



Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare

Facilities e competenze per i Programmi Spaziali

Giugno 2021 Ver. 2

**C. Baldetti, P. Agostini, N. Cherubini, M. Ciotti, R. Fantoni, P. De Felice, P. Del Prete,
G. Mazzitelli, P. Meloni, M. Tarantino, A. Dodaro**

INTRODUZIONE

L'ENEA da anni collabora con imprese ed enti sia nazionali che internazionali nel settore Aerospazio, in particolare nei seguenti campi:

- Medicina e Biotecnologie;
- Osservazione della Terra;
- Osservazione dell'Universo;

Lo scopo del presente documento è quello di descrivere gli esiti della ricognizione delle apparecchiature, delle strumentazioni e delle competenze presenti all'interno del Dipartimento effettuata per ottenere una panoramica delle attività che possono avere punti di contatto con l'area Spazio.

I principali esiti della ricognizione sono stati:

- una maggiore conoscenza delle risorse distribuite nelle varie strutture e del loro stato;
- la necessità di ottimizzare l'uso delle risorse già disponibili presso il Dipartimento;
- la possibilità di incentivare la collaborazione con Industrie, Enti di ricerca e Università operanti nel settore spazio;
- l'identificazione di apparecchiature, strumentazioni e competenze che potenzialmente potrebbero essere usate per attività in conto terzi.

Le schede riportano le seguenti caratteristiche:

- Facility;
- Tipologia e luogo dove è presente l'apparecchiatura e/o strumentazione;
- Descrizione Facility;
- Caratteristiche Tecniche;
- Utilizzo;
- Necessità per il funzionamento;
- Anno di costruzione, ammodernamenti successivi e stato attuale;
- Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio;
- Competenze spendibili in Area Spazio;

Il materiale riportato in questo documento rappresenta lo stato attuale delle apparecchiature sperimentali, impianti e competenze spendibili in attività collegate ai piani di ricerca e sviluppo in Area Spazio.

INDICE

1	DIVISIONE: FUSPHY	5
1.1	Laboratori SCM (Sperimentazioni Con Macchine)	5
1.1.1	Proto-Sphera.....	5
1.2	Laboratorio SDL.....	7
1.2.1	Laser ABC.....	7
1.3	Laboratorio Eccimeri.....	10
1.3.1	Apparato di irraggiamento UV in continua.....	10
1.3.2	Sorgente EUV impulsata-DPP	12
1.3.3	Bussola solare.....	15
1.3.4	Sorgente di neutri energetici.....	17
2	DIVISIONE FSN ING	20
2.1	Laboratorio Sviluppo Materiali Nucleari	20
2.1.1	Detonation Gun	20
2.1.2	Atomic Layer Deposition System	22
3	DIVISIONE FSN-FUSTEC	24
3.1	Laboratorio TEN	24
3.1.1	Neutron Generator FNG.....	24
3.1.2	Laboratorio Diamanti (DiaL)	27
4	DIVISIONE TECNOLOGIE, IMPIANTI E MATERIALI PER LA FISSIONE NUCLEARE - FSN FISS	30
4.1	Laboratorio Sistemi Nucleari Innovativi – FSN FISS SNI	30
4.1.1	⁶⁰ Co Calliope Gamma Irradiation Facility	30
4.2	Laboratorio Reattori Nucleari di Ricerca – FSN FISS RNR.....	32
4.2.1	TRIGA RC-1 Training Research Isotopes General Atomics, Reattore Casaccia 1.....	32
4.2.2	RSV TAPIRO - TAratura PIlA Rapida Potenza ZerO.....	34
4.3	Laboratorio di Caratterizzazione Radiologica e Gestione Rifiuti FSN FISS CRGR.....	36
4.3.1	Laboratorio di Caratterizzazione Radiologica.....	36
5	DIVISIONE FSN-SICNUC	38
5.1	Laboratorio SICNUC-SIN.....	38
5.1.1	Sicurezza delle applicazioni nucleari in programmi spaziali	38
5.1.2	Laboratorio SICNUC-PSSN	40

5.1.3	Elaborazione, validazione e applicazione dati nucleari.....	40
6	DIVISIONE TECNOLOGIE FISICHE PER LA SICUREZZA E LA SALUTE	
	TECFIS	42
6.1	Laboratorio Diagnostiche e Metrologia DIM.....	42
6.1.1	Prototipi per Diagnostiche e Metrologia	42
6.2	Laboratorio Micro e Nanostrutture per la Fotonica.....	45
6.2.1	Fotonica, materiali e rivelatori per lo spazio	45
6.3	Laboratorio Acceleratori di Particelle per Applicazioni Medicali	47
6.3.1	Electron, X-rays, Proton Irradiation sources	47
7	SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI (FSN-PROIN).....	50
7.1	Divertor Refurbishment Platform (DRP)	50
7.2	Progettazione sistemi nucleari innovativi per applicazioni spaziali.....	52
8	INMRI	54
8.1	Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (INMRI)	54

1 DIVISIONE: FUSPHY

1.1 Laboratori SCM (Sperimentazioni Con Macchine)

1.1.1 Proto-Sphera

Facility:	PROTO-SPHERA
Tipologia:	Impianto sperimentale per la produzione di plasma confinato magneticamente: https://www.afs.enea.it/project/protosphaera/ .
Luogo:	ENEA Frascati

a.	Descrizione Facility
Impianto per il confinamento magnetico di un plasma dotato di punti di nullo di campo atti all'espulsione di particelle veloci dal plasma.	

b.	Caratteristiche Tecniche
vessel cilindrico in metacrilato (PMMA) e acciaio ASI 304; altezza $h = 2.5$ m, diametro interno $d = 2$ m. Corrente di scarica lungo l'asse di simmetria (verticale) 10kA; corrente di plasma nel toro che circonda la scarica centrale fino a 10 kA; produzione di plasmi di idrogeno, elio, argon; densità tra 10^{19} e 10^{20} particelle per metro cubo; temperature tra 20 e 50 eV. Dotata di 18 bobine poloidali con campi magnetici fino a 5000 Gauss. L'asse di simmetria della macchina è completamente libero per il plasma/particelle. Sono presenti 22 porte di accesso per la strumentazione diagnostica del plasma. Vessel trasparente nel visibile / ultravioletto (indipendentemente dalle porte di accesso).	

c.	Utilizzo
Produzione di plasma confinato magneticamente e relative diagnostiche: misure di macchina e misure magnetiche di plasma, sonde di Langmuir, sonde di Hall, interferometro a due colori, telecamera alta velocità 3600 frames/secondo, sei telecamere da 600 frames/secondo; quattro telecamere alta risoluzione da 90 frames/secondo, rivelatore UV/raggi X diamante, spettroscopia nel visibile e nell'UV.	

d.	Necessità per il suo funzionamento
Ricercatori e personale tecnico per condurre la sperimentazione ed apportare le modifiche per la conduzione della prova.	

e.	Anno di costruzione, ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente,
-----------	--

	ottimo , buono, discrete, necessità di ammodernamento)
Costruita nel 2010; alimentazioni elettriche tra il 2014 e il 2017, ammodernamento con camera da vuoto in PMMA nel 2019, aggiunta di 10 bobine 2016-19 rispetto alle 8 preesistenti del 2010. Buono stato operativo (aprile 2021). Necessità di continui aggiustamenti per raggiungere le modalità operative previste dal progetto.	

f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
INAF: studio di configurazioni di plasma d'interesse astrofisico ASI/THALES: studio prototipale di propulsori spaziali a fusione nucleare	

g.	Competenze spendibili in Area Spazio
Propulsione elettrica al plasma, diagnostiche dei plasmi, propulsione elettrica termonucleare.	

A cura di: Dr. Paolo Micozzi, Dr. Franco Alladio

1.2 Laboratorio SDL

1.2.1 Laser ABC

Facility:	Laser ABC
Tipologia:	Laser ad impulsi di altissima energia ed intensità
Luogo:	ENEA-Centro Ricerche Frascati

a.	Descrizione Facility
ABC è un impianto laser nato per studi di interazione laser materia ad altissima intensità ed energia, ed in particolare per esperimenti relativi alla fusione nucleare a confinamento inerziale. ABC è il laser con la maggiore energia per impulso operante in Italia, ed uno dei pochi così energetici in Europa. L'ENEA fa parte, tramite l'impianto ABC, dell'Associazione Laserlab-Europe AISBL, che raggruppa insieme le maggiori facility di emissioni laser, UV, X europee. Uno dei punti di forza del laboratorio è l'elevatissimo numero di metodologie e strumentazioni per la diagnostica dell'interazione laser-materia, che vengono impiegate simultaneamente ad ogni esperimento. La loro gestione, nonché la visualizzazione ed analisi dei dati, vengono effettuate mediante software dedicati creati all'interno del laboratorio.	

b.	Caratteristiche Tecniche
ABC impiega come mezzo attivo barre di vetro-fosfato drogato con neodimio, ed è in grado di generare due fasci laser infrarossi a 1054 nm contro-propaganti, ognuno di energia pari a 100 J, polarizzazione circolare e durata temporale regolabile tra 2.5 e 7 ns. Mediante opportuni cristalli duplicatori d'armonica, è possibile operare anche il laser alla lunghezza d'onda di 527 nm, con un'energia massima per fascio, in questo caso, di 40 J. L'intensità massima sul bersaglio è di circa 2×10^{15} W/cm² ed una dimensione minima dello spot focale di 40 µm. I due fasci interagiscono con il bersaglio in una camera da vuoto sferica di 1.5 m di diametro. Il laboratorio ha a disposizione un numero molto elevato di diagnostiche, i cui dati vengono raccolti durante ogni interazione dei fasci laser con il bersaglio. Quattro fasci laser a 527 nm, di 600 ps di durata temporale e generati dall'impulso laser principale, raggiungono il bersaglio in modo perfettamente sincronizzato e attraversano il plasma generato dall'interazione in modo trasversale alla direzione dei fasci principali. Tali fasci laser verdi diagnostici vengono impiegati per realizzare immagini shadowgrafiche e interferometriche del plasma. Due streak camere ottiche, con risoluzione temporale fino a 2 ps, e due spettrometri ottici completano la dotazione del laboratorio nella radiazione visibile. Numerose sono anche le diagnostiche nello spettro X, costituite da un array di otto diodi, ognuno equipaggiabile con un filtro diverso, tre spettrometri UV-X a grating in trasmissione, di cui due con 2000 linee per mm e uno con 5000 linee per mm, una microchannel plate usata come pinhole camera per imaging, due time-gated microchannel plates con risoluzione temporale fino a 100 ps, e una streak camera per raggi X, con una risoluzione temporale di 100 ps. Le particelle cariche prodotte dall'interazione vengono rivelate tramite metodologia a tempo-di-volo con numerosi detector al diamante ad alte prestazioni, una raggiera di Farady cups disposte in modo da osservare	

l'interazione ad un alto numero di angolazioni ed uno scintillatore plastico a grande area. Si impiegano inoltre due spettrometri elettrostatici-magnetostatici Thomson operanti in due range di energia (5 keV-1 MeV; 50 keV-10 MeV), ed infine per gli elettroni uno spettrometro magnetico (20-300 keV). Due probe calibrati D-dot, due antenne dipolari ed un'antenna "superwideband" permettono inoltre lo studio accurato campi transienti a radiofrequenza-microonde ad alta intensità, prodotti per effetto dell'interazione laser con il bersaglio.

c. Utilizzo

Il laser ABC viene storicamente impiegato in generale per studi di interazione laser materia ad altissima intensità ed energia, ed anche in particolare per esperimenti relativi alla fusione termonucleare controllata a confinamento inerziale. Le principali attività di ricerca del laboratorio riguardano: lo studio del plasma creato dal laser in materiali plastici porosi per la mitigazione delle instabilità idrodinamiche e parametriche, lo studio dei campi elettromagnetici transienti a radiofrequenza e microonde ad alta intensità generati dall'interazione laser-materia, lo studio di reazioni di fusione nucleare a basso rate (quali $H-^{11}B$), lo sviluppo di diagnostiche avanzate per l'interazione laser-materia e la radiazione elettromagnetica e particellare da essa emessa.

d. Necessità per il suo funzionamento

Per il funzionamento l'impianto necessita di personale altamente specializzato, nonché di forniture di materiale e strumentazione necessari alla sua ordinaria manutenzione e operazione.

e. Anno di costruzione, ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo, buono, discreto, necessità di ammodernamento)

Il laser ABC è stato completato alla fine degli anni ottanta e si trova in un buono stato di funzionamento. Diversi aggiornamenti si sono succeduti durante gli anni, e l'ultimo è adesso in essere, con la fornitura e la successiva installazione di nuove barre del mezzo attivo di vetro fosfato drogato al neodimio, che riporterà ai massimi livelli i valori di energia per impulso.

f. Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio

Nessuna al momento, ma vi è grande apertura da parte del gruppo alla possibile definizione di collaborazioni in tal senso.

g. Competenze spendibili in Area Spazio

Il laser ABC può essere impiegato per realizzare sorgenti di plasmi e di radiazione ionizzante (elettromagnetica e particellare) e non ionizzante (radiofrequenza-microonde) per test di radiation hardening su componenti ed apparati elettronici da impiegare su satelliti e veicoli aerospaziali. Per quanto riguarda la radiazione non ionizzante è noto infatti, ad esempio, che durante le tempeste magnetiche l'elettronica dei satelliti o dei veicoli aerospaziali possa essere danneggiata attraverso la carica e la successiva rapida scarica di grandi quantità di cariche elettriche statiche, che può generare

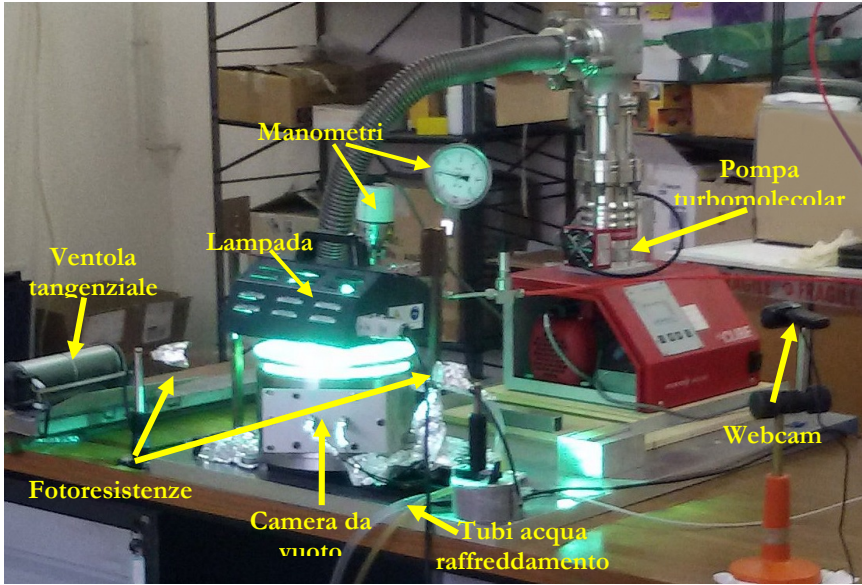
campi elettromagnetici transienti di alta intensità nel range della radiofrequenza-microonde. In generale, è noto che fenomeni di caricamento statico possono avere luogo, su un satellite o su un veicolo aerospaziale, a causa di particelle cariche che ne colpiscono la superficie o di radiazione elettromagnetica ionizzante che, mediante effetto fotoelettrico, determina l'emissione di elettroni dalla superficie colpita. Entrambi i fenomeni danno quindi luogo a caricamento elettrostatico delle superfici interessate, le cui successive scariche possono avere effetti molto seri sull'elettronica. Test di robustezza in tal senso dell'elettronica possono essere effettuati impiegando i campi prodotti mediante interazione laser materia con il laser ABC. Un brevetto è stato depositato in tale senso dall'ENEA per l'impiego di tali campi prodotti da laser in diversi ambiti.

E' possibile inoltre pensare all'impiego del laser ABC per la generazione di stress meccanici e termici estremi sui materiali. Ciò può accadere in due modi. 1) L'interazione del laser ABC su materiali solidi crea classicamente elevate pressioni ed onde di compressione sugli stessi, fino all'ordine del Megabar, che possono essere diagnosticate con accuratezza sia nelle evoluzioni che nei risultati. 2) E' stato inoltre già dimostrato sperimentalmente che i flussi di plasmi emessi dal bersaglio irraggiato dal laser ABC (con temperature da qualche eV a centinaia di eV) creano danneggiamenti visibili quando colpiscono un campione di W ad essi esposto. Possono quindi essere impiegati per irraggiamento di materiali (eventualmente anche pesanti quali il W) e dispositivi.

A cura di: Fabrizio Consoli, FSN-FUSPHY-SDL

1.3 Laboratorio Eccimeri

1.3.1 Apparato di irraggiamento UV in continua

Facility:	Apparato di irraggiamento UV in continua
Tipologia:	Apparato di irraggiamento UV in atmosfera inerte con lampada a vapori di mercurio
Luogo:	Centro Ricerche ENEA Frascati
a.	Descrizione Facility. La sorgente di radiazione ultravioletta (UV) è una lampada a vapori di mercurio a media pressione, da 500 W elettrici, e consiste di un bulbo posto in prossimità del fuoco di un riflettore parabolico di alluminio, e di una finestra di quarzo a protezione del bulbo. La lampada è raffreddata da una ventola tangenziale esterna, ed è posizionata sopra una camera cilindrica da alto vuoto di diametro 18 cm e profonda 12 cm avente una camicia esterna raffreddata ad acqua. I target da irraggiare sono posti nella camera da vuoto che può essere riempita di gas inerte utile a limitare la temperatura massima dei campioni irraggiati a 40 °C. La pressione nella camera, l'emissione UV e nel visibile e la temperatura dei campioni sono monitorati 24/24, 7/7 da un sistema di controllo e acquisizione dati gestito da un datalogger Arduino dedicato.  Figura 1 Apparato di irraggiamento UV in continua
b.	Caratteristiche Tecniche. L'apparato è in grado di irraggiare i campioni in continua (testato fino a 42 giorni consecutivi, 24/24) con controllo in tempo reale della dose rilasciata (energia per unità di superficie) e delle sue eventuali variazioni con il tempo. Il fattore di accelerazione della dose nella finestra spettrale UV (200 – 400 nm) rispetto al naturale irraggiamento solare fuori dall'atmosfera terrestre è pari a 5x, corrispondente

a 60 mW/cm². Il sistema di datalogger e acquisizione dati è monitorato e gestito da remoto durante l'intera durata dell'irraggiamento.

c.	Utilizzo
L'apparato di irraggiamento è stato utilizzato in ambito del progetto europeo FIRST-FLEX mirante a sviluppare un nuovo tipo di riflettori solari ottici (OSR) che sono elementi termici passivi che svolgono un ruolo cruciale nella progettazione termica di un veicolo spaziale. Gli OSR sono utilizzati per migliorare la capacità di respingere il calore dei radiatori esterni e, allo stesso tempo, per ridurre l'assorbimento dei flussi solari. In questo ambito, il nostro apparato è stato usato per irradiare il rivestimento applicato su OSR con radiazioni UV secondo gli standard ECSS / ESA pertinenti con una dose complessiva pari a 3.000 equivalent sun hours.	

d.	Necessità per il suo funzionamento
Nessuna necessità con l'attuale setup, che è completo e funzionante. È allo studio un upgrading per sostituire la lampada con LED UV nel range spettrale 200 nm – 400 nm atti a limitare gli effetti termici e consentire irraggiamenti in vuoto, oltre che in atmosfera controllata.	

e.	Anno di costruzione. Ammodernamenti successivi e stato attuale facility.
Costruzione 2016. Stato facility: Eccellente.	

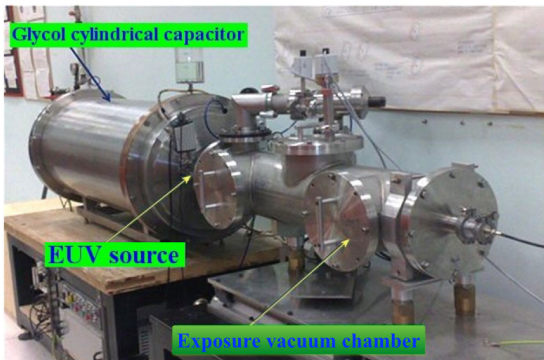
f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
Partecipazione ai progetti FIRST FLEX, e successivamente SMART-FLEX - H2020-SPACE-2018-2020	

g.	Competenze spendibili in Area Spazio
Esperienza di irraggiamenti UV per test di resistenza materiali di interesse in area Spazio. Elaborazione dati per il calcolo accurato della dose rilasciata ai campioni in funzione della posizione e del tempo di irraggiamento. Referenze: P. Di Lazzaro et al.: <i>Test di substrati per telescopi spaziali: irraggiamenti nell'ultravioletto di film poliimmide in aria, vuoto e atmosfera controllata</i> . RT/2017/9/ENEA (2017). https://iris.enea.it/retrieve/handle/10840/8534/526/RT-2017-09-ENEA.pdf B. Alpat et al.: <i>Testing of substrates for flexible optical solar reflectors: irradiations of nano-hybrid coatings of polyimide films with 20 keV electrons and 200-400 nm ultraviolet radiation</i> Journal of Instrumentation vol. 14, T06003 (2019) https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/14/06/T06003/pdf	

A cura di: Paolo Di Lazzaro, FSN FUSPHY SDL

1.3.2 Sorgente EUV impulsata-DPP

Facility:	Sorgente EUV impulsata - DPP
Tipologia:	Sorgente di radiazione EUV a scarica elettrica in gas rarefatto (tipicamente xenon)
Luogo:	Centro Ricerche ENEA Frascati

a.	Descrizione Facility
La DPP (dall'inglese Discharge Produced Plasma) è una sorgente di radiazione EUV il cui principio di funzionamento è basato sulla generazione di una colonna di plasma compressa radialmente e riscaldata, fino ad una temperatura di 30-40 eV, da un impulso di corrente di circa 13kA di picco e 240 ns di semiperiodo. Il plasma, generalmente formato da Xe, emette la radiazione EUV nella regione spettrale di lunghezza d'onda 10-18 nm. In aggiunta alla emissione EUV, per cui l'impianto è ottimizzato, la DPP emette anche radiazione VUV e UV, che può essere utilizzata per applicazioni specifiche. La DPP ha una camera da vuoto in cui vengono alloggiati i campioni da irraggiare. La dose rilasciata viene calibrata, grazie all'utilizzo di detector assoluti, con una precisione migliore del 10%. La sorgente è gestita da una sala controllo da cui possono essere monitorati tutti i parametri della macchina. (Figura 2)	
	
Figura 2 Sorgente EUV impulsata - DPP	

b.	Caratteristiche Tecniche.
La sorgente emette impulsi di radiazione EUV di 100 ns di durata, nell'intervallo spettrale 10-18 nm di lunghezza d'onda. L'energia per impulso è di circa 35 mJ/sr ad una frequenza di ripetizione di 10 Hz. La dimensione trasversa della sorgente è di circa 300 μm. L'apparato è stato utilizzato per irraggiare centinaia di campioni fino a dosi di circa 500 mJ/cm².	

c.	Utilizzo
La sorgente EUV DPP è stata utilizzata nell'ambito di un progetto finanziato dalla fondazione CARIPLO (2013-2016) per l'irraggiamento di fotoresist innovativi chimicamente amplificati (CAR). In questo ambito è stato anche messo a punto un sistema di litografia a contatto con cui è stato possibile riprodurre su CAR particolari dell'ordine di 100 nm. La DPP è stata utilizzata inoltre, per generare centri di colore in cristalli di fluoruro di litio con finalità di imaging e di calibrazione. Sono stati irraggiati campioni di grafene mono-layer per creare difetti spazialmente localizzati. Attualmente, la sorgente è utilizzata per la caratterizzazione di rivelatori a diamante nell'ambito di ricerche su diagnostiche per la nuova macchina DTT.	
d.	Necessità per il suo funzionamento
L'attuale setup è completo, funzionante e operativo. Sono comunque necessari up-grading ed aggiornamenti della strumentazione impiegata, per mantenere a livelli adeguati le prestazioni in relazione anche alle specifiche richieste. Materiale necessario al funzionamento ordinario della sorgente: filtri di zirconio per filtrare la radiazione EUV, gas puri di processo (xenon, azoto, argon, elio).	
e.	Anno di costruzione, ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo, buono, discrete, necessità di ammodernamento)
La DPP è stata progettata e realizzata dall'ENEA e l'Università dell'Aquila nell'ambito di un progetto FIRB (2003-2008). Nel 2010 è stata installata nel centro ENEA di Frascati dove sono state apportate importanti modifiche all'apparato di alimentazione elettrica in alta tensione, nel sistema di iniezione dei gas, all'elettronica di controllo e sulle diagnostiche dell'impianto.	
f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
N/A	
g.	Competenze spendibili in Area Spazio
Calibrazione detector e test sistemi ottici nell'EUV. Esperienza di irraggiamenti EUV di campioni di varia natura. Elaborazione dati per il calcolo accurato della dose EUV rilasciata ai campioni in funzione della posizione e del numero di impulsi. 1. L. Mezi, F. Flora, <i>La sorgente DPP nell'estremo ultravioletto a scarica elettrica in gas rarefatto</i>, Tech. Rep RT/2012/15/ENEA (2012) 2. L. Mezi, S. Bollanti, S. Botti, G. Brusatin, L. Businaro, G. Della Giustina, P. Di Lazzaro, M. Fagnoni, F. Flora, A. Gerardino, D. Murra, S. Protti, A. Torre, E. Torti, <i>The ENEA discharge produced plasma extreme ultraviolet source and its patterning applications</i>, Proc. SPIE 11042, XXII International Symposium on High Power Laser Systems and Applications, 110420Z (3 January 2019); doi: 10.1117/12.2522469 3. E. Torti et al., <i>Aryl sulfonates as initiators for extreme ultraviolet lithography: applications in</i>	

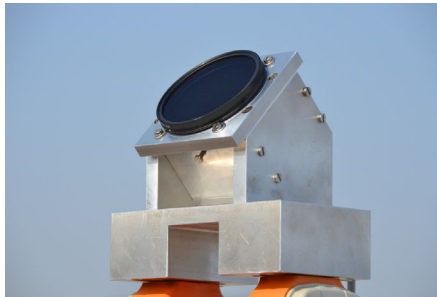
epoxy-based hybrid materials, ChemPhotoChem, 2, 425-432 (2018)

4. S. Botti, L. Mezi, A. Rufoloni, A. Vannozzi, S. Bollanti, and F. Flora, *Extreme Ultraviolet Generation of Localized Defects in Single-Layer Graphene: Raman Mapping, Atomic Force Microscopy, and High-Resolution Scanning Electron Microscopy Analysis*, ACS Appl. Electron. Mater. 2019, 1, 12, 25602565, 2019

A cura di: Luca Mezi, FSN-FUSPHY

1.3.3 Bussola solare

Facility:	Bussola solare
Tipologia:	Strumento per la determinazione dell'orientamento rispetto al Nord geografico con elevata accuratezza
Luogo:	Centro Ricerche ENEA Frascati

a.	Descrizione Facility
La bussola solare è uno strumento compatto ed economico che permette di effettuare rapidamente misure di elevata accuratezza dell'orientamento della direzione prescelta rispetto al Nord geografico. La bussola solare ENEA effettua il rilevamento dell'orientamento in circa 1 secondo e raggiunge, nella determinazione del Nord geografico, un'accuratezza 100 volte migliore delle bussole magnetiche. Rispetto alle girobussole e ai GPS accoppiati, che hanno accuratezze molto elevate, la bussola solare ENEA presenta i vantaggi di offrire tempi di misura molto più brevi e con una precisione indipendente dalla latitudine, dai disturbi nella ionosfera e dalla vicinanza di rilievi/edifici.	
	
Figura 3 Bussola solare	

b.	Caratteristiche Tecniche
La bussola solare ENEA si basa sulla combinazione di un accurato sistema di rilevazione della posizione del sole rispetto ad un proprio piano di riferimento e di un algoritmo analitico per il calcolo delle coordinate del sole in un dato luogo ed orario, noti i parametri orbitali del pianeta. Per sfruttarla al meglio, la bussola va montata su di un teodolite, del quale sfrutta l'elevata precisione del sistema di puntamento e del goniometro digitale. Il sistema bussola+teodolite è calibrato su un apposito banco ottico per compensare inevitabili disallineamenti tra i due componenti. L'accuratezza media delle misure effettuate in diversi ambiti è migliore di 1/100 di grado.	

c.	Utilizzo
-----------	-----------------

La bussola è stata utilizzata per rilievi topografici, allineamento di specchi parabolici in impianti per il solare a concentrazione (ENEA Casaccia), misure di declinazione magnetica (in Antartide, in collaborazione con INGV), rilevamento dell'orientamento di strutture in siti archeologici (Grotta di Tiberio a Sperlonga, in collaborazione con l'Osservatorio Astronomico di Genova).

La bussola può essere utilizzata, ad esempio, anche per l'installazione di radar aeroportuali e di pannelli fotovoltaici, per la misura di allineamento di edifici e per la taratura di altri tipi di bussole.

Le caratteristiche tecniche della bussola ENEA consentono di usarla su altri pianeti del sistema solare modificando i parametri dell'algoritmo di calcolo delle effemeridi e dotandola di un sistema di misura dello spostamento, se installata su un rover.

d.	Necessità per il suo funzionamento
-----------	---

Il sistema è completo e funzionante. L'elettronica è alimentata con batterie ricaricabili e può anche essere alimentata esternamente.

e.	Anno di costruzione, ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo, buono, discreto, necessità di ammodernamento)
-----------	--

Il primo prototipo della bussola solare è stato completato nel 2014 e brevettato. A seguire, ne sono stati realizzati altri tre, di cui uno specifico per i collettori solari ed uno richiesto da INGV.

Lo stato attuale del sistema bussola+teodolite è eccellente.

È in via di sviluppo un nuovo prototipo in grado di funzionare senza teodolite.

f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
-----------	--

N/A

g.	Competenze spendibili in Area Spazio
-----------	---

Esperienza nella rilevazione ad alta accuratezza della direzione del sole.

Sviluppo dell'algoritmo analitico per il calcolo delle coordinate del sole in un dato luogo/tempo sulla Terra, facilmente modificabile per il caso di altri pianeti. Determinazione dell'orientamento di una direzione su qualsiasi pianeta del sistema solare. Bibliografia:

- Bollanti et al.: Optics Letters 40 (2015) 3619.
- Bollanti et al.; Applied Optics 55 (2016) 3126.
- Flora et al.: Journal of Instrumentation 11 (2016) C07014.
- Bollanti et al., Proc. SPIE 11352, (2020) 1135216.
- Flora et al.: European Patent EP2938963 (A1) (2015-11-04).

A cura di: Francesco Flora, FSN-FUSPHY-SDL

1.3.4 Sorgente di neutroni energetici

Facility:	Sorgente di neutroni energetici
Tipologia:	Sorgenti di particelle energetiche a bassa intensità
Luogo:	Centro Ricerche ENEA Frascati

a.	Descrizione Facility
Sorgente calibrata di neutroni da 0.3 keV a 110 keV, di bassa corrente per la taratura strumenti e studio di effetti su superfici. Il fascio di neutroni ha un diametro regolabile tramite un sistema di lenti elettrostatiche, che ne permette di variare il diametro sino a 2 cm. La sorgente è costituita da vari componenti, come mostrati in figura 4. a.1) sorgente degli ioni. La sorgente è costituita da una camera, riempita con idrogeno (o all'occorrenza deuterio o elio) in cui sono posti un filamento di tantalio e un collettore di ioni. Il filo viene percorso da una corrente regolabile da 0 a 30 A, e viene portato alla tensione di 200 V rispetto alla camera. In queste condizioni il filo emette elettroni che ionizzano il gas. Gli ioni, sottoposti ad una differenza di potenziale (sino a 10 kV), vengono estratti ed indirizzati verso l'elettromagnete. (fig 5) a.2) Elettromagnete. Gli ioni estratti dalla sorgente attraversano un campo magnetico che ne seleziona la massa (H^+, H_2^+, H_3^+ per l'idrogeno) usando un campo magnetico sino a 2,5 kG, misurato tramite una sonda di Hall. Al magnete sono asservite due piastre elettrostatiche per l'ottimizzazione della forma del fascio. a.3) Lente di focalizzazione. Si tratta una lente elettrostatica di Einzel formato di tre di piastre forate di cui quello centrale collegato ad alto potenziale elettrostatico, per focalizzare o defocalizzare il fascio dentro l'acceleratore. a.4) Acceleratore. Gli ioni sono accelerati tramite una differenza di potenziale che può arrivare sino a 100 kV. a.5) Neutralizzatore di ioni (Camera a scambio carica). Dopo essere stati accelerati gli ioni attraversano una camera riempita con gas neutro (H_2) con cui scambiano un elettrone neutralizzandosi (scambio carica). Il fascio uscente è prevalentemente fatto di atomi neutri. a.6) Soppressione degli ioni. Eventuali ioni residui vengono eliminati dal fascio tramite un campo elettrico posto all'uscita della camera di neutralizzazione.	

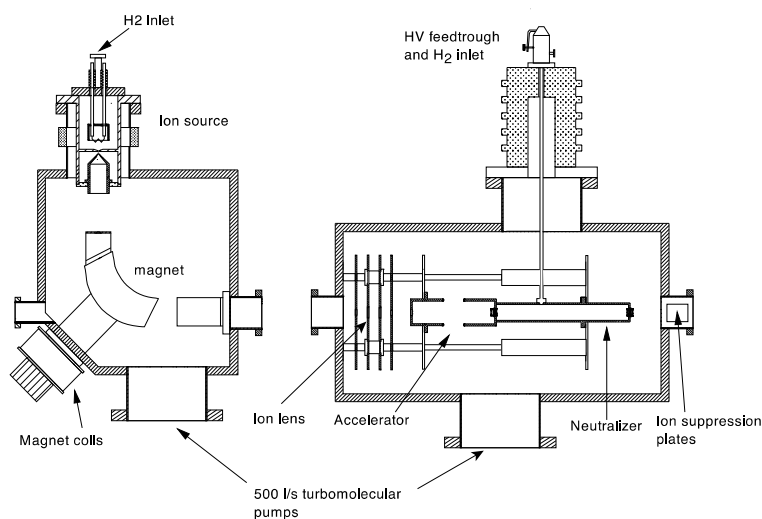


Fig : 4 : Schema della sorgente di neutri ENEA

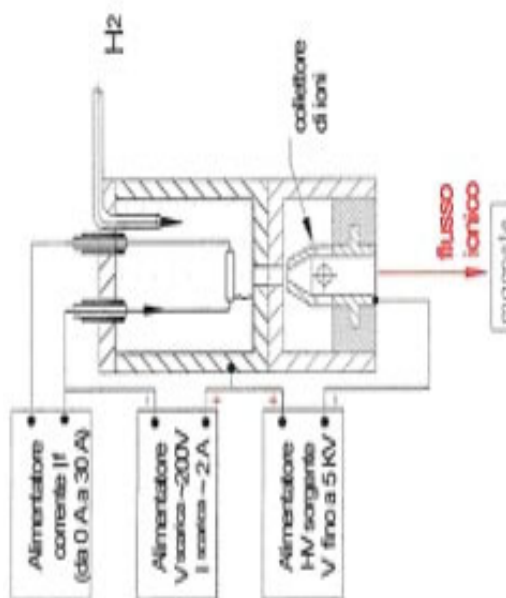


Fig : 5 Schema della sorgente di ioni

b.	Caratteristiche Tecniche
Fascio di atomi neutri con energia variabile da 0.3 keV a 110 keV. Energia, corrente e dimensione del fascio sono regolabili. La sorgente può anche fornire facilmente un fascio di ioni di analoghe caratteristiche, non riempiendo la camera neutralizzante e spegnendo il soppressore di ioni.	

c.	Utilizzo
Calibrazione di rivelatori per atomi neutri. Può essere usato per studiare effetti di danneggiamento superficiale su campioni di materiali	

d.	Necessità per il suo funzionamento
Lo strumento non può essere trasportato e deve essere usato in loco (laboratori ENEA di Frascati)	
e.	Anno di costruzione , ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo , buono, discrete, necessità di ammodernamento)
Lo strumento è stato costruito negli anni 90, per la calibrazione dell'analizzatore del tokamak Europeo JET. Poi ripreso nel 1998 per la caratterizzazione dello strumento per il stellator giapponese LHD. E' stato quindi usato dal 2000 al 2006 per lo studio di rivelatori ENA "Energetic Neutral Atoms" in collaborazione con INAF ed è attualmente in servizio per la caratterizzazione di nuovi rivelatori ENA per lo spazio sempre in collaborazione con INAF. In questi anni ha mostrato un'ottima affidabilità e stabilità di funzionamento nel tempo, richiedendo uno sforzo minimo per il ripristino. Lo stato di funzionamento è eccellente.	
f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
Collaborazione con INAF per sviluppo e caratterizzazione di rivelatori spaziali (passate: 2000-2003, 2003-2006 in vista della missione ESA-JAXA BepiColombo).	
g.	Competenze spendibili in Area Spazio
Simulazione della componente neutra o carica del vento solare, simulazioni degli ENA generati nelle interazioni vento solare-ambienti planetari (esosfere, magnetosfere, superfici).	

A cura di: Onofrio Tudisco e Alessandro Sibio, FSN_FUSPHY-SCM

2 DIVISIONE FSN ING

2.1 Laboratorio Sviluppo Materiali Nucleari

2.1.1 Detonation Gun

Facility:	Detonation Gun
Tipologia:	Sistema di deposizione rivestimenti Thermal Spray
Luogo:	C.R. Brasimone (BO)

a.	Descrizione Facility
Sistema per la deposizione di rivestimenti: il dispositivo Detonation Gun Spray è in grado di realizzare rivestimenti dei materiali più svariati, metalli, ceramici, compositi e cermet con temperature di fusione fino a 4000°C.	

b.	Caratteristiche Tecniche
Il processo di deposizione avviene senza alterare sensibilmente la temperatura del substrato. Si possono rivestire componenti di dimensioni anche grandi, fino a 1000 mm x1000 mm per superfici piane e cilindri con diametro massimo pari a 400 mm. I rivestimenti sono caratterizzati da straordinaria compattezza ed adesione al substrato.	

c.	Utilizzo
La macchina viene impiegata al momento per la deposizione di rivestimenti anticorrosione	

d.	Necessità per il suo funzionamento
Materiali di consumo, quali polveri del materiale del rivestimento, gas acetilene, ossigeno	

e.	Anno di costruzione , ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo , buono, discrete, necessità di ammodernamento)
2010, condizioni discrete	

f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
N/A	

g.	Competenze spendibili in Area Spazio
Sviluppo di rivestimenti protettivi	

A cura di: Massimo Angiolini FSN-ING-SMN

2.1.2 Atomic Layer Deposition System

Facility:	Atomic Layer Deposition System
Tipologia:	Sistema di deposizione rivestimenti per atomic layer deposition (ALD)
Luogo:	C.R. Brasimone (BO)

a.	Descrizione Facility
Sistema per la deposizione di rivestimenti per chemical vapour deposition (CVD): il dispositivo è in grado di realizzare rivestimenti sui substrati più svariati.	

b.	Caratteristiche Tecniche
Il processo di deposizione avviene senza alterare sensibilmente la temperatura del substrato. Si possono rivestire componenti di dimensioni anche molto grandi. Caratteristica principale è la possibilità di rivestire omogeneamente superfici con dettagli con grande “aspect ratio”.	

c.	Utilizzo
La macchina viene impiegata al momento per la deposizione di rivestimenti anticorrosione a base Al ₂ O ₃	

d.	Necessità per il suo funzionamento
Gas precursori del rivestimento da realizzare	

e.	Anno di costruzione , ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo , buono, discrete, necessità di ammodernamento)
2020, condizioni ottime, in fase di installazione	

f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l’Area Spazio
N/A	

g.	Competenze spendibili in Area Spazio
-----------	---

Gas precursori del rivestimento da realizzare

A cura di: Massimo Angiolini FSN-ING-SMN

3 DIVISIONE FSN-FUSTEC

3.1 Laboratorio TEN

3.1.1 Neutron Generator FNG

Facility:	Neutron Generator FNG
Tipologia:	Generatore di neutroni veloci (14 MeV, 2.5 MeV)
Luogo:	Frascati

a.	Descrizione Facility
Il Frascati Neutron Generator FNG è un generatore di neutroni che sfrutta le reazioni di fusione Deuterio-Trizio e Deuterio-Deuterio per la produzione di neutroni da 14 MeV o 2.5 MeV, rispettivamente. Lo spettro dei neutroni è monoenergetico per ciascun tipo di reazione, i neutroni sono emessi a 4π. La macchina è stata costruita per entrare in funzione nel 1992, per la verifica dei codici di calcolo neutronico tramite esperimenti “benchmark” con mock-up di componenti strutturali dei reattori tokamak. Negli anni successivi le attività si sono ampliate per venire incontro alle esigenze di ricerca nel campo dello sviluppo di rivelatori e dei test di radiation hardness.	

b.	Caratteristiche Tecniche
Un acceleratore lineare elettrostatico accelera ioni deuterio da una sorgente Duoplasmatron ad un'energia di 260 keV verso un bersaglio di titanio triziato. L'interazione tra il fascio ed il trizio del bersaglio produce neutroni per fusione, con spettro monoenergetico intorno a 14 MeV (una piccola variazione nel range 14.8-14.1 MeV è correlata all'angolo di emissione ma lo spettro ha una FWHM massima di 200 keV ad ogni angolo di emissione. Con bersagli deuterati si generano invece neutroni da 2.5 MeV. L'emissione massima del generatore è di 10^{11} n/s a 14 MeV e 10^9 a 2.5 MeV Il flusso massimo utilizzabile è 2×10^9 n/cm²s a 14 MeV Il punto di emissione è collocato a 4.5 m dalle pareti della sala per minimizzare lo scattering e la moderazione dei neutroni, per mantenere uno spettro monoenergetico. Le infrastrutture di supporto dei setup sperimentali e le dimensioni della sala consentono di svolgere esperimenti con setup di dimensioni da pochi mm³ a più di un m³ e pesi oltre la tonnellata. E' anche possibile svolgere test attivi con setup alimentati e controllati da remoto grazie ai cavi cablati attraverso le schermature	

c.	Utilizzo
FNG viene utilizzato, oltre che per le attività istituzionali in campo fusione, per test di radiation hardness di componenti e sistemi elettronici da parte di gruppi di ricerca accademici e aziende private.	

Numerosi utenti commerciali italiani ed esteri utilizzano FNG per test di Radiation Hardness Assurance per applicazioni aerospaziali. L'unicità della facility FNG per energia e flusso di neutroni, nonché la sua accessibilità e disponibilità, la rendono interessante per le aziende aerospaziali di tutti i paesi europei. Tra i recenti utilizzatori per applicazioni aerospaziali citiamo Nucleonics (AIRBUS), IROC, CEA, CERN.

d. Necessità per il suo funzionamento

Per il funzionamento della facility deve essere presente personale tecnico in turni, per consentire l'avvio e lo spegnimento in sicurezza con tempi accettabili di funzionamento durante il giorno, nel numero di due tecnici per turno.

Per la produzione di neutroni sono necessari bersagli triziati, con ciascuno dei quali è possibile sostenere 25 ore di irraggiamento alla massima intensità. Ogni bersaglio viene fornito dalla SODERN ed ha un costo di 8000 euro.

e. Anno di costruzione, ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo, buono, discreto, necessità di ammodernamento)

La macchina è entrata in funzione nel 1992. Da allora la manutenzione evolutiva l'ha mantenuta in buono stato.

Allo stato attuale, per proseguire le attività sono necessarie entro due anni la sostituzione di alcuni componenti elettronici (alimentatori di potenza, sensori di vuoto e temperatura) ed alcune pompe da vuoto, e la verifica dello stato del sistema di raffreddamento. Andrà anche sostituito il sistema di controllo.

Una manutenzione straordinaria della macchina che includa la sostituzione della sorgente di deuterio Duoplasmatron con una a radiofrequenza consentirebbe di incrementare l'intensità di emissione e di avere un'emissione pulsata, utili per test di Radiation Hardness a fluenze elevate e per le misure di efficienza di rivelatori di neutroni.

f. Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio

FNG è attiva da diversi anni nell'Area Spazio come user facility e con attività in collaborazione. La notorietà di FNG è consolidata ed in via di espansione grazie alle continue azioni di dissemination messe in atto.

FNG è parte del progetto H2020 RADNEXT per la costituzione di un network di user facilities europee per test di radiation hardness ad uso di istituzioni di ricerca e industrie. RADNEXT fornisce supporto ai gruppi sperimentali attraverso lo schema del Transnational Access, sostenendo i costi di utilizzo delle facilities e dando supporto per viaggio e diaria agli utenti. Per gli utenti meno esperti è possibile dare supporto tecnico per la pianificazione dei test. Il dott. Salvatore Fiore, parte dello staff scientifico di FNG e responsabile della gestione dello "user program" di FNG, è il responsabile scientifico ENEA in RADNEXT, e coordinatore del Transnational Access in RADNEXT per tutte le facilities del consorzio.

Lo staff scientifico di FNG ha partecipato insieme a colleghi FSN e TERIN ad una call ASI-NASA,

con una proposta su test di radiation hardness di fluidi di raffreddamento bifasici per sistemi ad alto scambio termico, per utilizzo in ambito spaziale (FLUTES). La proposta include test presso FNG ed altre facilities FSN, e test sulla ISS. La valutazione è attesa nei prossimi mesi del 2021

g.	Competenze spendibili in Area Spazio
-----------	---

FNG è già attiva in ambito spazio come user facility per aziende e istituti di ricerca che svolgono test di Radiation Hardness di componenti e sistemi elettronici (EEE)

Lo sviluppo della New Space Economy, con un crescente numero di missioni di piccole dimensioni e profilo economico inferiore rispetto alle missioni delle Agenzie Spaziali, punta all'utilizzo esteso di componenti Commercial Off-The-Shelf (COTS) senza qualifiche per l'utilizzo in ambito Spazio. Questo richiede sempre più spesso test di RHA per la qualifica di componenti COTS. Tra questi test, quelli con neutroni effettuabili a FNG sono essenziali per ogni tipo di verifica di sezioni d'urto SEE.

La partecipazione al progetto RADNEXT dà ulteriori possibilità di accesso agli utenti per test di Radiation Hardness tramite un supporto economico e tecnico.

FNG fa parte del progetto ASIF2, che la rende parte delle facilities italiane che l'ASI supporta e valida per l'utilizzo da parte delle aziende interessate a test di RHA.

Energie e flussi neutronici rendono FNG unica nel panorama europeo, che conta in totale tre sorgenti da 14 MeV delle quali FNG è la più intensa, e con maggiori possibilità logistiche di accesso e implementazione di setup sperimentali.

A cura di: Salvatore Fiore – FSN-FUSTEC-TEN

3.1.2 Laboratorio Diamanti (DiaL)

Facility:	Laboratorio Diamanti (DiaL)
Tipologia:	Laboratorio per la deposizione e preparazione dispositivi basati su diamante mono o policristallino.
Luogo:	Frascati

a.	Descrizione Facility
Il laboratorio Diamanti (DiaL) è un laboratorio attrezzato per la deposizione di diamante mono e policristallino, e per la preparazione di dispositivi diamond-based. Le apparecchiature presenti sono: - un apparato di deposizione a microonde (MicroWave-ChemicalVapourDeposition), completo di linee di adduzione di gas ad alta purezza. - un evaporatore per la deposizione di contatti metallici mediante e-beam a 4 crogiuoli. - un sistema di misura delle caratteristiche elettriche e di risposta alle radiazioni alfa.	

b.	Caratteristiche Tecniche
L'impianto per la deposizione mediante CVD a microonde è costituita da una camera da vuoto con sistema di pompaggio, da un sistema di posizionamento del campione e da un generatore a micro onde della potenza di 6 kW. Fa parte integrante dell'apparato il sistema di immissione dei gas di processo, fino a 6 gas, realizzato per garantire una purezza di grado elettronico. Condizioni tipiche per la realizzazione di diamante monocristallino di elevata purezza sono: rapporto H₂/CH₄ 400:4 (1%), temperatura di deposizione: 800 C, potenza fornita al plasma: 2 kW, pressione di deposizione: 180 mbar. È possibile variare i parametri e le composizioni delle miscele entro ampi intervalli. Attualmente la CVD è usata anche per esperimenti di deposizione di grafene su vari substrati. L'apparato di deposizione dei contatti metallici è stato realizzato 'chiavi in mano' da una ditta specializzata dell'area romana. Consente di deporre fino a quattro metalli in sequenza. La deposizione avviene attraverso opportune maschere metalliche, in modo da ottenere i disegni di griglia desiderati. La postazione per la caratterizzazione del materiale ottenuto è stata allestita recentemente, e consente di misurare le caratteristiche elettriche del materiale e le prestazioni sotto flusso di sorgenti alfa.	

c.	Utilizzo
Il laboratorio, di recente istituzione, è stato avviato con lo scopo di realizzare dispositivi e sensori per applicazione connesse agli scopi istituzionali di ENEA, ente coinvolto nelle attività di fusione e della	

caratterizzazione dei plasmi.

La realizzazione di materiale di grado elettronico consentirà in futuro di poter svolgere attività di R&S anche nel campo, in grande espansione, dei dispositivi elettronici per applicazione di alta potenza o in ambienti ostili.

Le caratteristiche del diamante, infatti, consentono di avere a disposizione un materiale di elevatissime prestazioni, in grado di mantenere le sue caratteristiche in ambienti ostili (alte temperature, radiazioni, etc.), con particolari proprietà ottiche, e meccanicamente molto resistente.

d. Necessità per il suo funzionamento

Per il funzionamento degli impianti deve essere presente personale tecnico per consentire l'avvio e lo spegnimento. La CVD è in grado di lavorare continuamente per svariati giorni, finora sono state eseguite deposizioni della durata di 3 gg., con possibilità di controllo remoto del processo.

Materiale necessario al funzionamento del laboratorio sono:

- CVD: gas puri di processo, substrati per deposizioni, materiale chimico per pulizia dei substrati.
- Evaporatore: metalli puri, maschere per i disegni delle griglie di contatto.

I costi di esercizio sono funzione del grado di utilizzo e del consumo del materiale.

e. Anno di costruzione, ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo, buono, discreto, necessità di ammodernamento)

Il laboratorio è stato inaugurato nel 2017 con l'installazione del sistema CVD completo. L'evaporatore è stato acquistato nel 2018.

Lo stato delle attrezzature è eccellente.

Sono previsti alcuni interventi migliorativi sulla CVD entro il primo semestre 2021.

Eventuali acquisti di nuovi strumenti saranno funzione dello stato di avanzamento del laboratorio e delle collaborazioni.

f. Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio

Non esistono ancora collaborazioni.

g. Competenze spendibili in Area Spazio

Le caratteristiche del materiale rendono il diamante un elemento pienamente adatto per applicazioni spaziali.

Le sue proprietà ottiche, meccaniche, termiche e di trasporto sono uniche tra i materiali disponibili oggi.

Collaborazioni per applicazioni spaziali possono riguardare:

-
- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">- sensori di radiazione ionizzante (x-ray, gamma, neutroni);- sensori ottici UV;- dispositivi con elevato valore di breakdown voltage. |
|--|

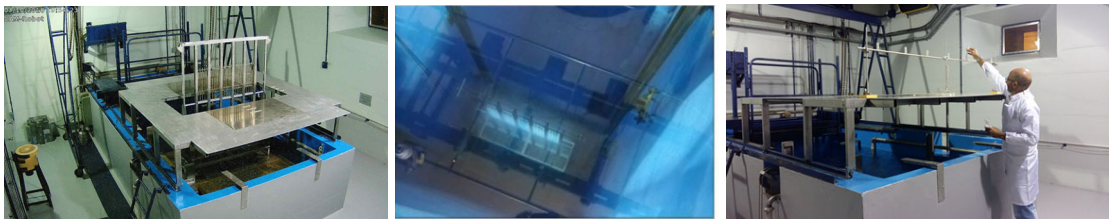
A cura di: Ugo Besi Vetrella / Fulvio Pompili – FSN-FUSTEC-TEN

4 DIVISIONE TECNOLOGIE, IMPIANTI E MATERIALI PER LA FISSIONE NUCLEARE - FSN FISS

4.1 Laboratorio Sistemi Nucleari Innovativi – FSN FISS SNI

4.1.1 ^{60}Co Calliope Gamma Irradiation Facility

Facility:	^{60}Co Calliope Gamma Irradiation Facility
Tipologia:	Sorgente di ^{60}Co Facility Irraggiamento Gamma.
Luogo:	C.R. Casaccia Edificio T16

a.	Descrizione Facility
Impianto a piscina caratterizzato da una cella di irraggiamento di grandi dimensioni (7.0 x 6.0 x 3.9 m³). Laboratorio dosimetrico, di caratterizzazione ottica e spettroscopica e test di invecchiamento accelerato.	
	
Figura 6 Sorgente di ^{60}Co Facility Irraggiamento Gamma	

b.	Caratteristiche Tecniche
L'impianto è licenziato per un'attività massima di 3.7×10^{15} Bq (100 kCi) e l'attività attuale è pari a 2.2×10^{15} Bq (60 kCi). La sorgente radioisotopica è costituita da barre cilindriche di ^{60}Co (energia media $\cong 1,25$ MeV) disposte in una rastrelliera a configurazione piana. Disponibilità di posizioni di irraggiamento con intensità di dose compresa tra 0 e 8 kGy/h.	

c.	Utilizzo
È possibile eseguire test di irraggiamento in diverse condizioni ambientali (aria, atmosfera inerte, vuoto, altri gas), a diverse temperature, sotto tensione con acquisizione on line e controllo da remoto, con emissione di certificati di irraggiamento e di dosimetria. Possibilità di esecuzione di test di irraggiamento acuti e cronici. Il Laboratorio dosimetrico della facility permette di eseguire misure ad hoc con differenti sistemi dosimetrici (dosimetria assoluta Fricke, ESR-alanina, RedPerspex, TLD, RADFET) per la determinazione della dose assorbita. Mappatura del campo di radiazione all'interno della cella di	

irraggiamento mediante codici di simulazione (Montecarlo, Fluka). Presso la Facility, è disponibile il Laboratorio di caratterizzazione per misure di tipo ottico (UV-VIS-IR), spettroscopico (ESR), di fluorescenza e per l'esecuzione di test di invecchiamento accelerato.

d.	Necessità per il suo funzionamento
La Facility Calliope è funzionante.	

e.	Anno di costruzione, ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo, buono, discreto, necessità di ammodernamento)
Anno di costruzione: 1967-1968	
Stato attuale: ottimo.	

f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
L'impianto di irraggiamento Calliope è raccomandato dall'Agenzia Spaziale Europea ESA ed italiana ASI per l'esecuzione di test di qualifica in ambito Spazio (Programma ASIF ASI Supported Irradiation Facilities). Per i componenti e sistemi elettronici, i test vengono condotti secondo quanto richiesto dalle specifiche ESA/SCC 22900, Issue 5 e MIL-STD-883. THALES, INFN, INAF, CNR, Università degli Studi della Toscana, Università di Roma La Sapienza, ENEA-SSPT (Progetti HortSpace e Greencube), ENEA-TERIN, committenti privati (IMT, Leonardo Co., SITAEL, Progetti Speciali Italiani, MediaLario).	

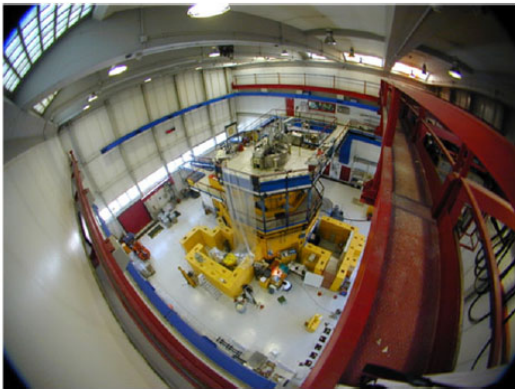
g.	Competenze spendibili in Area Spazio
Qualifiche di materiale, componenti e sistemi per l'industria elettronica, aerospaziale, nucleare, per lo stoccaggio di rifiuti radioattivi e per la fisica delle alte energie, secondo le normative nazionali ed internazionali di riferimento. Applicazioni per materiali, sistemi, sensori e componenti elettronici per Spazio. Caratterizzazione degli effetti indotti delle radiazioni gamma su materiali e matrici inorganiche: rivelatori di radiazione, vetri, cristalli, polimeri utilizzati in diversi campi di applicazione (medico, fisica delle alte energie, industriale, opto-elettronico, adesivi, accoppiamento ottico). Applicazioni per satelliti per l'osservazione della Terra e missioni nello Spazio profondo. Studio della resistenza a radiazione e delle modifiche indotte dall'irraggiamento gamma in microrganismi, sistemi organici (vegetali ed animali) e materiali innovativi per applicazioni in campo ambientale, agro-alimentare, food-packaging, AgroSpazio, Astrobiologia, Beni Culturali. Misure dosimetriche e simulazione con codici di calcolo per lo studio delle capacità schermanti di materiali presenti nello Spazio (regolite lunare e marziana). Applicazioni finalizzate alla sopravvivenza nello Spazio e vita sulla Luna e su Marte	

A cura di: Alessia Cemmi – Responsabile FSN FISS SNI

4.2 Laboratorio Reattori Nucleari di Ricerca – FSN FISS RNR

4.2.1 TRIGA RC-1 Training Research Isotopes General Atomics, Reattore Casaccia 1.

Facility:	TRIGA RC-1 Training Research Isotopes General Atomics, Reattore Casaccia 1.
Tipologia:	Reattore di Ricerca
Luogo:	C.R. Casaccia Edificio C02

a.	Descrizione Facility
Il reattore nucleare di ricerca TRIGA RC-1 è una sorgente di neutroni termici. Il nocciolo del reattore consiste in una struttura anulare immersa in acqua, la quale ha la funzione di moderatore e refrigerante primario. Gli elementi di combustibile del nocciolo sono geometricamente disposti su sette cilindri coassiali.	
 	
Figura 7 Reattore di Ricerca TRIGA RC-1	

b.	Caratteristiche Tecniche
Potenza massima: 1 MW Massimo flusso neutronico: $2.7 \cdot 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Raffreddamento del nocciolo per convezione naturale Dispositivi di irraggiamento: 1 Canale centrale 40 Posizioni in una rastrelliera girevole 1 Sistema di trasferimento pneumatico ("Rabbit") 1 Circuito per irraggiamento di liquidi 1 Colonna Termica 1 Colonna Termalizzante 6 Canali orizzontali 1 Cavità di irraggiamento nel nocciolo (volume disponibile equivalente a 3 elementi di combustibile) 1 Cavità di irraggiamento nella colonna termalizzante all'interno della piscina reattore	

c.	Utilizzo
Le principali applicazioni interessano i settori della medicina, industria, ricerca ed “education and training”. Nello specifico, sono svolte attività che riguardano: • Analisi sperimentale delle caratteristiche isotopiche ed elementali di isotopi radioattivi irraggiati nei reattori mediante spettrometria gamma. • Analisi sperimentale delle caratteristiche isotopiche ed elementali di isotopi radioattivi irraggiati nei reattori mediante tecniche NAA (Neutron Activation Analysis). • Analisi sperimentale delle caratteristiche isotopiche ed elementali di isotopi radioattivi irraggiati nei reattori mediante neutronigrafia. Per mezzo di flussi neutronici forniti dalla colonna termica e dal canale tangenziale penetrante vengono ottenute immagini radiografiche degli oggetti e, con un'acquisizione dell'immagine dipendente dal tempo, una ricostruzione tomografica di tali oggetti. • Indagini su componenti elettronici per il settore aerospaziale sottoposti ad alta fluenza neutronica (INFN/ASI/ESA). • Produzione di isotopi radioattivi mediante irraggiamenti in flussi neutronici e loro utilizzo in ambito industriale, metallurgico, manifatturiero, ambientale e medicale. In ambito industriale, può fornire un importante supporto nello studio e ottimizzazione di processi industriali preparativi, in particolare metallurgici e dell'industria nucleare, nella caratterizzazione dei materiali soggetti ad usura; in ambito medico viene utilizzata nella ricerca di modelli di diagnostica e terapia in medicina nucleare, per la definizione di nuovi composti radio marcati con azione efficace nei confronti di varie patologie. • Didattica per gli studenti universitari. • Formazione del personale.	
d.	Necessità per il suo funzionamento
Il reattore è funzionante.	
e.	Anno di costruzione, ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo, buono, discreto, necessità di ammodernamento)
È stato costruito nel 1960 nella sua prima versione a 100 kW di potenza nell'ambito dell'iniziativa USA Atoms for Peace e successivamente, nel 1967, è stato portato alla potenza di 1 MW su progetto ENEA. Stato attuale: buono.	
f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
Programma ASIF (ASI Supported Irradiation Facilities). THALES.	
g.	Competenze spendibili in Area Spazio

Indagini su componenti elettronici per il settore aerospaziale sottoposti ad alta fluenza neutronica.

4.2.2 RSV TAPIRO - TAratura Pila Rapida Potenza ZerO.

Facility:	RSV TAPIRO - TAratura Pila Rapida Potenza ZerO.
Tipologia:	Reattore di Ricerca
Luogo:	C.R. Casaccia Edificio C37

a.	Descrizione Facility
Il reattore nucleare di ricerca TAPIRO è una sorgente di neutroni veloci.	

b.	Caratteristiche Tecniche
Il TAPIRO è in grado di fornire flussi neutronici con spettri energetici estremamente variabili a partire da quello prossimo allo spettro di fissione che si ha 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 è progettato per operare ad un livello massimo di 5 kW, corrispondente ad un livello di flusso neutronico pari a circa $4 \cdot 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ al centro del nocciolo.	
	
Figure 8 Reattore di Ricerca RSV TAPIRO - TAratura Pila Rapida Potenza ZerO	

c.	Utilizzo
Il reattore può essere utilizzato in numerosi settori della ricerca: • studio del danneggiamento dovuto a neutroni veloci; • esperienze integrali per lo studio di dati nucleari; • validazione di codici di calcolo per reattori di IV generazione; • qualificazione di catene di rivelazione innovative; • supporto didattico nei corsi Universitari e post-Universitari.	

d.	Necessità per il suo funzionamento
Il reattore è funzionante.	

e.	Anno di costruzione, ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo, buono, discrete, necessità di ammodernamento)
Costruito per dare supporto al programma sperimentale sui reattori veloci è entrato in operazione nel 1971. Stato attuale: buono.	

f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
Programma ASIF (ASI Supported Irradiation Facilities). Irraggiamenti per verifiche di radiation damage su vele per la propulsione solare. THALES.	

g.	Competenze spendibili in Area Spazio
Indagini su componenti elettronici per il settore aerospaziale sottoposti ad alta fluenza neutronica.	

A cura di: Luca Falconi – Direttore Tecnico Responsabile Reattori TRIGA RC-1 e RSV TAPIRO.

4.3 Laboratorio di Caratterizzazione Radiologica e Gestione Rifiuti FSN FISS CRGR.

4.3.1 Laboratorio di Caratterizzazione Radiologica.

Facility:	Laboratorio di Caratterizzazione Radiologica e Gestione Rifiuti
Tipologia:	Laboratorio
Luogo:	C.R. Casaccia Edificio C43

a.	Descrizione Facility Il Laboratorio Caratterizzazione Radiologica e Gestione Rifiuti Radioattivi svolge il ruolo di laboratorio per l'analisi di materiali nucleari e radioattivi, garantisce la funzione di caratterizzazione di materiali nucleari e la qualificazione di processi che ne implicano la manipolazione oltre alla funzione di laboratorio di riferimento nel campo della caratterizzazione di rifiuti radioattivi sia condizionati che originari, sviluppa tecniche di caratterizzazione radiologica innovative e fornisce supporto tecnico-scientifico ed operativo alle Pubbliche Amministrazioni. Progetta, sviluppa e qualifica metodi di misura per la caratterizzazione radiologica dei rifiuti radioattivi e dei materiali nucleari, anche utilizzando tecniche di calcolo deterministiche e modellistica Monte Carlo. Studia e verifica l'applicabilità di tecniche di trattamento e condizionamento di rifiuti radioattivi ai fini del loro smaltimento.  Figura 9 Laboratorio di Caratterizzazione Radiologica e Gestione Rifiuti
-----------	--

b.	Caratteristiche Tecniche Sistema di misura trasportabile spettrometria □□ Sistema di misura spettrometria □ per U e Pu. Sistema di misura spettrometria □ SRWGA per la caratterizzazione di rifiuti radioattivi. LSC (liquid scintillation counting). Sistema di Spettroscopia RAMAN. Sistema di Spettrometria □□ ICP-MS. Spettrofotometro UV-Visibile. GC-MS. Sistemi di misura portatili per la rivelazione di neutroni e
-----------	---

radionuclidi gamma emettitori. Sistema di interrogazione neutronica attivo NAI.
--

c.	Utilizzo.
Caratterizzazione di materiali nucleari e radioattivi mediante tecniche di analisi distruttive e non distruttive.	

d.	Necessità per il suo funzionamento.
Il Laboratorio è pienamente operativo.	

e.	Anno di costruzione, ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo, buono, discrete, necessità di ammodernamento).
Anno di costruzione: 1960 Ammodernamento Successivo e nuovo Nulla Osta: 1995. Stato Attuale: Discreto. Necessità di ammodernamento e intervento su alcune infrastrutture anche ai fini della normativa antincendio.	

f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
White paper - The Italian contribution to the International Strategy for Science of/on/at the Moon. In via di formalizzazione.	

g.	Competenze spendibili in Area Spazio
Frazioni isotopiche tramite Spettrometria di massa. Radioattività naturale tramite spettrometria X e gamma. Frazioni isotopiche degli attinidi tramite spettrometria gamma. Calcoli Monte Carlo per la valutazione di campi radiativi, anche in geometrie complesse. A cura di: Giuseppe A. Marzo – Responsabile FSN FISS CRGR	

5 DIVISIONE FSN-SICNUC

5.1 Laboratorio SICNUC-SIN

Il Laboratorio SICNUC-SIN ha da qualche anno interesse allo studio delle applicazioni nucleari per le attività connesse all'esplorazione spaziale. Particolare attenzione è stata posta recentemente ai generatori termoelettrici a radioisotopi (RTG)

5.1.1 Sicurezza delle applicazioni nucleari in programmi spaziali

Competenze:	Sicurezza delle applicazioni nucleari in programmi spaziali
Tipologia:	Studio ed analisi
Luogo:	CR Bologna

a.	Descrizione Facility
N/A	

b.	Caratteristiche Tecniche
N/A	

c.	Utilizzo
N/A	

d.	Necessità per il suo funzionamento
N/A	

e.	Anno di costruzione , ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo , buono, discrete, necessità di ammodernamento)
N/A	

f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
Partecipazione all'incontro "ESA Innovation Exchange: Radioisotopes for Science, Exploration and	

Applications” (ERASMUS Centre, ESTEC, Noordwijk (NL) 27-28 June 2018). In questo evento l’Agenzia Spaziale Europea (ESA), in collaborazione con la World Nuclear Association, la European Nuclear Society e l’Università di Leicester, ha riunito i principali stakeholder, i maggiori esperti e ricercatori per discutere dei necessari passi per far avanzare l’esplorazione spaziale europea. In particolare l’ing. Fulvio Mascari ha contribuito alla sessione “The word from the stakeholders: High-Low Interests & High-Low Influence / Key concerns and key activities: interest and influence” discutendo delle problematiche legate alla sicurezza degli RTG e ponendo l’accento sulla necessità di un maggior coinvolgimento degli enti regolatori nucleari e degli enti di ricerca che si occupano di sicurezza nucleare nella programmazione dell’uso degli RTG.

g.	Competenze spendibili in Area Spazio
-----------	---

Considerando l’esperienza del Laboratorio sulla sicurezza nucleare, questa può essere applicata all’analisi delle caratteristiche di sicurezza ed all’applicazione delle procedure di sicurezza legate ai dispositivi RTG. In particolare, analisi degli elementi normativi in essere a livello internazionale, valutazione dei requisiti di sicurezza e delle risposte dei dispositivi di sicurezza a possibili scenari incidentali, e definizione delle procedure da adottare in caso di incidente. Inoltre, le competenze possono essere applicate all’analisi dei metodi di produzione degli RTG a Pu-238 e Am-241, ed alle problematiche legate all’accettazione da parte dell’opinione pubblica, ed alle prospettive di ricerca principalmente nel quadro europeo.

A cura di: Federico Rocchi FSN/SICNUC/SIN

5.1.2 Laboratorio SICNUC-PSSN

Il laboratorio FSN-SICNUC-PSSN dell'ENEA-Bologna in collaborazione con ricercatori dell'INFN di Milano Bicocca ha contribuito fino al 2019 al programma ASIF (ASI Supported Irradiation Facilities), configurato come accordo di cooperazione tra le istituzioni italiane coinvolte nella ricerca spaziale e tecnologica e degli acceleratori di particelle: ASI, ENEA e INFN.

5.1.3 Elaborazione, validazione e applicazione dati nucleari

Competenze:	Elaborazione, validazione e applicazione dati nucleari
Tipologia:	Sviluppo metodologico e calcolo
Luogo:	CR Bologna

a.	Descrizione Facility
NA	

b.	Caratteristiche Tecniche
NA	

c.	Utilizzo
NA	

d.	Necessità per il suo funzionamento
NA	

e.	Anno di costruzione , ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo , buono, discrete, necessità di ammodernamento)
NA	

f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
Partecipazione fino al 2019 al programma ASIF (ASI Supported Irradiation Facilities). Scopo dell'attività è stato quello di mettere a punto una metodologia per calcolare le sezioni d'urto di danneggiamento indotto da neutroni per elementi impiegati nel settore aero-spaziale. A questo scopo	

sono state calcolate le funzioni di danneggiamento (o “displacement kerma factors”), grandezze funzione dell’energia dei neutroni, che tengono conto dello spostamento degli atomi dal reticolo cristallino a seguito dell’interazione coi neutroni. In questa fase il contributo del laboratorio è consistito nel calcolo delle sezioni d’urto di danneggiamento tramite il processamento dei files di sezioni d’urto valutate delle librerie americane ENDF/B, nel formato standard ENDF-6, con il sistema NJOY, un sistema di processamento standard modulare ampiamente utilizzato per trasformare dati nucleari valutati nel formato ENDF (Evaluated Nuclear Data Files) in formati utili per calcoli in applicazioni nucleari.

g.	Competenze spendibili in Area Spazio
-----------	---

Le competenze del Laboratorio SICNUC-PSSN nell’elaborazione, valutazione ed utilizzo dei dati nucleari sono applicabili all’analisi del danneggiamento dei materiali e della progettazione degli schermaggi nei dispositivi spaziali. Per queste applicazioni è stata positivamente verificata nell’ambito del programma ASIF la compatibilità delle metodologie e strumenti di calcolo sviluppati nel corso di una ultra trentennale attività di R&D sull’Energia Nucleare da Fissione

A cura di: Manuela Frisoni FSN/SICNUC/PSSN

6 DIVISIONE Tecnologie Fisiche per la Sicurezza e la Salute TECFIS

6.1 Laboratorio Diagnostiche e Metrologia DIM

6.1.1 Prototipi per Diagnostiche e Metrologia

Facility:	Prototipi per Diagnostiche e Metrologia
Tipologia:	Sensoristica laser per misure a distanza
Luogo:	Frascati

a.	Descrizione Facility		
Il laboratorio ha sviluppato in diversi ambito progetti strumentazione per indagini da campo per una diagnostica a distanza basati su metrologia laser, per ottenere la caratterizzazione morfologica e di colore, oltre a sensori per il monitoraggio della composizione atomica e molecolare sia superficiale che a diverse profondità, mediante tecniche laser spettroscopiche. Si riportano alcuni prototipi allestiti per campagne specifiche:			
			
Figura 10 Apparato RGB-ITR per 3D modelling con colore nativo	Figura 11 Apparato IR-ITR per imaging e modeling sub superficiale	Figura 12 Apparato LIF marino	
			
Figura 13 Apparato LIF scansione di linea	Figura 14 Apparato imaging LIF a grande area	Figura 15 Apparato LIF portatile per caratterizzazione di acque	

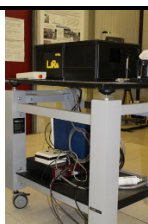


Figura 16 Apparato combinato Raman/LIBS/LIF per misure puntuali



Figura 17 Apparato ILS – integrato LIBS/Raman/LIF

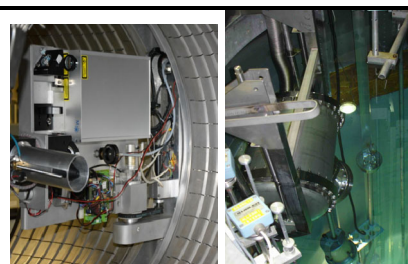


Figura 18: Apparato LIBS su braccio robotico (sinistra). Sistema Laser 3D Hard Rad (destra) .

b.	Caratteristiche Tecniche
Tecniche di indagine laser che operano con sorgenti laser dall'UV al vicino infrarosso, operazione a varie distanze 0,2 – 100 m, con possibilità di imaging tramite vari sistemi di scansione anche in ambienti di elevati flussi di radiazione.	
c.	Utilizzo
Indagini di caratterizzazione materiali in campo remota e locale	
d.	Necessità per il suo funzionamento
Manutenzione ordinaria nel consumo di ottiche e di gas di ricambio.	
e.	Anno di costruzione, ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo, buono, discrete, necessità di ammodernamento)
Gli apparati sono aggiornati su successivi progetti per applicazioni specifiche, sono in buone condizioni e funzionanti.	
f.	Collaborazioni in corso con l'Area Spazio
Progetto ESA VADUS (Virtual Access and Digitalization for Unreachable Sites) del programma - Artes Integrated Applications Promotion (IAP) - Cultural Heritage Activity. Progetto INSURE (INnovation in SUstainable offshoRe dEcommissioning), programma ARTES 4.0 Generic Programme Line Business Applications - Space Solutions ESA Express Procurement Plus - EXPRO+ “Decommissioning of energy assets”,	
g.	Competenze spendibili in Area Spazio
Le tecnologie presentate non si applicano tal quali per applicazioni spaziali ma rappresentano una base tecnica da cui iniziare a progettare nuovi sensori dedicati ad esplorazioni spaziali, in particolare	

per esplorazione planetaria con caratterizzazione del suolo e dell'atmosfera.

Principali tecniche di indagine spettroscopiche da adattare allo scopo:

- LIBS, LIF, Raman, misure di assorbimento (lidar/DIAL)

Tecniche di analisi dati implementabili per applicazioni specifiche;

- Sviluppo algoritmi spettroscopici, sviluppo algoritmi statistici

A cura di : Antonio Palucci (antonio.palucci@enea.it)

6.2 Laboratorio Micro e Nanostrutture per la Fotonica

Il Laboratorio FSN-TECFIS-MNF svolge principalmente attività di ricerca e sviluppo nella fotonica e nelle nanotecnologie, che consentono applicazioni innovative e soluzioni industriali ingegnerizzate ed efficienti in differenti ambiti scientifici ed industriali, che includono

- sintesi, caratterizzazione spettroscopica, funzionalizzazione di nanomateriali (nanopolveri, nanofili, natubi, quantum dots, nanocompositi, etc.) film ed interfacce;
- studio, realizzazione e caratterizzazione ottica di materiali e dispositivi emettitori di luce a film sottile e multistrato;
- studio e sviluppo di nuovi rivelatori di radiazione a stato solido per imaging e dosimetria (raggi-X, gamma, neutroni, protoni, etc.);
- sviluppo di sensori di Bragg funzionalizzati e sistemi di monitoraggio basati su tecnologia in fibra ottica;
- modellistica ottica e dell'interazione radiazione-materia.

6.2.1 Fotonica, materiali e rivelatori per lo spazio

Facility:	Fotonica, materiali e rivelatori per lo spazio
Tipologia:	R&D, caratterizzazione di materiali e componenti per lo spazio, ingegnerizzazione tecnologie in fibra ottica ed integrazione per applicazioni industriali
Luogo:	ENEA C.R. Frascati

a.	Descrizione Facility
Le attività sperimentali si svolgono presso ENEA C.R. Frascati, dove il laboratorio gestisce apparati e strumentazione per lo sviluppo e la applicazione di sistemi di monitoraggio basati su tecnologia in fibra ottica, per la sintesi e caratterizzazione avanzata di nanomateriali, anche assistita da laser, ed un apparato per la scrittura laser diretta, in particolare: • strumentazione per caratterizzazione e taratura di sensori in fibra ottica industriali/commerciali, banco di interferometria olografica, sistemi ottici e laser scanner per metrologia remota; • apparati di sintesi chimica ed evaporatori per la crescita di nanostrutture, nanocompositi, quantum dots e film sottili basati su materiali dielettrici, semiconduttori, metallici e per la funzionalizzazione di sensori di bragg in fibra ottica; • apparato di spettroscopia elettronica in ultra alto-vuoto; • spettrofotometri, spettrofluorimetri, laser per spettroscopia e microscopia ottica, • microscopio ottico confocale per la caratterizzazione di materiali e componenti. • micro-spettrometro Raman confocale per la caratterizzazione di materiali.	

b.	Caratteristiche Tecniche
- apparecchiature per la interrogazione di sensori in fibra ottica in regime statico e dinamico	

- sistemi per prove termiche e meccaniche
- sistema di analisi di superfici/film per spettroscopia XPS
- spettrofotometri UV-VIS-NIR, spettrofluorimetri UV-VIS, microscopi a fluorescenza e confocali, spettrometro Raman confocale con scansione di superficie e volume ad elevata risoluzione

c.	Utilizzo
- Prove di validazione e caratterizzazione componenti prototipali e controlli non distruttivi - Caratterizzazione ottica di film sottili, componenti e dispositivi, anche sottoposti ad irraggiamento - R&D di rivelatori di radiazione a stato solido - Analisi di superfici/film mediante spettroscopia XPS - Applicazione di diagnostiche spettroscopiche non distruttive con risoluzione spaziale per la caratterizzazione di materiali.	

d.	Necessità per il suo funzionamento
Up-grading ed aggiornamenti per mantenere a livelli adeguati le prestazioni delle numerose strumentazioni, in relazione anche alle specifiche richieste.	

e.	Anno di costruzione, ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo , buono, discrete, necessità di ammodernamento)
Avviato nel 2010 con continuo potenziamento ed ammodernamento, sulla base dei progetti acquisiti ed in corso. Stato attuale buono	

f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
Sapienza Università di Roma – Dip. di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica: - misure statiche/dinamiche con sensori fibra ottica e ESPI per qualifica prototipi e FE Model Update - imaging spettrale di materiali compositi a base carbonio per la realizzazione di sensori UV.	

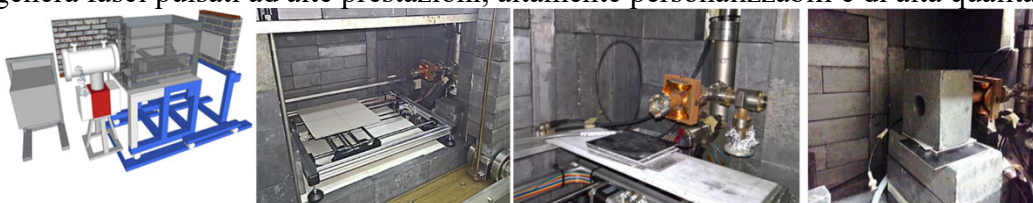
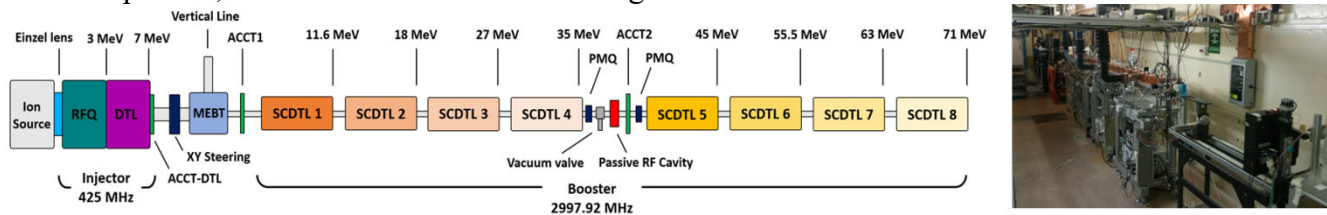
g.	Competenze spendibili in Area Spazio
- Sviluppo di sistemi di monitoraggio basati su tecnologia in fibra ottica, idonei ad operabilità per il controllo di payload e di sistemi di controllo aviomissilistici. - Caratterizzazione ottica e spettroscopica di materiali e componenti di interesse in ambito spaziale, anche sottoposti ad irraggiamento con radiazioni. - Studio e sviluppo di nuovi rivelatori di radiazione a stato solido, con riferimento al progetto DOSIS 3D project sulla International Space Station.	

A cura di : Rosa Maria Montereali, rosa.monteriali@enea.it

6.3 Laboratorio Acceleratori di Particelle per Applicazioni Medicali

6.3.1 Electron, X-rays, Proton Irradiation sources

Facility:	Electron, X-rays, Proton Irradiation sources
Tipologia:	Space Radiation Environment Simulation - Acceleratori di particelle per irraggiamenti di sensori, elettronica, materiali
Luogo:	C.R. Frascati

a.	Descrizione Facility
Nel laboratorio APAM sono operativi due acceleratori di particelle, sviluppati in ambito medicale ed industriale ed impiegati in campagne di test ed irraggiamenti di interesse Aerospaziale. Macchina REX. Acceleratore di elettroni da 5 MeV munito di una testa di conversione beta-gamma rimovibile con il target di conversione scambiabile. I sottosistemi di cui è costituito l'impianto sono in grado di erogare elettroni o raggi X, a seconda dell'uso selezionato e delle esigenze sperimentali. La macchina genera fasci pulsati ad alte prestazioni, altamente personalizzabili e di alta qualità.	
	
Figura 19 Macchina REX	
Macchina TOP-IMPLART Prototipo di un acceleratore di protoni innovativo: tutte le caratteristiche fisiche del fascio (energia, intensità, direzione, ...) possono essere variate rapidamente e attivamente, offrendo precisione e flessibilità nell'erogazione della dose al target. L'acceleratore è munito di due punti di estrazione del fascio di protoni, uno a bassa ed uno ad alta energia.	
	
Figura 20 TOP-IMPLART	

b.	Caratteristiche Tecniche
<u>Parametri operativi del fascio di elettroni REX</u> Valore minimo di energia 2.4 MeV; corrente impulsiva dell'ordine di 150 mA Valore energetico massimo 5 MeV; corrente impulsiva dell'ordine di 100 mA Durata dell'impulso fissa di 3.5 μs Frequenza di ripetizione: fino a 25	<u>Parametri operativi del fascio di protoni TOP-IMPLART</u> Uscita bassa energia (linea verticale): intervallo di energia 2.6 MeV - 7 MeV; massima durata impulso 100 μs; fluensa 1E+15 p/cm² (60' continuo); 1.5 cm di estensione della superficie per irraggiamento omogeneo entro un 10% Uscita alta energia (linea orizzontale): 35 MeV - 55.5 MeV; massima durata impulso 4 μs; fluensa 1E+11p/cm² (frequenza di ripetizione 25 Hz, aumentabile a 50 Hz); fino a 6 cm di estensione della superficie per irraggiamento omogeneo entro un 10% a circa 2m di distanza dall'uscita dell'acceleratore

Hz	Upgrade energia previsto: 150 MeV finalizzato alla realizzazione di una macchina per uso clinico nel trattamento dei tumori.
----	--

c.	Utilizzo
<i>Materials Durability</i> : Degrado; Sputtering; Modifica delle proprietà termiche, meccaniche, ottiche.	<i>Scientific Instrumentation</i> : Rumori di sottofondo, Riduzione delle prestazioni.
<i>Electronic</i> : Displacement Damage; Radiation Hardness; Single event effect; Space Product Assurance; Total Ionizing Dose.	<i>Radiation Effects</i> : Effetti dannosi su sistemi biologici; Effetti a lungo termine (tumori, leucemia, degenerazione a lungo termine dei tessuti); Effetti a breve termine da Solar Particle Event (sindrome da radiazioni acute).
Gli impianti sono altamente flessibili ed i fasci di radiazione prodotti sono impiegati in ambito Aerospazio, Agospazio, Astrobiologia, Scienze della vita; Trattamento polimeri; Studio dei difetti strutturali di cristalli e minerali; Conservazione dei Beni Culturali; Danneggiamento di materiali per la fusione nucleare; Effetti su materiali e leghe innovative, Studio e Caratterizzazione di sensori di radiazione e di sistemi (attivi, passivi, Commercial Off-The-Shelf) per la navigazione satellitare.	

d.	Necessità per il suo funzionamento
Per il funzionamento gli impianti necessitano di personale specializzato, forniture di materiale (consumo gas tecnici e parti di ricambio) e strumentazione necessari alla ordinaria manutenzione ed operazione, gestione e sistemi di verifica degli impianti, acquisizione di specifici dispositivi di controllo in real-time dei parametri di energia, fluenza e dose della radiazione emessa, definizione di procedure di qualificazione valide per essere efficaci a livello di sistema nel settore Spazio/AeroSpazio con l'interesse alla partecipazione a programmi ed infrastrutture operanti nel settore delle qualifiche di materiale, componenti e sistemi per l'industria elettronica, aerospaziale, nucleare secondo le normative nazionali ed internazionali di riferimento.	

e.	Anno di costruzione , ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo , buono, discrete, necessità di ammodernamento)
Macchina REX: apparato costruito circa 20 anni fa, aggiornato con un progetto finanziato per applicazioni ai beni culturali. Al momento la macchina è funzionante ed in discrete condizioni, relativamente all'impiego attuale, ma necessita di up-grade ed ammodernamenti per le specifiche applicazioni in ambito Spazio/Aerospazio e per mantenere livelli adeguati delle prestazioni in relazione alle specifiche richieste. Macchina TOP-IMPLART: acceleratore in fase di costruzione dunque aggiornato ed in ottimo stato ma necessita di specifici interventi per l'applicazione in ambito aerospaziale (postazioni di lavoro e di misura, standard di processo - una manutenzione straordinaria della macchina dovrebbe includere la sostituzione del segmento iniettore dell'acceleratore per migliorarne le capacità ed ottimizzare le condizioni operative per i test e le applicazioni in ambito Spazio/Aerospazio).	

f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
- Programma ASIF (ASI-ENEA-INFN) -> Dosimetry and Facility Standardization – in corso di formalizzazione (Finanziamento ASI) - Programma BioXtreme -> campagne di irraggiamento in-vivo con raggiX e protoni di sistemi biologici (vegetali ed animali) – concluso (Finanziamento ASI)	

- Proposta FLUTES (ENEA) -> test di irraggiamento, con elettroni raggiX e protoni, di fluidi multifasici da impiegare come liquidi refrigeranti in ambiente ISS – proposta sottomessa (Finanziamento ASI)
- Collaborazioni esterne con INFN, UniNA, UniRM1 UniTUS, CERN, INAF, imprese private -> test di irraggiamento di sensori, elettronica, materiali e sistemi biologici (attualmente non finanziate)
- Partecipazione ai tavoli tematici di THALES Alenia Space nell'area Materials e Radiations.

g.	Competenze spendibili in Area Spazio
-----------	---

Test e campagne di irraggiamento con fasci di Elettroni, Raggi X e Protoni.

Esperienza proposta per l'impiego delle sorgenti descritte nei settori:

“Life Science” ed “Esplorazione del Sistema Solare” -> capacità di sopravvivenza di sistemi biologici (microrganismi e macrorganismi, sistemi in-vivo vegetali ed animali), Biomedicina, AgroSpazio e Astrobiologia (caratterizzazione attività di rimedio cellulare o di predizione del deterioramento o della resistenza cellulare per lo studio delle parentele cellulari stesse);

“Sensori, Elettronica, Materiali e Tecnologie” -> resistenza alle radiazioni e modifiche indotte su nuovi dispositivi e componenti elettronici, proprietà monitor di radiazione, effetti sulla meccanica e la fluidodinamica, componenti per satelliti per l'osservazione della Terra e missioni nello Spazio profondo, Astronautica;

“Geologia” -> studio dei sistemi biotici e la loro interconnessione: capacità dei microrganismi di colonizzare specifiche rocce.

A cura di : Monia Vadrucci (monia.vadrucci@enea.it)

7 SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI (FSN-PROIN)

7.1 Divertor Refurbishment Platform (DRP)

Facility:	Divertor Refurbishment Platform (DRP)
Tipologia:	Robotica, Manutenzione Remota
Luogo:	C.R. ENEA Brasimone

a.	Descrizione Facility
Laboratorio di manutenzione remotizzata utilizzato per la qualifica delle operazioni di ricondizionamento e manutenzione della cassetta del divertore.	

b.	Caratteristiche Tecniche
Le sue dimensioni e l'elevato numero di dispositivi presenti consentono di affrontare diverse attività di R&S nel campo delle tecniche di remotizzazione.	

c.	Utilizzo
Lavora nell'ambito della manutenzione remotizzata di DTT. E' in fase di ampliamento con la Remote Handling Test Facility di DTT.	

d.	Necessità per il suo funzionamento
2 operatori e 2 ricercatori.	

e.	Anno di costruzione , ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo , buono, discrete, necessità di ammodernamento)
E' in fase di ampliamento con la Remote Handling Test Facility di DTT. Stato attuale buono.	

f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
Nessuna	

g.	Competenze spendibili in Area Spazio
-----------	---

7.2 Progettazione sistemi nucleari innovativi per applicazioni spaziali

La Sezione PROIN concettualizza, progetta e supporta lo sviluppo tecnologico di sistemi nucleari innovativi per la fornitura di energia termica e/o elettrica nelle basi per la colonizzazione umana della Luna e di Marte.

Progetta e sviluppa sistemi nucleari per l'alimentazione energetica di sonde e satelliti per l'esplorazione dello spazio e navicelle per il trasporto umano verso Marte.

Competenze:	Progettazione sistemi nucleari innovativi per applicazioni spaziali
Tipologia:	Progettazione e Analisi
Luogo:	CR Brasimone

a.	Descrizione Facility
N/A	

b.	Caratteristiche Tecniche
N/A	

c.	Utilizzo
N/A	

d.	Necessità per il suo funzionamento
N/A	

e.	Anno di costruzione , ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo , buono, discrete, necessità di ammodernamento)
N/A	

f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
Collabora con ESA, THALES ALENIA SPACE e OHB per la progettazione di sistemi nucleari innovativi per applicazioni spaziali.	

g.	Competenze spendibili in Area Spazio
Considerando l'esperienza della Sezione PROIN in ambito nucleare, questa può essere applicata alla progettazioni di reattori nucleari a fissione modulari, affidabili e intrinsecamente sicuri per applicazioni spaziali.	

A cura di: Mariano Tarantino, Responsabile PROIN

8 INMRI

8.1 Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (INMRI)

Facility:	Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (INMRI)
Tipologia:	Sistema integrato di Campioni primari e secondari per metrologia delle radiazioni ionizzanti
Luogo:	ENEA C.R. Casaccia

a.	Descrizione Facility
Sistema integrato di apparati sperimentali e mezzi di calcolo/simulazione che realizzano e disseminano (mediante procedure certificate di taratura) i campioni delle unità di misura delle grandezze fisiche relative alle radiazioni ionizzanti: attività dei radionuclidi, dose assorbita, kerma in aria, fluenza e densità di flusso di neutroni, equivalente di dose.	

b.	Caratteristiche Tecniche
I campioni su citati permettono la taratura di una vasta tipologia di strumentazione rispetto alle grandezze citate. Gli intervalli dei valori realizzabili sono quelli tipicamente riscontrati in applicazioni di radioprotezione/radioterapia. Il servizio di taratura comprende in diversi casi l'irraggiamento a dose prefissata. Tarature e irraggiamenti sono prodotti con certificazione riconosciuta a livello nazionale ed internazionale.	

c.	Utilizzo
Tipicamente la strumentazione da tarare deve essere inviata ai laboratori dell'INMRI. In alcuni sporadici casi le tarature possono essere effettuate in campo o fuori sede.	

d.	Necessità per il suo funzionamento
Ricercatori e personale tecnico per condurre la sperimentazione ed apportare le modifiche per la conduzione delle tarature o irraggiamenti.	

e.	Anno di costruzione , ammodernamenti successivi e stato attuale facility (e.g. eccellente, ottimo , buono, discrete, necessità di ammodernamento)
Sistema sviluppato a partire dagli anni 80, mantenuto e aggiornato periodicamente anche con aggiunta di nuovi campioni secondo le necessità del Paese e l'evoluzione nella definizione/realizzazione delle	

grandezze fisiche d'interesse.

f.	Eventuali collaborazioni passate e in corso o in via di formalizzazione con l'Area Spazio
-----------	--

Nessuna

g.	Competenze spendibili in Area Spazio
-----------	---

Misurazione delle radiazioni ionizzanti.
--

A cura di: Pierino De Felice - FSN/INMRI