOTTO FINITO: prequalifica e qualifica del processo di condizionamento mediante solidificazione (cementazione) di rifiuti liquidi contenenti U e Th (2006-2009);

RESINE: prequalifica e qualifica del processo di condizionamento mediante solidificazione diretta di residui solidi ottenuti dall'ossidazione ad umido di resine esaurite (2009-2013);

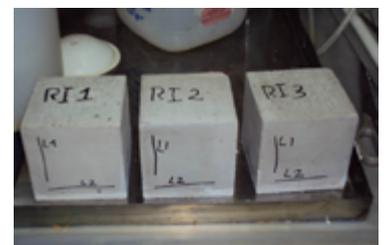
FANGHI: prequalifica e qualifica del processo di condizionamento in matrice cementizia dei fanghi del Radwaste (2020-2022);

LIQUIDI DI SUPER COMPATTAZIONE: prequalifica e qualifica del processo di condizionamento in matrice cementizia di rifiuti liquidi derivanti da attività di super-compattazione (2017-2021);

Horizon PREDIS (progetto europeo): studio del condizionamento in matrice geopolimerica di liquidi organici di varia natura (oli, miscele tributilfosfato/dodecano, liquidi di scintillazione).



Preparazione dei provini di matrice di condizionamento



Provini cementizi per le prove di qualificazione



Prova di resistenza a compressione

## CONSORZIO CALEF

**CALEF is a research consortium founded in 1998 by ENEA to carry out research activities and promote the industrial use of welding and heat treatment technologies with high energy density, Laser and Electron Beam, facilitating the collaboration between industries, Universities and Research Centres.**

Over the years, the activities of the Consortium have been expanded, alongside welding technologies, research in the field of advanced materials and engineering processes. Moreover, the interests and competences have included innovative methods of industrial production: 3D printing.

Currently, the members could take the advantage of their common and or complementary expertise and tools in multiple specialist fields including:

- Fundamental research, advanced training and vocational training (ENEA, Bari Polytechnic, University of Calabria, Salerno University, Italian Institute of Welding);
- The development of industrial laser equipment (EI.En. S.p.A., Lasit S.p.A., Bystronic S.p.A.);
- Industrial production in the aeronautics sector (Leonardo S.p.A., APR S.r.l.);
- Research in the automotive field (Stellantis S.p.A., Fiat S.C.p.A.);
- Applications to advanced energy systems including nuclear (Research and Development Services-SRS S.r.l.);
- Research in the field of innovative plant and equipment for various industrial sectors (Walter Tosto S.p.A., ECOR International S.p.A.);

In the nuclear field, the Consortium has the design, research and manufacturing capabilities with SRS and Walter Tosto and ECOR among its industrial partners. Together with the high-tech competences for the demands from aerospace and defence with the expertise of Leonardo. Moreover, laser cutting systems, welding and marking and mechatronics of the EI.En and Bystronic groups, works as a transversal support for applied research activities integrated within the-group.

In particular, in reference to the nuclear construction and qualification, Walter Tosto SpA, in addition to its long-standing experience in supplying components for ITER as a supplier of Fusion-4-Energy, has recently acquired one of the largest Electron-Beam-Welding plants in Europe and is collaborating with ENEA in the development of new applications of this technology for the production of complex joints.

In addition to WT's expertise on welding and manufacturing of large components, the expertise of ECOR International SpA can be combined for the manufacture of thin and ultra-thin sub-components, already developed in strategic and advanced sectors such as aerospace and food packaging.

Finally, the expertise in developing custom laser systems of the EI.En group can provide support in the development of advanced remote laser cutting and welding systems for DTT.

In conclusion, through the CALEF Consortium it is possible to integrate industrial expertise under the direct supervision of ENEA, making it a unique tool in the national panorama for the development of advanced components by means of advanced welding processes for nuclear new generation.



Control phases of the ITER divertor casing



Vacuum chamber (left) of the EBW machine and soldering robot (right)



## CONSORZIO CALEF

**CALEF è un consorzio di ricerca fondato nel 1998 da ENEA per svolgere attività di ricerca e promuovere l'impiego industriale delle tecnologie di saldatura e trattamento termico ad elevata densità di energia Laser e Fascio Elettronico grazie all'interazione fra industrie e centri di ricerca.**

Nel corso degli anni le attività del Consorzio sono state ampliate, affiancando alle tecnologie di saldatura, la ricerca nel campo dei materiali avanzati e l'Ingegnerizzazione dei processi e metodi di produzione industriale compresa la stampa 3D. Attualmente i soci hanno competenze e strumentazioni in molteplici campi specialistici che includono:

- la ricerca di base, l'alta formazione e training professionale (ENEA, Politecnico di Bari, Università della Calabria, Università degli Studi di Salerno, Istituto Italiano della Saldatura);
- lo sviluppo di apparecchiature industriali laser (El.En. S.p.A., Lasit S.p.A., Bystronic S.p.A.);
- la produzione industriale nel settore aeronautico (Leonardo S.p.A., APR S.r.l.);
- la ricerca nel campo automobilistico (Stellantis S.p.A., Centro Ricerche Fiat S.C.p.A.);
- le applicazioni ai sistemi avanzati per l'energia compreso il Nucleare (Servizi di Ricerche e Sviluppo-SRS S.r.l.);
- la ricerca nel settore della impiantistica e componentistica innovativa per vari settori industriali (Walter Tosto S.p.A., ECOR International S.p.A.);

Relativamente alle applicazioni Nucleari il Consorzio vanta fra i soci industriali la capacità di progettazione, ricerca e fabbricazione di SRS e Walter Tosto a cui può affiancare le competenze nel settore aerospaziale e difesa di Leonardo e dei sistemi di lavorazione laser di taglio, saldatura e marcatura e meccatronici dei gruppi El.En e Bystronic, il tutto supportato per attività di ricerca applicata dall'integrazione con i gruppi accademici ed ENEA.

In particolare, a supporto delle costruzioni e qualificazioni nucleari, la Walter Tosto SpA oltre alla consolidata esperienza nella Fornitura di componentistica per ITER quale fornitore di Fusion 4 Energy di recente ha acquisito uno degli impianti di saldatura a fascio elettronico più grande di Europa e tramite il consorzio collabora con ENEA allo sviluppo di nuove applicazioni di questa tecnologia per la realizzazione di giunzioni complesse. In modo complementare all'expertise di WT sulla saldatura e realizzazione di componenti di grande dimensione, possono essere associate le competenze della ECOR International SpA per la realizzazione di sub componenti di spessore sottile ed ultrasottile, maturate in settori strategici e avanzati come l'aerospazio ed il food-packaging. In fine, le competenze in termini di sviluppo sistemi laser customizzati del gruppo El.En possono fornire supporto nello sviluppo di sistemi avanzati di taglio e saldatura laser remoto per il DTT.

In generale, attraverso il Consorzio CALEF è possibile integrare competenze industriali sotto la supervisione diretta di ENEA rendendolo uno strumento unico nel panorama Nazionale per lo sviluppo di componentistica avanzata mediante processi di saldatura avanzata per il Nucleare di nuova generazione.

Alcuni dati principali e delle facilities dei soci industriali a maggiore impatto per il settore Nucleare:



Fasi di controllo del casing del divertore di ITER



Camera del vuoto (sinistra) dell'impianto di saldatura a fascio elettronico e robot di saldatura (destra)



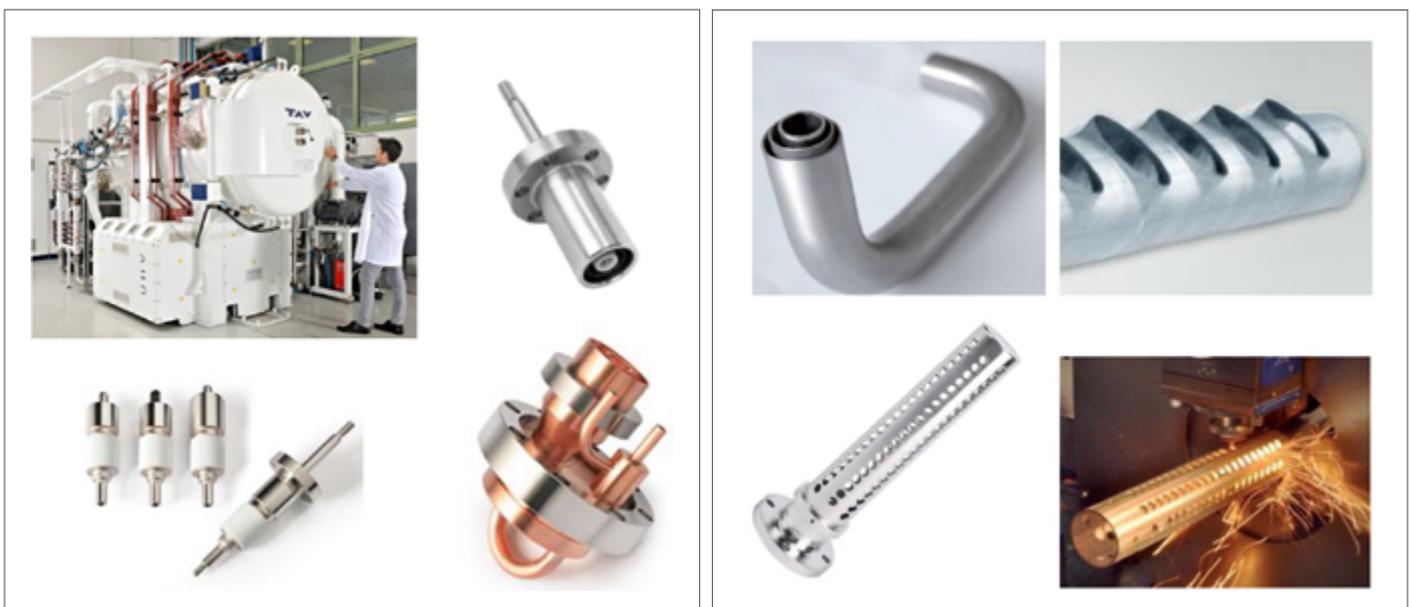
Some key data and facilities of the industrial partners with capabilities for a potential greater impact for the nuclear sector:

**Walter Tosto SpA (WTO) facilities:** the Italian sites comply with the strictest quality assurance requirements in the industry. WTO is fully equipped with state-of-the-art machines for mechanical processing and cutting-edge robotic welding systems. WTO retains a wide experience in welding and strategic logistics, which allow the construction and transport of high-tech items without limits on size and weight.

WTO has the responsibility within the ITER project to build the 316L stainless steel toroidal field coil containers, (as well already done for the experimental fusion reactor JT-60SA ), which is one of the most critical and challenging components in terms of complexity, size, required precision and quantity and quality of welds qualification for the entire ITER project. WTO has also built an electron beam welding (EBW) plant potentially capable of building continuous-solder components up to 12 metres in length and 4 metres in diameter with a weld power of 40 kW and an acceleration voltage of 80 kV. EB technology is the ultimate fusion welding technology used since the 1970s for the production of fuel elements in fission reactors. This EB Technology plant allows welding up to 80 mm in a single pass equivalent of stainless steel but it is applicable to welding from thicknesses of a few tenths to several tens of millimetres. Various types of materials could be welded: copper alloys to titanium alloys including Ni-superalloys and most refractory metal materials (Nb, V, Zr, Ta etc.). With the support of ENEA, heterogeneous junctions can be developed also by studying possible transition materials.

**ECOR International SPA facilities:** ECOR is a strategic partner for design, prototyping, production of critical components in stainless steel steels, special steels, Al, Ti, Cu, Ni, Co alloys and complex systems manufacturing of components and carries out R&D on advanced materials, Surface functionalization, process design and development for innovative components and industrial solutions. ECOR has obtained NADCAP certifications for each of its processes and is a leader in the production of highly complex welded systems, including brazed-soldered components made from a ceramic-metal mixture. ECOR also has its own expertise in the design and manufacture of full-scale test benches and the production of prototypes also (and especially) at the specific request of the customer. The recent acquisitions of machines for additive manufacturing have made it possible to realize increasingly complex components integrated with tubes and sub-assemblies' systems made with traditional processes giving life to the first plants with hybrid welding between pieces obtained by AM + extrusion/ lamination.

**For more info:** Soci - CONSORZIO - CALEF.



Manufacture of ceramic/metal soldered balance components for linear accelerators and vacuum valves

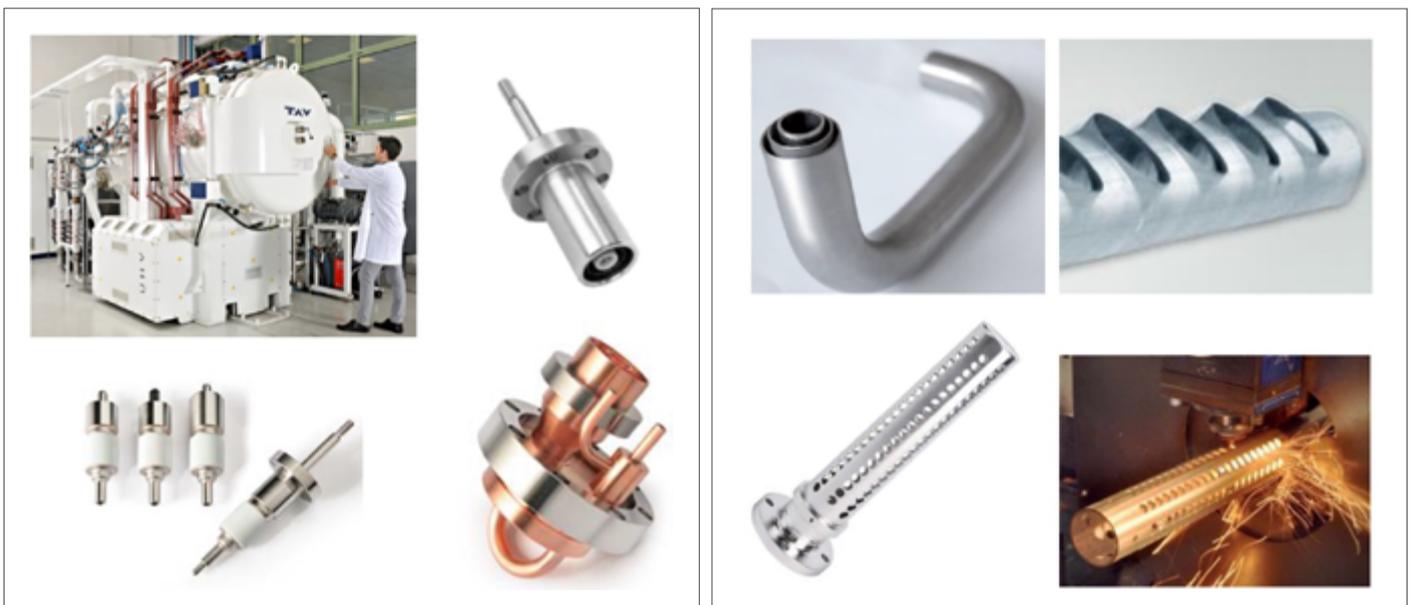
Thin coaxial tubes made with laser technology for aerospace and defence applications

**Walter Tosto SpA (WTO) facilities:** le sedi Italiane rispettano i più severi requisiti di garanzia della qualità in l'industria e sono completamente attrezzate con macchine all'avanguardia per lavorazioni meccaniche e sistemi robotizzati di saldatura, una vasta esperienza nella saldatura e una logistica strategica, che consentono la costruzione e trasporto di articoli altamente tecnologici senza limiti di dimensioni e peso. La WTO ha la responsabilità nel progetto ITER di costruire i contenitori delle bobine di campo toroidali in acciaio inossidabile 316L, come anche per il reattore sperimentale a fusione JT-60SA, che rappresentano uno dei componenti più critici ed impegnativi per complessità, dimensioni, precisione richiesta, quantità e qualità delle saldature richieste.

WTO ha inoltre realizzato un impianto di saldatura a fascio elettronico (FE) potenzialmente in grado di costruire componenti con saldatura continua fino a 12 metri di lunghezza e 4 metri di diametro con potenza di saldatura di 40 kW e tensione di accelerazione 80 kV. La tecnologia FE rappresenta il processo di saldatura per fusione di eccellenza ed è utilizzata fino dagli anni 70 per la realizzazione degli elementi di combustibile dei reattori a fissione. Con questo impianto, è in grado di saldare fino a 80 mm single pass equivalenti di acciaio inossidabile ma è applicabile alla saldatura, da pochi decimi a varie decine di mm, su svariati tipi di materiali che vanno dalle leghe di rame alle leghe di titanio, comprendendo le superleghe di nichel e la maggior parte di materiali metallici refrattari (Nb, V, Zr, Ta etc). Con supporto di ENEA possono essere sviluppate giunzioni eterogenee anche andando a studiare eventuali materiali d'apporto di transizione.

**ECOR International SPA facilities:** è un partner strategico per progettazione, prototipazione, produzione di componenti critici in acciaio inox acciai, acciai speciali, leghe Al, Ti, Cu, Ni, Co e sistemi complessi per la produzione di componenti. Effettua internamente R&D su materiali avanzati, funzionalizzazione di superfici, progettazione e sviluppo di processi per componenti innovativi per l'industria. Ha ottenuto le certificazioni NADCAP per ogni suo processo ed è leader nel campo della produzione di sistemi saldati di grande complessità, anche con componenti saldo-brasati in misto ceramica-metallo. ECOR ha inoltre delle competenze proprie di progettazione e realizzazione di banchi -prova piena scala e realizzazione di prototipi anche (e specialmente) su richiesta specifica del cliente. Le recenti acquisizioni di macchine per manifattura additiva hanno permesso di realizzare componentistica sempre più complessa ed integrata con tubi e sub-sistemi realizzati con processi tradizionali dando vita ai primi impianti con saldature ibride tra pezzi ottenuti per via AM + estrusione/laminazione.

**Per approfondimenti si rimanda a:** Soci - CONSORZIO - CALEF



Manifattura di Componenti saldo brasati ceramica/metallo di acceleratori lineari e di valvole per il vuoto

Tubi coassiali sottili realizzati con tecnologie laser per applicazioni Aerospaziali e della Difesa

