

# **Convenzione Quadro ENEA-INFN**

## **Ricognizione sulle collaborazioni in atto nell'ambito specifico delle “Applicazioni mediche”**

Referenti:

ENEA (Carmela Marino)

INFN (Giacomo Cuttone)

## **TOP-IMPLART (Terapia Oncologica con Protoni - Intensity Modulated Proton Linear Accelerator for RadioTherapy)**

**ENEA:** Luigi Picardi, Carmela Marino, Concetta Ronsivalle, Monia Vadrucci, Alessandro Ampollini, Paolo Nenzi, Vincenzo Surrenti, Giulia Bazzano, Emiliano Trinca, Fabio Borgognoni, Fabio Fortini, Roberta Fantoni, Rossella Repetto, Marco Rao, Massimo Piccinini, Enrico Nichelatti, Stefano Libera, Maria Aurora Vincenti, Rosa Maria Montereali, Valentina Nigro, Clarice Patrono, Claudio Pioli, Simonetta Pazzaglia.

**ISS:** Cinzia De Angelis, Sara Della Monaca, Giuseppe Esposito\*, Francesco Ghio\*, Antonella Tabocchini, \* Evaristo Cisbani\*, Carmelo Notaro\*, Pasqualino Anello, Giorgio De Angelis, Fausto Giuliani\*, Maurizio Lucentini\*, Fabio Santavenere\*, Alessandro Spurio\* (\* associati INFN)

**IFO:** Marco D'Andrea, Raffaella Marconi, Antonella Soriani, Valeria Landoni

Nell'ambito del progetto generale sono nate delle attività collaterali, ma di assoluta importanza per la gestione della macchina e dei protocolli clinici possibili.

1. **Sviluppo di nuovi rivelatori a lettura ottica per dosimetria e radiobiologia;** ENEA: R. M. Montereali, E. Nichelatti, V. Nigro, M. Piccinini, M. A. Vincenti *ISS-INFN E. Cisbani*
2. **Dose delivery monitor per fasci ad alta intensità istantanea;** ENEA: L. Picardi, C. Ronsivalle, G. Bazzano, P. Nenzi; ISS: E. Cisbani, F. Ghio, F. Santavenere INFN-Roma3: M. Iodice, R. di Nardo); UniRoma3: F. Petrucci.
3. **Dosimetria di fasci di protoni ad alta dose, e rateo di dose, per impulso** ENEA: M. Vadrucci; INFN: Francesco Romano
4. **Nanodiamanti come radiosensibilizzanti in trattamenti radioterapici, in connessione col progetto INFN RESOLVE (CNS5),** ENEA: S. Pazzaglia; INFN: F. Picollo

### **Descrizione del progetto TOP-IMPLART**

L'acceleratore TOP IMPLART (TOP=Terapia Oncologica con Protoni, IMPLART = Intensity Modulated Proton Linear Accelerator for Radiotherapy) è un prototipo evolutivo di un sistema dedicato alla radioterapia con protoni (protonterapia) in fase di realizzazione, presso i Laboratori ENEA del C.R. Frascati, da una compagine istituzionale con differenti competenze: ENEA (macchina e radiobiologia), ISS (dosimetria e radiobiologia), IFO (piani di trattamento). Il progetto è finanziato dalla Regione Lazio, per mezzo di una Convenzione Regione-ENEA che trasferisce gradualmente circa 11ML di euro ad ENEA e partner seguendo stadi di avanzamento lavori. Il finanziamento copre la realizzazione del prototipo fino ad una energia di 150 MeV (15 cm di penetrazione nel tessuto umano). Tale apparato è in corso di realizzazione e test in un bunker lungo 30 metri presso il CR ENEA a Frascati ed eventualmente, con altri fondi, si intende ingegnerizzarlo e trasferirlo in un ospedale laziale. Una parte del finanziamento è stato dedicato anche allo studio e alla ricerca nei campi della fisica di macchina, della dosimetria e della radiobiologia.

Il principale vantaggio della protonterapia rispetto alla radioterapia convenzionale con raggi X consiste nella assenza di irraggiamento dei tessuti più profondi del range delle particelle, in quanto i protoni accelerati rilasciano il massimo della loro energia al termine del loro percorso nel tessuto umano (picco di Bragg). Questa proprietà è fondamentale per risparmiare organi critici situati a valle della massima profondità di penetrazione. Inoltre, poiché la profondità del picco, e quindi del maggior danno, è dipendente dall'energia dei protoni in ingresso è possibile effettuare uno «scanning attivo 4D» di un volume tumorale di forma qualsiasi modulando intensità ed energia del pennello di protoni (Spread Out Bragg Peak) e variandone la direzione.

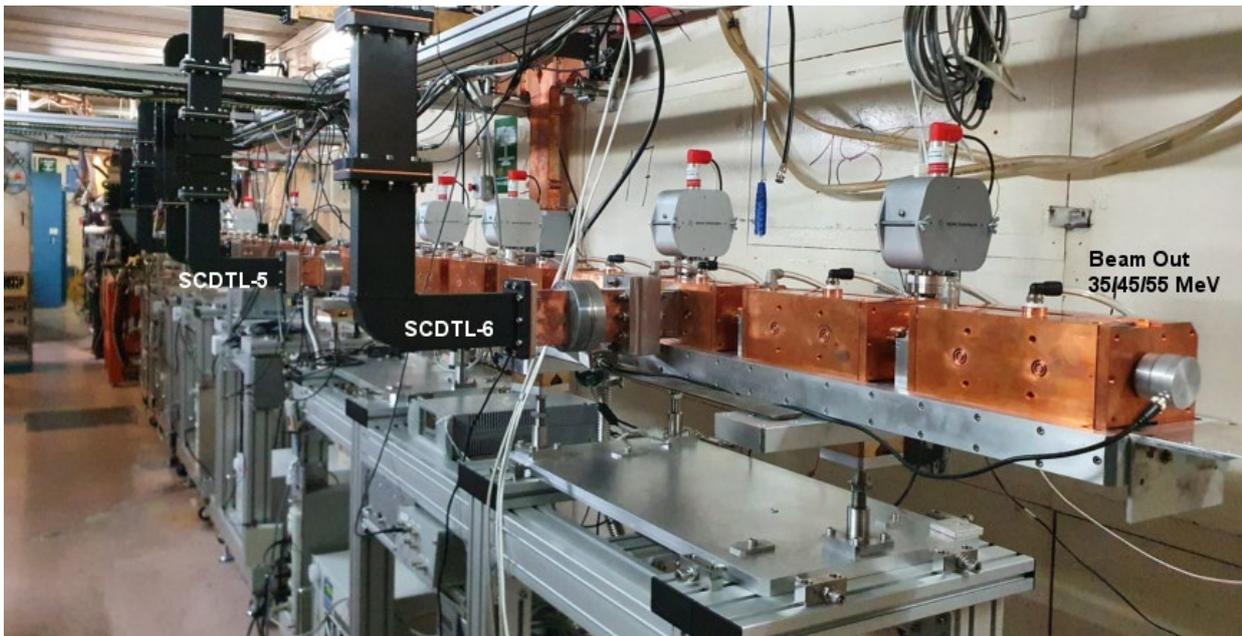
L'impianto TOP-IMPLART è basato su un acceleratore a radiofrequenza impulsato completamente lineare ed è concepito per essere più compatto e leggero di ciclotroni e sincrotroni (che sono le macchine più comunemente usate negli impianti di protonterapia) con minori costi di funzionamento. Esso occupa solo il tratto iniziale della linea di trasporto del fascio nelle sale di trattamento di un sistema standard. Le perdite di fascio durante l'accelerazione sono contenute e limitate ad energie minori di 7 MeV, cosicché la radiazione ambientale spuria è molto minore di quella di ciclotroni e sincrotroni. E' un impianto modulare: la massima energia disponibile può variare da installazione ad installazione. Le caratteristiche fisiche (energia, intensità, direzione, ...) del fascio possono essere variate rapidamente (sulla scala dei millisecondi) e attivamente offrendo precisione e flessibilità nel rilascio della dose con una intensità istantanea più elevata rispetto agli acceleratori circolari.

Il sistema si compone di un iniettore commerciale da 7 MeV seguito da una sequenza di strutture acceleranti a radiofrequenza ideate da ENEA denominate SCDTL che garantiscono, rispetto ad altre strutture acceleranti per protoni, una maggiore compattezza sia nelle dimensioni trasversali che in quelle longitudinali a parità di energia, e un minor peso al fine di compattare al massimo l'acceleratore. Tali strutture acceleranti sono progettate in ENEA e realizzate da ditte laziali specializzate in meccanica di alto livello e tecnologie da ultra-alto vuoto. Tra l'iniettore e i moduli acceleranti successivi è inserito un magnete che consente di deflettere il fascio su una linea verticale dedicata a esperimenti di radiobiologia a energie dei protoni variabile tra 3 e 7 MeV.

Durante la realizzazione del prototipo, a mano a mano che vengono realizzate e messe in operazione le strutture acceleranti, il fascio di uscita viene caratterizzato, in un opportuno spazio di misura di circa 2 metri, per verificare la correttezza del complesso progettazione-realizzazione e la qualità dell'output ed eventualmente migliorarne le performance. A tale scopo vengono utilizzate le pratiche e la strumentazione della dosimetria standard per radioterapia (camere a ionizzazione, dosimetri al diamante, al silicio, MOSFET, alanina). Vengono altresì realizzati sistemi dosimetrici innovativi quali camere a ionizzazione 2D con risoluzione del singolo impulso, in tempo reale, e dosimetri con cristalli di LiF (fluoruro di litio) che consentono di visualizzare la distribuzione in profondità del fascio. Una accurata analisi, con precisione micrometrica, della risposta in radiofoto-luminescenza poi consente di ricostruire la curva di Bragg a dosi cliniche e definire la distribuzione energetica del fascio: a questo proposito sono attive iniziative di sviluppo di nuovi rivelatori a lettura ottica (descritte in seguito).

Il fascio caratterizzato dosimetricamente, è poi utilizzato per esperimenti di irradiazione di campioni biologici (ENEA-SSPT-TECS, ISS, IFO) in vitro (cellule tumorali). Le risposte a questi irraggiamenti vengono confrontate con dati di letteratura o altri effettuati con le stesse tipologie di cellule ma con raggi X e desunta l'efficacia radiobiologica del fascio accelerato. Questi studi di radiobiologia possono avere carattere generale o specifico delle modalità peculiari del fascio TOP-IMPLART. Lo stesso fascio viene utilizzato anche per studiare la risposta di nuovi materiali (ad esempio potenziali nuovi dosimetri) o la loro robustezza alla radiazione (ad esempio nuovi sensori e relativa elettronica).

Attualmente l'energia massima del fascio è 55 MeV e disattivando singolarmente gli ultimi due moduli è possibile ottenere all'uscita anche un fascio di energia di 35 o 45 MeV.



*Fig. 1 Acceleratore TOP-IMPLART*

## *Attività Specifiche*

### **1) Sviluppo di nuovi rivelatori a lettura ottica per dosimetria e radiobiologia**

Il Laboratorio Micro e Nanostrutture per la Fotonica della Divisione Tecnologie Fisiche per la Sicurezza e la Salute del Dipartimento Fusione e Sicurezza Nucleare negli ultimi anni è attivamente impegnato nello sviluppo di nuovi rivelatori a lettura ottica per dosimetria e radiobiologia. Si tratta di rivelatori passivi a stato solido basati sulla radiofotoluminescenza di difetti elettronici puntiformi in cristalli e film sottili di fluoruro di litio, già impiegati con successo nell'ambito del progetto TOP-IMPLART per la diagnostica di fasci di protoni e la ricostruzione dell'intera curva di Bragg ad energie precliniche, anche a dosi di alcune decine di Gy, tipiche dei trattamenti di radioterapia.

Le caratteristiche della risposta di questi rivelatori li rendono particolarmente adatti per protoni di bassa energia, e, quindi, per esperimenti di radiobiologia; per questi esperimenti, in TOP-IMPLART si sta ultimando una linea verticale di estrazione del fascio di protoni da circa 5 MeV.

Sebbene la sensibilità a bassa dose debba essere migliorata, mediante implementazione di tecniche di lettura basate su microscopia ottica in fluorescenza, anche indotta da laser, si intendono sviluppare rivelatori di tracce nucleari fluorescenti (FNTD, Fluorescent Nuclear Track Detector) innovativi ibridi basati su fluoruro di litio per esperimenti di radiobiologia che utilizzano protoni e/o adroni. Nell'ambito della radiobiologia, è infatti fondamentale conoscere l'energia depositata a livello della singola cellula e correlarla con i parametri fisici del fascio. Recentemente, per il bando regionale POR-FESR 2014-2020 Progetti di Gruppi di Ricerca 2020, nell'ambito dell'AdS3 "Scienze della vita", è stato presentato il progetto collaborativo BIOTRACK, che prevede gli esperimenti presso la linea verticale dell'acceleratore TOP-IMPLART, in collaborazione con ricercatori ISS associati all'INFN.

### **2) Dose delivery monitor per fasci ad alta intensità istantanea**

Con il gruppo INFN/Roma3 si sta valutando lo sviluppo di un sistema di dose delivery basato su sensori a gas in tecnologia MPGD/microMegas. Questi sensori, oltre ad offrire una eccellente risoluzione spaziale, grazie alla loro versatilità di configurazione, possono permettere un ampio range dinamico, in grado di

sostenere alte intensità istantanee di fascio e al tempo stesso mantenere un'elevata sensibilità, con la possibilità di riconfigurabilità in tempo reale. Queste caratteristiche sono importanti per la massima valorizzazione della modulazione attiva in intensità del fascio TOP-IMPLART. Per questo si sta esplorando la possibilità dello sviluppo di un prototipo di camera microMegas a trasmissione, con piano di lettura parallelo al fascio, in grado di misurare il profilo trasverso di intensità con risoluzione ampiamente sotto il millimetro e per intensità istantanee che possono variare per 4-5 diversi ordini di grandezza. Per questa attività il gruppo INFN è coinvolto in un PRIN recentemente sottomesso, in cui si propone di trasferire, opportunamente adattate, tecnologie che si stanno sviluppando nella fisica delle alte energie.

### **3) Dosimetria di fasci di protoni ad alta dose, e rateo di dose, per impulso**

La collaborazione fra il Laboratorio ENEA di Acceleratori di Particelle dedicati alle Applicazioni Medicali, FSN-TECFIS-APAM (M. Vadrucchi), e la sezione INFN di Catania (F. Romano) riguarda le tematiche connesse con la dosimetria a la radiobiologia con fasci di protoni ad alta dose e rateo di dose per impulso, utilizzati nella Radioterapia "FLASH", dal nome dell'effetto responsabile di una differente risposta biologica dei tessuti sani alle radiazioni ad alto flusso. In particolare, diverse evidenze sperimentali dimostrano come l'erogazione di un trattamento con ratei di dose dell'ordine di 40 Gy/s o superiore determini un danno ridotto ai tessuti sani circostanti il target tumorale. Oltre a investigare la fenomenologia di questo effetto, la comunità internazionale è oggi impegnata anche nel risolvere le sfide strumentali che la dosimetria dei suddetti fasci di protoni implica.

Nello specifico, l'attività che verrà svolta nell'ambito della presente collaborazione prevede, nella prospettiva di ottimizzazioni del fascio di protoni dell'acceleratore TOP-IMPLART, prevista nello specifico programma di ricerca, la pianificazione di un set di misure e campagne di irraggiamento di rivelatori per radioterapia (es. camere a ionizzazione) per la loro caratterizzazione in un range di funzionamento non convenzionale, quello dei fasci ad alto impulso. Parallelamente verranno studiate e sviluppate nuove tecniche dosimetriche adatte alla radioterapia FLASH. A ciò si aggiunge la prospettiva di poter effettuare, nell'ambito della collaborazione INFN/ENEA, degli esperimenti di radiobiologia con diversi campioni cellulari per studiare gli effetti biologici delle radiazioni ad alto impulso.

### **4) Nanodiamanti come radiosensibilizzanti in trattamenti radioterapici, in connessione col progetto INFN RESOLVE (CNS5)**

Il Laboratorio di Tecnologie Biomediche della Divisione Tecnologie e Metodologie per la salvaguardia della salute - Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi territoriali dell'ENEA è attivamente impegnato nella messa a punto di nuove strategie terapeutiche per la cura dei tumori cerebrali infantili, tra i quali il medulloblastoma *Sonic hedgehog*-dipendente. Per tale scopo, il progetto RESOLVE mira a sviluppare terapie innovative sinergiche tra agenti fisici (raggi-X, protoni) e farmaci immunomodulanti per il trattamento del medulloblastoma in modelli murini preclinici in vitro/in vivo.

Il gruppo di Fisica dello Stato Solido del Dipartimento di Fisica dell'Università di Torino associato alla sezione INFN di Torino svolge attività di sviluppo ed utilizzo di sensori innovativi in diamante artificiale per applicazioni in micro-radiobiologia. In particolare, questi dispositivi permettono di monitorare in real-time e simultaneamente l'attività chimica ed elettrica delle cellule in analisi (es. neuroni) e la dose della radiazione ionizzante a cui vengono esposte, permettendo di effettuare studi in vitro sugli effetti indotti da Raggi-X o protoni. In particolare, in questo studio sarà attiva la collaborazione ENEA-INFN nello sviluppo e fabbricazione di sensori in diamante artificiale per applicazioni in micro-radiobiologia che verranno utilizzati per la dosimetria pretrattamento nel modello animale. Le esposizioni a raggi X e protoni si

svolgeranno nei C.R. ENEA Casaccia e Frascati. Nel C.R. Casaccia si svolgerà inoltre l'attività sperimentale cellulare e molecolare.

## **Studi radiobiologici con l'uso di radiazione ionizzante ad alto e basso LET.**

ENEA: Monia Vadrucci [monia.vadrucci@enea.it](mailto:monia.vadrucci@enea.it);

INFN: Mariangela Cestelli Guidi [mariangela.cestelliguidi@lnf.infn.it](mailto:mariangela.cestelliguidi@lnf.infn.it).

Il progetto *Neural Stem Cells resistance to irradiation* è volto a migliorare la conoscenza degli effetti trascrittomici e cellulari causati dall'assorbimento di radiazione in cellule staminali neurali di topo.

Lo scopo scientifico della collaborazione fra l'Università di Roma La Sapienza (R. Negri, G. Lupo), la sezione LNF di INFN (M. Cestelli Guidi) ed ENEA (M. Vadrucci) è testare la resistenza alle radiazioni ionizzanti (raggi X a basso LET e neutroni veloci ad alto LET) delle cellule staminali neurali dei mammiferi e la loro capacità di innescare un processo di senescenza differenziativa di grande interesse per le applicazioni in radioterapia oncologica.

Il danno ossidativo e la genotossicità associati ai raggi X ed ai neutroni saranno ampiamente studiati con saggi genomici e biochimici convenzionali. La tecnica sFTIR-M combinata con microscopia a fluorescenza sarà utilizzata per rilevare il danno al DNA e/o la capacità di riparazione post-irradiazione. Inoltre, saranno studiati, mappati e modellizzati: il profilo lipidico di membrana, la perossidazione, le proprietà biofisiche, la polarità, l'ordinamento, la lunghezza della catena idrocarburica, il grado di saturazione/insaturazione, il rapporto lipidi/proteine totali e l'alterazione nella struttura della proteina conformazionale.

Di interesse ancora per radioterapia avanzata lo Sviluppo di rivelatori per FLASH Therapy (nuova modalità di radioterapia). Leonello Servoli [leonello.servoli@pg.infn.it](mailto:leonello.servoli@pg.infn.it), ENEA\_Laboratorio Montecuccolino (BO). Nel contesto delle attività CSN5 della Sezione INFN di Perugia, è in corso un accordo tra Leonello Servoli, primo ricercatore INFN a Perugia, con il laboratorio ENEA di Ingegneria Nucleare, Montecuccolino (BO), dove c'è una sorgente intensa di radiazione prodotta da plasmi di elettroni, per fare delle misure che portano verso lo sviluppo di rivelatori per FLASH Therapy (nuova modalità di radioterapia). I rivelatori che si possono testare sono sia Diamanti 2D o 3D (esp. 3D\_SOD e 3DOSE) che rivelatori a Silicio Amorfo idrogenato (esperimento 3DSIAM).

## **New Portable Instrument for in Situ Activity Measurement of Radionuclides used in Nuclear Medicine**

ENEA Marco Capogni [marco.capogni@enea.it](mailto:marco.capogni@enea.it),

INFN [Vincenzo.Bellini@ct.infn.it](mailto:Vincenzo.Bellini@ct.infn.it)

Avvalendosi della Convenzione Quadro tra l'Università di Catania e l'ENEA, è stato avviato nell'anno 2018 un progetto di ricerca per una borsa per un Dottorato Industriale nell'ambito del PON 2018 sul tema: "Sviluppo di un nuovo strumento portatile per misure in situ dell'attività di radionuclidi, utilizzati nella Medicina Nucleare (MN), a breve emivita alfa/beta-gamma emittenti e a schema di decadimento complesso". Il tema è stato selezionato ottenendo il massimo dei voti e la borsa è stata vinta dalla Dott.ssa Farnesk Abubaker dell'Università di Sulaimani (Iraq), che ha iniziato il suo lavoro di Dottorato il 1° aprile 2019 presso l'Università di Catania, con il dr. Capogni per ENEA e la Dr.ssa Sutera in qualità di tutor.

Il tema di ricerca che sta portando avanti la Dott.ssa Abubaker in collaborazione tra Università di Catania e l'ENEA riguarda la messa a punto di uno strumento portatile per misure di radionuclidi a schema di decadimento complesso, quali F-18, I-131, etc. e a breve emivita che sono di interesse della Medicina Nucleare. La Dott.ssa Abubaker si sta interessando in particolare di implementare la parte di rivelazione gamma su un esistente rivelatore TDCR portatile dell'ENEA. Per tale scopo svolge un lavoro di simulazione con codice Monte Carlo in GEANT4, segue i lavori di implementazione in hardware del canale gamma e in particolare da settembre 2020 sta svolgendo un periodo di stage presso l'Azienda CAEN, previsto nel suo percorso di dottorato, dove si sta occupando della messa a punto del SW per analisi dati con sistemi di elettronica digitale per l'implementazione di tecniche di coincidenza beta-gamma.

Tale periodo avrà termine ad aprile 2021. Si prevede anche un periodo successivo di sei mesi, come da progetto approvato, che la dottoranda svolgerà al "Laboratoire National Henry Becquerel" (LNHB) del CEA a Saclay (Francia), prevedibilmente a partire da maggio/giugno 2021 per così concludere la sua tesi a marzo 2022.

Il lavoro nel suo complesso sta procedendo anche se con qualche difficoltà data la situazione Covid-19. Attualmente il ruolo di Coordinatore del Dottorato presso l'Università di Catania viene svolto dal Prof. Sebastiano Albergo, essendo il Prof. Bellini in pensione dal 1° novembre 2019, sebbene egli stia ancora seguendo direttamente il lavoro della dottoranda, in qualità di associato all'INFN.

Non è al momento chiaro cosa si potrà fare di questo progetto dopo marzo 2022. Sicuramente c'è interesse dei ricercatori di restare in contatto per valutare la possibilità di un progetto di ricerca più esteso che possa anche coinvolgere centri di produzione di radiofarmaci e/o ospedali interessati a questa tipologia di misure, eventualmente focalizzando l'attenzione all'area medica della regione Sicilia.

**NEST - NEA Nuclear Education, Skills and Technology - proposta MANTRAS** per applicazioni medicali (parte del contributo italiano a NEA/NEST con patrocinio del MAECI) [anna.guelli@ct.infn.it](mailto:anna.guelli@ct.infn.it)

[marco.ripani@infn.it](mailto:marco.ripani@infn.it)

[andrea.chincarini@ge.infn.it](mailto:andrea.chincarini@ge.infn.it)

[demetre.zafirooulos@lnl.infn.it](mailto:demetre.zafirooulos@lnl.infn.it)

[pablo.cirrone@lns.infn.it](mailto:pablo.cirrone@lns.infn.it)

[chiara.latessa@unitn.it](mailto:chiara.latessa@unitn.it)

[saverio.altieri@pv.infn.it](mailto:saverio.altieri@pv.infn.it)

[antonino.pietropaolo@enea.it](mailto:antonino.pietropaolo@enea.it)

[franca.padoani@enea.it](mailto:franca.padoani@enea.it)

## NEST-MANTRAS

- E' un progetto fatto nell'ambito di NEST (NEA Nuclear Education Skills and Technologies)
- Il progetto si chiama MANTRAS: Medical Application, Nuclear Technologies, Radioprotection and Safety
- MANTRAS è un "education and training" nel campo delle tecniche nucleari applicate alla medicina anche includendo la medicina nucleare, la radioprotezione e le soluzioni innovative di dosimetria e microdosimetria.
- **INFN contribuirà ai seguenti temi:**
  - Radioterapia e dosimetria dei protoni/fasci ionici
  - Dosimetria di fasci convenzionali "flash" pulsed proton/ion beams con dosimetria innovativa
  - Discussione dei principi di adroterapia
  - Valutare/studiare le caratteristiche fondamentali di ioni accelerati da usare in adroterapia

- Valutare/studiare le basi della dosimetria applicata all'adroterapia
- Partecipare ad almeno una sessione "hands-on" dove utilizzare un apparato sia con fantocci che con pazienti
- Produzione di radioisotopi con acceleratori
- Dosimetria biologica, ovvero stima della dose assorbita in scenari incidentali
- Dosimetria fisica e biologica, radioprotezione nella BNCT
- Applicazione di Machine Learning/AI all'analisi di dati in medicina nucleare (es. immagini PET)

## ATTIVITA' DI STUDIO DELLA REAZIONE PROTONE-BORO-11 IN PLASMA

Insieme a ENEA collaboriamo ormai da più di tre anni in studio specifici della reazione protone-Boro in plasma per la produzione di alfa a scopi energetici. La produzione di alfa in reazioni di fusione senza produzione di neutroni è molto interessante per le future applicazioni energetiche

In questa attività LNS contribuisce/ha contribuito:

- Sviluppo di target specifici composti da plastiche e  $^{11}\text{B}$ . I target vengono irraggiati con laser di potenza per indurre la reazione p-1B in plasma
- Sviluppo di sistemi di diagnostica basati su rivelatori a carburi di silicio e diamante
- Diagnostica con rivelatori a traccia (CR39)
- Rivelazione di gamma e neutroni con scintillatori plastici
- Valutazioni quantitative sulle sezioni d'urto di reazione

## RADIOPROTEZIONE

Le analogie fra ENEA e INFN come Istituzioni di ricerca che esercitano grandi e complesse infrastrutture sperimentali, con impiego/produzione di radiazioni ionizzanti, accomunano gli ambiti di competenza ed anche l'interesse su temi comuni nel campo della radioprotezione sia dal punto di vista tecnico scientifico, sia per la soluzione/misure di specifici campi di radiazioni nelle *infrastrutture* sperimentali e, non ultimo, anche il confronto sulla implementazione e ottimizzazione della normativa nei rispettivi Enti.

Temi di attuale interesse discendono certamente dal recente D. Lgs.101/2020 entrato in vigore il 27/8 u.s. Tale decreto ha abrogato tutta la precedente legislazione nazionale in tema di radioprotezione e richiede sin d'ora un proficuo confronto su come adeguare le valutazioni e la sorveglianza di radioprotezione alle più recenti Direttive Europee e Raccomandazioni internazionali recepite anche in Italia dal Decreto stesso. Molte sono le novità che potranno essere oggetto di studio e confronto, in primo luogo, dal punto di vista tecnico-scientifico al fine della implementazione della nuova normativa nella sorveglianza e negli adempimenti di radioprotezione in entrambe le Organizzazioni di ricerca.

Temi di primo interesse, anche in ragione di scadenze temporali delle norme transitorie del decreto, ma non esclusivo possono essere:

- introduzione del vincolo di dose individuale nel processo di ottimizzazione della radioprotezione;
- valutazioni di dose per esposizione esterna e contaminazione interna in condizioni di routine ed in situazioni incidentali, a priori ed a posteriori, applicando le recenti raccomandazioni ICRP sul tema;
- qualificazione e verifica della prestazione dei mezzi di misura individuale e degli strumenti atti al monitoraggio degli ambienti di lavoro e dell'ambiente;

- piano di formazione conforme ai requisiti introdotti dal Decreto per ciascuna delle figure di responsabilità (Datore di lavoro, Esercenti, Dirigenti, Preposti, Esperti di radioprotezione, Addetti e lavoratori);
- monitoraggio del radon in ambienti di lavoro;

Ai temi di interesse scientifico si aggiunge anche l'interesse al confronto e collaborazione nella predisposizione di procedure gestionali per l'implementazione della normativa nei rispettivi Enti, anche ai fini della realizzazione di un sistema di gestione dedicato ai rischi delle radiazioni ionizzanti.

È opportuno rilevare che la struttura organizzativa è differente per quanto riguarda gli aspetti di radioprotezione.

In ENEA l'attività di radioprotezione è svolta dall'*Istituto di Radioprotezione* che gode di autonomia rispetto ai Dipartimenti tecnico-scientifici e Direzioni Centrali e ad essi assicura tutti i servizi di radioprotezione *ex lege*, (i.e. sorveglianza di monitoraggio ambienti di lavoro, lavoratori esposti, sorveglianza ambientale siti nucleari, taratura strumentazione, etc.) nonché la sorveglianza fisica attraverso gli *Esperti di Radioprotezione*. In INFN, invece, le attività sono assegnate al *Servizio Salute e Ambiente* che svolge funzioni di coordinamento fra le Strutture dell'Istituto relativamente alle attività di competenza dei Responsabili dei Servizi di Prevenzione e Protezione e relativi servizi, in materia di salute e sicurezza, dei medici autorizzati, medici competenti e servizi di medicina del lavoro, in materia di sorveglianza medica e sanitaria dei lavoratori e degli esperti qualificati e servizi di fisica sanitaria o di radioprotezione, in materia di sorveglianza fisica della protezione dalle radiazioni ionizzanti dei lavoratori e della popolazione; si avvale della collaborazione di gruppi di lavoro in relazione alle tematiche di competenza.

## **Le piattaforme di interesse comune**

**MELODI** è una Piattaforma Europea dedicata alla ricerca sulle bassi dosi di radiazioni. ENEA è tra i soci fondatori, INFN si è associata qualche tempo dopo.

**ALISEI** Cluster Tecnologico Nazionale Scienza della vita. ENEA è socio fondatore, INFN si è associata qualche tempo dopo.