



## SOMMARIO

### EDITORIALE

*Francesca Ballarini e Mario P. Carante*

### Proceedings del XVI Convegno Nazionale SIRR

Sessione I (ADROTERAPIA) Pag. 3

Sessione II (RADIOFARMACI, MEDICINA NUCLEARE e DOSIMETRIA) Pag. 10

Sessione III (RADIOBIOLOGIA) Pag. 21

Sessione POSTER Pag. 30

### EDITORIALE

#### **XVI CONVEGNO NAZIONALE DELLA SOCIETÀ ITALIANA PER LE RICERCHE SULLE RADIAZIONI**

Questo numero della rivista è interamente dedicato al XVI Convegno Nazionale SIRR (<http://www2.pv.infn.it/~ballarini/sirr2014/>) tenutosi il 7 e 8 novembre 2014 presso l'Aula del '400 dell'Università degli Studi di Pavia. Come da tradizione, il Consiglio Direttivo della Società ha svolto le funzioni di Comitato Scientifico; F. Ballarini, A. Buttafava, M. Carante e D. Dondi, tutti appartenenti all'Università di Pavia, hanno dato vita al Comitato Organizzatore locale. Il Convegno è stato sponsorizzato dall'INFN e da due ditte, MCF Ambiente e Bruker. ENEA, ISS, FIRR e AIRO hanno invece concesso il loro patrocinio.

Nonostante la coincidenza di date con altri eventi di interesse per la comunità che si occupa di radiazioni, quali il convegno "Fisica & Medicina" e le giornate di studio sul piano triennale INFN, la partecipazione è stata decisamente ampia: oltre a 7 relazioni su invito ci sono state 27 comunicazioni orali, suddivise in tre

sessioni (Adroterapia, Radiofarmaci/Medicina Nucleare/Dosimetria, e Radiobiologia), e 25 poster. Introducendo una novità rispetto alle edizioni scorse, il Comitato Scientifico ha scelto di individuare un "filo conduttore" comune a tutte le sessioni orali, che è stato quello delle radiazioni in teragnostica tumorale. Tra i partecipanti molti giovani, il che fa ben sperare per il futuro delle discipline legate alle ricerche sulle radiazioni. Nel seguito ci limiteremo ad accennare i temi principali toccati nelle relazioni a invito; per le comunicazioni orali e i poster si rimanda agli abstract originali, che sono riportati integralmente in questo numero della rivista.

Dopo un breve saluto da parte di Carmela Marino, in qualità di Presidente SIRR, e Alberto Rotondi, Direttore del Dipartimento di Fisica dell'Università di Pavia, il convegno è entrato nel vivo con la relazione di Roberto Orecchia (CNAO e IEO), che ha illustrato l'attività clinica e di sperimentazione effettuata presso il CNAO, uno dei pochissimi centri di adroterapia al mondo in grado di utilizzare sia protoni sia ioni carbonio. Da gennaio 2012 a dicembre 2013 sono stati trattati 147 pazienti nella

## **Il L.E.N.A. - Laboratorio Energia Nucleare Applicata dell'Università degli Studi di Pavia - Descrizione delle facility di irraggiamento neutronico e principali attività di ricerca.**

Daniele Alloni<sup>1,2</sup>, Gianfranco Bellani<sup>1</sup>, Michelangelo Giordano<sup>1</sup>, Fabrizio Lana<sup>1</sup>, Giovanni Magrotti<sup>1,2</sup>, Sergio Manera<sup>1</sup>, Fausto Marchetti<sup>1</sup>, Michele Prata<sup>1,2</sup>, Andrea Salvini<sup>1,2</sup>, Gabriele Vinciguerra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*LENA, Laboratorio Energia Nucleare Applicata, Università degli Studi di Pavia, Via Aselli 41, 27100, Pavia, Italia.* <sup>2</sup>*INFN, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Pavia, Via Bassi 6, 27100, Pavia, Italia*

Il prossimo anno si celebrerà il 50° anniversario della prima criticità del Reattore di Ricerca TRIGA® Mark II del Laboratorio Energia Nucleare Applicata (LENA) dell'Università degli Studi di Pavia, raggiunta il 15 novembre 1965. Nei decenni passati il Centro Servizi LENA, che gestisce il reattore di ricerca, ha contribuito sia dal punto di vista tecnico che scientifico ad innumerevoli attività che hanno toccato diversi campi della ricerca, con collaborazioni nazionali ed internazionali, mettendo a disposizione sia strutture sperimentali che competenze tecnico-scientifiche. Ad oggi l'attività del Centro è largamente presente nel panorama delle facility di irraggiamento nazionali ed internazionali come supporto alla ricerca scientifica in diversi settori. Dopo una descrizione delle caratteristiche principali delle facility di irraggiamento presenti al LENA, vengono presentate le principali attività scientifiche e didattiche insieme ad una panoramica dei progetti e delle attività programmate per i prossimi anni

## **Caratterizzazione dosimetrica della facility a neutroni termici del reattore TRIGA di Pavia: studio della dose da fotoni mediante rivelatori ESR**

N.Protti<sup>1,2</sup>, M.Ferrari<sup>1,2</sup>, F.Ballarini<sup>1,2</sup>, S.Bortolussi<sup>1,2</sup>, M.P.Carante<sup>1,2</sup>, A.De Bari<sup>1,2</sup>, E.Giroletti<sup>1,2</sup>, I.Postuma<sup>1,2</sup>, S.Gallo<sup>3,4</sup>, M.Marrale<sup>3,4</sup>, A.Longo<sup>3,4</sup>, S.Panzeca<sup>3</sup>, G.Iacoviello<sup>5</sup>, S.Altieri<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Pavia, Via Bassi 6, 27100 Pavia.* <sup>2</sup>*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), sezione di Pavia, via Bassi 6, 27100 Pavia.* <sup>3</sup>*Dipartimento di Fisica e Chimica, Università degli Studi di Palermo, Viale delle Scienze, Ed.18, Palermo.* <sup>4</sup>*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) Gruppo V - Sezione di Catania.* <sup>5</sup>*U.O.C. Fisica Sanitaria - A.R.N.A.S. Ospedale Civico Palermo.*

La terapia per cattura neutronica con boro (BNCT, Boron Neutron Capture Therapy) è una forma sperimentale di radioterapia basata sull'irraggiamento, con neutroni di bassa energia, di un tumore che ha captato, mediante l'uso di un veicolante selettivo, l'isotopo stabile B10. Il campo di radiazione della BNCT è un campo misto in cui coesistono radiazioni a basso e ad alto LET che necessita di un'attenta caratterizzazione dosimetrica con separazione della componente neutronica da quella fotonica.

I rivelatori a stato solido ESR (Risonanza di Spin Elettronico) a base di alanina stanno trovando impiego nella caratterizzazione dei campi/fasci misti per BNCT. Questo è dovuto principalmente al fatto che i rivelatori all'alanina presentano diversi vantaggi come la tessuto-equivalenza, la linearità della risposta in un ampio intervallo di dose, l'elevata stabilità dei radicali liberi radioindotti, la non distruttività della lettura del dosimetro e il basso costo dei dispositivi.

In questo lavoro si presenteranno le originali procedure che sono state testate presso la facility a neutroni termici del

reattore TRIGA Mark II dell'Università di Pavia per determinare la componente fotonica del campo di radiazione mediante letture ESR di dosimetri di alanina; la suddetta facility è dedicata ad un'intensa attività sperimentale nel campo della BNCT.

I dosimetri di alanina utilizzati sono prodotti dalla GmbH (Germania) e sono stati irradiati in tre differenti posizioni all'interno della facility; inoltre, per evitare l'uso di portacampioni contenenti idrogeno, gli irraggiamenti sono stati eseguiti all'interno di fantocci di grafite.

Le misure ESR sono state effettuate mediante spettrometro Bruker ECS106 dotato di una cavità rettangolare TE<sub>102</sub> situato presso il Laboratorio di Dosimetria ESR/TL del Dipartimento di Fisica e Chimica dell'Università degli Studi di Palermo.

Al fine di isolare la componente fotonica del campo misto sono stati effettuati due tipi di irraggiamento: all'interno di uno schermo per neutroni di carbonato di litio e al di fuori di esso.

Sono state condotte anche simulazioni Monte Carlo con il codice MCNP ricostruendo le diverse geometrie del set-up di irraggiamento. Questo tipo di studio ha permesso di acquisire informazioni sui contributi delle varie componenti di dose presenti nel campo misto.

I valori sperimentali sono confrontati con le simulazioni Monte Carlo e i risultati sono stati discussi sulla base delle caratteristiche del campo misto e sulla risposta dei dosimetri di alanina alle radiazioni a diverso LET.

### **Dosimetria mediante rilassometria magnetica nucleare: caratterizzazione preliminare dell'apparecchiatura di diagnostica utilizzata**

G. D'Agostino<sup>1</sup>, A. Buttafava<sup>2</sup>, R. Di Liberto<sup>3</sup>, D. Dondi<sup>2</sup>, D. Merli<sup>3</sup>, M. Oddone<sup>2</sup>, F. Pennechi<sup>1</sup> e M. Sassi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica.

<sup>2</sup>Dipartimento di Chimica, Università di

Pavia. <sup>3</sup>Fondazione IRCCS Policlinico San Matteo.

L'utilizzo dell'imaging a risonanza magnetica (Magnetic Resonance Imaging, MRI) come metodo di misura non distruttivo di un segnale dosimetrico è stato proposto inizialmente da Gore *et al* [1] con l'evidenza sperimentale che i dosimetri chimici a base di solfato ferroso sviluppati da Fricke e Morse [2] potevano essere letti mediante rilassometria magnetica nucleare. In dettaglio, Gore *et al* dimostrarono che le costanti di rilassamento spin-reticolo e spin-spin  $l_1$ ,  $l_2$  dipendevano dalla concentrazione relativa degli ioni Fe<sup>2+</sup> e Fe<sup>3+</sup>, cioè dalla dose assorbita dalla soluzione. I risultati ottenuti sono stati propedeutici alla dosimetria tridimensionale basata sulla risonanza magnetica nucleare (Nuclear Magnetic Resonance NMR) [3]. In quest'ambito, al fine di valutare il contributo all'incertezza dovuta alla misura di  $l_1$  abbiamo caratterizzato una macchina di misura NMR da 1.5 T. Sono state preparate 5 diverse soluzioni variando la concentrazione relativa di Fe<sup>2+</sup> e Fe<sup>3+</sup> in modo da simulare dosimetri irraggiati a diverse dosi in un intervallo da 0 Gy a circa 300 Gy. I valori di  $l_1$  delle soluzioni sono stati misurati utilizzando sia una sequenza Spin Echo (SE) che Inversion Recovery (IR). I parametri di entrambe le sequenze sono stati ottimizzati in funzione del rapporto segnale/rumore. Per l'elaborazione delle immagini NMR è stato sviluppato un software in ambiente Labview. I risultati preliminari hanno evidenziato che la sequenza IR, nonostante richieda un maggior tempo di misura per l'acquisizione del segnale di rilassamento, permette risultati significativamente migliori in termini di omogeneità spaziale. In particolare, per circa 80 mm lungo la direzione perpendicolare al campo magnetico abbiamo registrato differenze di segnale dosimetrico dovute all'apparecchiatura di diagnostica utilizzata che corrispondono a differenze relative del 2% nella stima della dose per valori

---

**Radiazioni Ricerca e Applicazioni**

Periodico della Società Italiana per le Ricerche sulle Radiazioni

Pubblicazione Periodica Quadrimestrale: Volume XVII n° 3 Dicembre 2014

**Direttore Responsabile:**

Francesca Ballarini

**Informazioni e Corrispondenza**

Francesca Ballarini

Tel. 0382 987949

e-mail: francesca.ballarini@pv.infn.it

**Editrice:** Società Italiana per le Ricerche sulle Radiazioni

Registrazione del Tribunale di Roma n. 406 del 6 Agosto 1998

Codice ISSN: **2281-0781**

**Comitato di Redazione:**

Antonio Antocchia

Alessandro Campa

Chrysostomos

Chatgilialoglu

Marco Chianelli

Silvia Gerardi

Giorgio Leter

Maria Teresa Mancuso

Carmela Marino

**Guest editors**

Armando Buttafava

Mario P. Carante

Daniele Dondi