

Volume XV n. 3

Dicembre 2012

Radiazioni Ricerca e Applicazioni

Periodico della Società Italiana per le Ricerche sulle Radiazioni

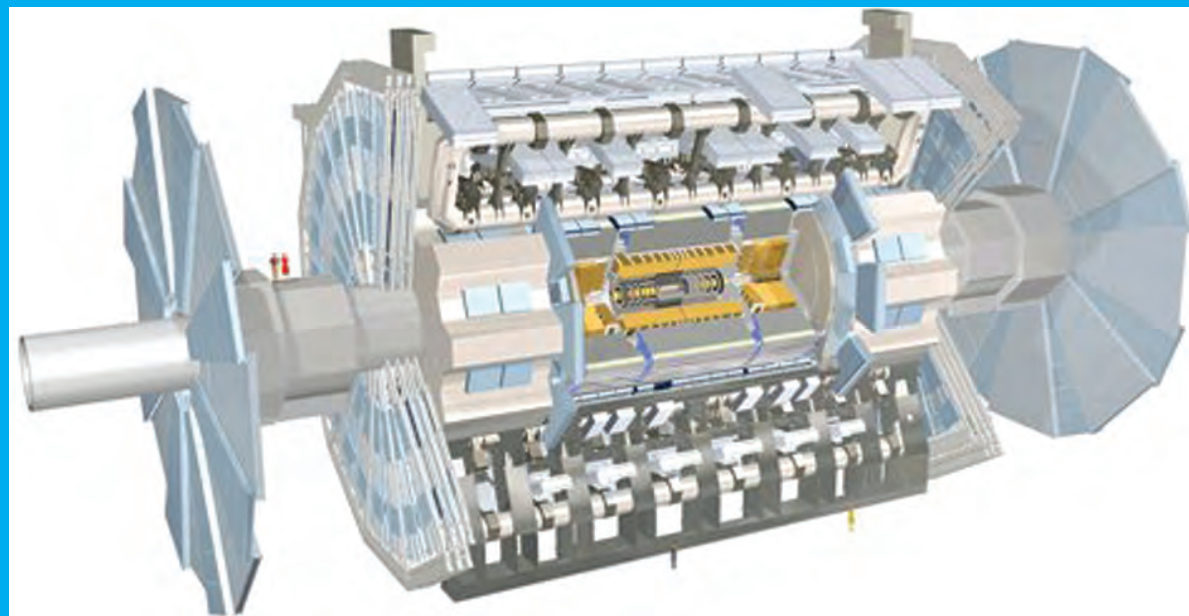
**LA SCOPERTA DI UNA NUOVA PARTICELLA
COMPATIBILE CON IL BOSONE DI HIGGS
AL CERN DI GINEVRA**

**PIANIFICAZIONE DI IRRAGGIAMENTI *IN VIVO*
DI PICCOLI ANIMALI COME TEST DI EFFICACIA
DELLA BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY
(BNCT) PRESSO IL REATTORE TRIGA MARK II
DI PAVIA**

LA RADIOBIOLOGIA IN MEDICINA NUCLEARE

**IL "39TH ANNUAL MEETING OF THE EUROPEAN
RADIATION RESEARCH SOCIETY":
UN GRANDE SUCCESSO PER LA SIRR**

Poste Italiane S.p.A. - Sped. in Abb. Postale - D.L. 353/2003 (Conv. in L. 27/02/2004 n. 46) art. 1 com. 2 - DCB - Roma - ISSN 2281-0781



SALUTI DA PARTE DEL PRESIDENTE USCENTE

Cari Soci SIRR,

con la fine di quest'anno si conclude anche il mio secondo mandato alla Presidenza della Società.

Questi quattro anni sono stati un periodo estremamente vivace ed interessante, soprattutto grazie ai colleghi con i quali ho avuto il piacere di condividere diverse esperienze e soprattutto l'organizzazione del 39th Annual Meeting della European Radiation Research Society, che si è tenuto a Vietri sul Mare ad ottobre 2012. Questo impegno, preso prima del mio ingresso nel Consiglio Direttivo, ha visto coinvolti i membri di due Consigli Direttivi con i quali si è instaurato un clima di estrema collaborazione ed amicizia. E' stato il momento più importante del mio mandato che si è concluso con estrema soddisfazione sia per quanto riguarda la parte scientifica che organizzativa.

Voglio però ricordare anche gli altri eventi: i due Workshop tematici, il primo "Energia e radiazioni: quali prospettive dalla ricerca?" (Napoli, 2009) ed il secondo "Stress ossidativo: danni, conseguenze e rimedi" (Bologna, 2011) che hanno preceduto e seguito il Convegno Nazionale della Società che si è tenuto a Roma, presso l'Istituto Superiore di Sanità, nel 2010. Tutti questi eventi hanno cercato di valorizzare al massimo il carattere multi- ed inter-disciplinare che contraddistingue la SIRR, all'interno della quale ho sempre trovato stimoli ed interessi. Un pensiero va inevitabilmente a Marcello Quintiliani, che con il suo rigore e la sua onestà intellettuale è stato per me un punto di riferimento professionale ed umano. Per chi non l'ha conosciuto Marcello, primo Presidente della Società, medico radiologo che si è occupato di chimica delle radiazioni, di biologia e che negli ultimi anni della sua vita insegnava Fisica alla Sapienza, è stato la persona che forse meglio di chiunque altro ha rappresentato l'anima della SIRR. E in un momento generale di estrema difficoltà per la ricerca credo sia nostro compito trasferire ai più giovani l'entusiasmo che persone come Marcello e come molti altri, voglio citare tra questi Pietro Metallì al quale ho tenuto personalmente a dedicare una lecture durante il Convegno Nazionale della SIRR di Roma, ci hanno lasciato.

Un ringraziamento particolare va a Francesca Pacchierotti e ad Antonella Testa, che negli anni della mia Presidenza mi hanno affiancato svolgendo il prezioso ruolo di Segretario Tesoriere con estrema competenza e professionalità ed amicizia.

Sono convinta che l'atmosfera che abbiamo vissuto in questi anni rimarrà all'interno del Consiglio Direttivo, oggi rinnovato per buona parte dei suoi componenti. Assicurando una presenza e una collaborazione attiva come socio alle iniziative future della Società non mi resta che augurare al nuovo Presidente ed ai consiglieri buon lavoro.

SOMMARIO

Radiazioni Ricerca e Applicazioni
Periodico della Società Italiana
per le Ricerche sulle Radiazioni
Pubblicazione Periodica
Quadrimestrale
Dicembre 2012 - Vol. XV n. 3

Direttore Responsabile

Francesca Ballarini

Dipartimento di Fisica Nucleare e Teorica
 Università di Pavia
 e-mail: francesca.ballarini@pv.infn.it

Direttore Editoriale

Raffaele De Vita

Unità Biologica delle Radiazioni e
 Salute dell'Uomo
 ENEA Centro Ricerche Casaccia, Roma
 e-mail: devita@enea.it

Capo Redattore

Lorenzo Manti

Dipartimento di Fisica
 Università Federico II, Napoli
 e-mail: lorenzo.manti@na.infn.it

Comitato di Redazione

Francesca Antonelli

Dipartimento Tecnologia e Salute
 Istituto Superiore di Sanità, Roma
 e-mail: francesca.antonelli@iss.it

Mauro Bonardi

Università degli Studi di Milano
 e-mail: mauro.bonardi@mi.infn.it

Giorgio Leter

Unità Biologica delle Radiazioni e
 Salute dell'Uomo
 ENEA Centro Ricerche Casaccia, Roma
 e-mail: giorgio.leter@enea.it

Marco Schwarz

Agenzia Provinciale per la Protonterapia
 Trento
 e-mail: schwarz@atrep.it

Cristiana Vidali

S.C. di Radioterapia
 Azienda Ospedaliero-Universitaria di Trieste
 e-mail: cristiana.vidali@aots.sanita.fvg.it

Per 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

Grafica: Renato Cafieri

Stampa: **CSP-STAMPA PIGNANI**

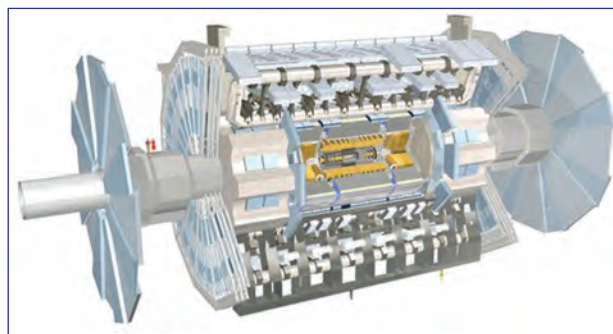
Pubblicità: Zona Industriale Settevene - Nepi (VT)
 csp.stampa@virgilio.it

**LA SCOPERTA DI UNA NUOVA PARTICELLA
 COMPATIBILE CON IL BOSONE DI HIGGS
 AL CERN DI GINEVRA** 4
D. Rebuzzi

**PIANIFICAZIONE DI IRRAGGIAMENTI *IN VIVO*
 DI PICCOLI ANIMALI COME TEST DI EFFICACIA
 DELLA BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY
 (BNCT) PRESSO IL REATTORE TRIGA MARK II
 DI PAVIA** 8
N. Protti e M. Garioni

LA RADIOBIOLOGIA IN MEDICINA NUCLEARE 12
M. Chianelli

**IL "39TH ANNUAL MEETING OF THE EUROPEAN
 RADIATION RESEARCH SOCIETY":
 UN GRANDE SUCCESSO PER LA SIRR** 14
A. Campa, A. Testa, M. A. Tabocchini



In copertina: L'esperimento ATLAS ad LHC. La sezione aperta mostra la struttura interna del rivelatore, costituito da più tecnologie disposte con simmetria cilindrica attorno alla linea del fascio di LHC.



Redazione Editoriale

Società Italiana per le Ricerche sulle Radiazioni
 Unità Biologica delle Radiazioni e Salute dell'Uomo
 ENEA Centro Ricerche Casaccia, s.p. 016
 Via Anguillarese, 301 - 00123 ROMA
 Tel. 06/30484671 Fax 06/30484891
 e-mail: devita@enea.it
 http://www.sirr.unina.it

Segreteria S.I.R.R.

Unità Biologica delle Radiazioni e Salute dell'Uomo
 ENEA Centro Ricerche Casaccia, s.p. 016
 Via Anguillarese, 301 - 00123 Roma
 Tel. 06/30486654 Fax 06/30483644
 e-mail: antonella.testa@enea.it

LA SCOPERTA DI UNA NUOVA PARTICELLA COMPATIBILE CON IL BOSONE DI HIGGS AL CERN DI GINEVRA

Daniela Rebuzzi

Università di Pavia, Dipartimento di Fisica, e INFN-Sezione di Pavia
e-mail: daniela.rebuzzi@pv.infn.it

INTRODUZIONE

Sono passati ormai più di 150 anni da quando un astronomo francese, Le Verrier, applicando le leggi di Newton alla traiettoria del pianeta Urano, si accorse della presenza di un corpo estremamente massivo che ne influenzava l'orbita. Qualche tempo dopo, gli astronomi dell'osservatorio di Bonn, puntando i loro cannocchiali nella direzione indicata da Le Verrier, scoprirono un nuovo pianeta, Nettuno. La ricerca del bosone di Higgs al Large Hadron Collider (LHC) del CERN è stata condotta in maniera affatto simile: la nostra attuale teoria sulle particelle elementari e sulle loro interazioni, il Modello Standard, prevede l'esistenza di un campo di forze e di una particella, entrambi detti di Higgs, per spiegare come i costituenti elementari della materia possano acquisire massa. Come all'epoca di Le Verrier per vedere Nettuno fu necessario il perfezionamento dei telescopi, si è dovuto costruire LHC per osservare il bosone di Higgs.

Entrambe queste scoperte mostrano il potere di una buona teoria. Le leggi della fisica ci dicono che qualcosa deve esistere e ci indicano dove cercare, dove orientare le nostre esplorazioni, nella vastità di tutto ciò che non conosciamo. Ma molto più che la scoperta di un nuovo pianeta, aver trovato il bosone di Higgs consente di migliorare la nostra comprensione del mondo e dell'Universo di cui siamo parte. Interrogativi fondamentali come 'che cos'è la massa? come mai alcuni corpi hanno massa e altri no?', fino ad ora appannaggio esclusivamente di discussioni filosofiche e metafisiche, possono ora ricevere una risposta scientifica.

II MODELLO STANDARD E IL PROBLEMA DELLA MASSA

Come accennato, l'attuale nostra conoscenza dei costituenti elementari della materia e delle loro interazioni, è noto con il nome di Modello Standard (MS). Nato

negli anni '60-'70 del secolo scorso grazie ai fondamentali contributi di S.L. Glashow [1], S. Weinberg [2] e A. Salam [3], il MS è una *teoria quantistica dei campi* coerente sia con la *meccanica quantistica* che con la *relatività ristretta*, in grado di descrivere tre delle quattro *forze fondamentali* note: l'interazione *forte*, *elettromagnetica* e *debole* (le ultime due unificate nell'*interazione elettrodebole*) e tutte le *particelle elementari* ad esse collegate. La *forza gravitazionale* rimane l'unica interazione a non essere descritta dal modello.

Alla base della formulazione del MS viene posto un principio di simmetria, che consiste nell'invarianza della teoria sotto opportune trasformazioni, dette *trasformazioni di gauge*. L'invarianza di gauge garantisce la coerenza matematica e la predittività della teoria, ossia quella che tecnicamente viene definita la *rinormalizzabilità*. Le teorie di gauge, di per sé, non sono in grado di descrivere particelle dotate di *massa* (un termine di massa esplicito renderebbe la teoria non rinormalizzabile e quindi incoerente dal punto di vista fisico-matematico), ma una materia massless contraddice l'osservazione sperimentale.

Per dare spiegazione della massa di bosoni vettori e delle particelle di materia (fermioni), il MS ipotizza l'interazione con un campo esterno, il campo di Higgs [4][5]. Questa interazione romperebbe spontaneamente la *simmetria* del sottogruppo $SU(2) \times U(1)$ rendendo massivi i bosoni vettori e anche i fermioni (pur non prevedendo, per questi ultimi, quantitativamente la massa). Il campo di Higgs è supposto permeare tutto lo spazio e interagire con le particelle elementari fornendo loro una massa proporzionale alla forza dell'interazione (meccanismo di Higgs). Possiamo pensare pittoricamente al vuoto come un mezzo denso che offre una resistenza ad una forza e quindi è equivalente ad una massa (anche se questa analogia ha alcuni limiti).

Se il meccanismo di Higgs fornisce la spiegazione corretta dell'epifenomeno della massa, l'istante della storia del nostro Universo in cui si è rotta la simmetria elettrodebole viene a coincidere con il momento in cui le particelle elementari (prima a massa nulla) acquisiscono massa.

Come possiamo verificare se questa ipotesi è corretta? La traccia lasciata dal meccanismo di Higgs è una nuova particella a spin zero, neutra, il bosone di Higgs, una sorta di onda del campo di Higgs. Ecco che il MS, una buona teoria, ci indica dove indirizzare le nostre ricerche per chiarire il cruciale problema della massa delle particelle elementari: dobbiamo cercare la particella di Higgs.

FENOMENOLOGIA DEL BOSONE DI HIGGS

La ricerca del bosone di Higgs rappresenta una sfida notevole dal punto di vista sperimentale. Abbiamo bisogno di un grande acceleratore di particelle per creare le condizioni e l'energia in cui il bosone di Higgs può essere prodotto (per creare onde nel campo di Higgs) e abbiamo bisogno di sofisticati esperimenti, come ATLAS [6] e CMS [7], in funzione ad LHC, per osservarlo.

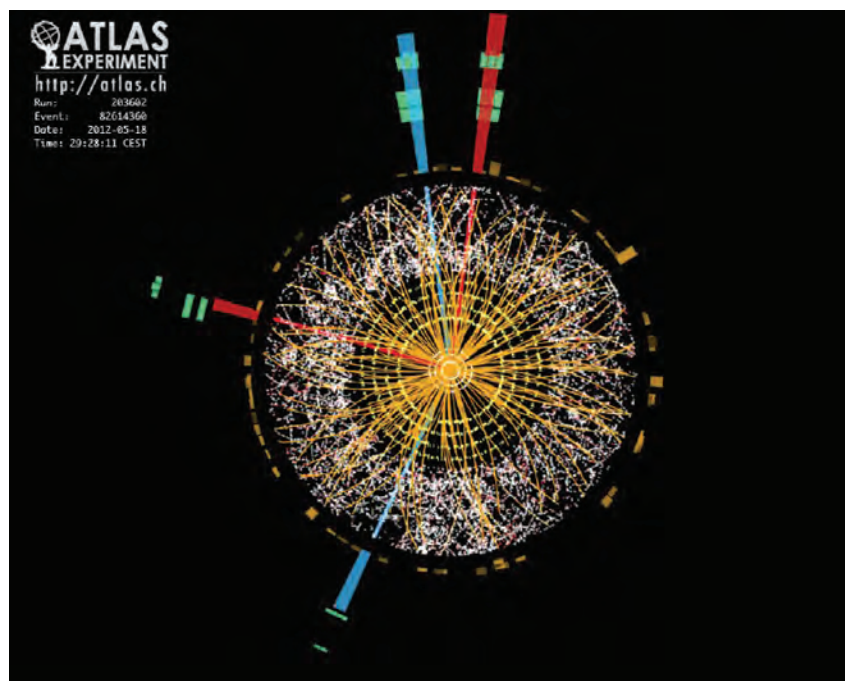
Il MS non indica a che valore di massa cercare questa particella, predice solo i suoi possibili processi di produzione, che hanno una probabilità (sezione d'urto, in gergo) estremamente bassa di avvenire rispetto ad altri processi generati dallo scontro di protoni ad altissima energia. Il bosone di Higgs è infatti estremamente raro da produrre (una particella prodotta ogni 10 miliardi di eventi di collisioni protone-protone a LHC) e non è stabile, vive per un tempo brevissimo (10^{-25} s) per poi disintegrarsi in altre particelle (fermioni e bosoni) più leggere, la cui distribuzione dipende crucialmente dal valore della sua massa. Quello che viene osservato negli esperimenti sono quindi i prodotti di decadimento del bosone di Higgs, sovrapposti alle migliaia di tracce di altre particelle generate per ciascun evento ad LHC.

Il rate di collisioni protone-protone, elevato per favorire la probabilità di produzione del bosone di Higgs, complica notevolmente la situazione dal punto di vista sperimentale: dobbiamo essere in grado di selezionare i prodotti di decadimento tra migliaia di altre particelle prodotte con frequenza di 40MHz di LHC (1600 particelle

cariche prodotte per evento e un evento ogni $\sim 10^{-7}$ s), decidere on the fly se si tratta di un evento interessante e in caso affermativo scrivere tutto su supporto permanente (al rate finale medio di 400 Hz) per poterlo analizzare offline.

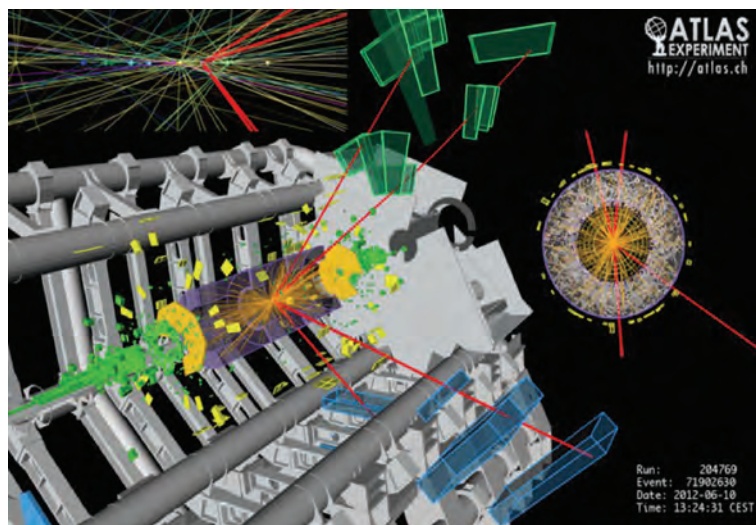
Dopo decenni di progettazione, ricerca, costruzione e simulazione, che hanno portato alla realizzazione e alla messa in funzione di LHC e dei quattro esperimenti su di esso funzionanti, lo scorso 4 luglio 2012 il CERN ha fatto un importante annuncio: ATLAS e CMS osservano, con un'attendibilità del 99,9996% (in un Universo senza il bosone di Higgs, soltanto un esperimento su tre milioni vedrebbe un segnale così forte) una particella compatibile con il bosone di Higgs, con massa compresa tra 125 GeV e 126 GeV [8][9].

L'osservazione è avvenuta principalmente grazie a due dei possibili stati finali del bosone di Higgs, per molti versi complementari: il decadimento in quattro leptoni (elettroni o muoni, Figura 1 e 2) e il decadimento in due

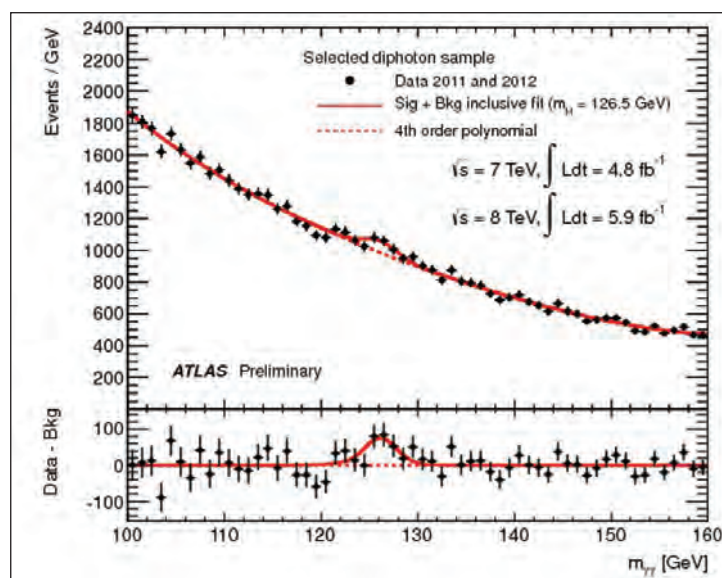


Candidato di un decadimento del bosone di Higgs in quattro elettroni acquisito da ATLAS nel 2012.

fotoni. Entrambi questi canali hanno una eccellente risoluzione in massa; tuttavia il canale con due fotoni è caratterizzato da un modesto rapporto segnale/fondo fisico, mentre lo stato finale a quattro leptoni fornisce un segnale più piccolo ma è accompagnato da un fondo fisico estremamente ridotto. Entrambi questi canali mostrano un eccesso di eventi significativo attorno allo stesso valore di massa, circa 126 GeV, come mostrato in Figura 3 per il canale in due fotoni visto dall'esperi-



Candidato di un decadimento del bosone di Higgs in quattro muoni acquisito da ATLAS nel 2012.



Distribuzione della massa ricostruita (massa invariante) per eventi con due fotoni nello stato finale dopo alcune selezioni ottimizzate per la ricerca del bosone di Higgs. La linea punteggiata mostra il fondo fisico misurato e associato a processi fisici conosciuti. La linea piena mostra un fit assumendo la presenza di un segnale (un bosone di Higgs) sovrapposto al fondo. La nuova particella si presenta come un eccesso attorno alla massa di 126.5 GeV. L'analisi statistica completa conclude che la probabilità che tale picco sia prodotto da una fluttuazione del fondo è di tre parti su un milione.

mento ATLAS. Questo eccesso rappresenta la nuova particella osservata, il candidato bosone di Higgs.

CONCLUSIONI

Il 4 Luglio 2012 rappresenta una data storica per la scienza e la ricerca fondamentale. Una nuova particella è stata scoperta, compatibile con il bosone di Higgs

previsto dal MS. Questo significa che esiste anche una nuova forza, diversa da tutte quelle che conoscevamo fino ad ora (l'interazione tra il campo di Higgs e le particelle elementari) e ci indica che lo spazio vuoto non è veramente tale.

Ma si tratta proprio del bosone di Higgs, o l'eccesso è indicazione dell'esistenza di qualche altra particella, molto simile? La ricerca attualmente in corso ad ATLAS e CMS è volta alla misura delle proprietà fisiche associate al presunto bosone di Higgs, per confrontare le misure con quanto previsto dal MS. Alcune di queste proprietà, già sotto investigazione a partire dal luglio 2012, mostrano un accordo con le previsioni: questa particella è osservata negli stati finali previsti dal MS, ed possiede una massa che si accorda con quanto previsto da misure indirette.

Nelle settimane e mesi a venire, gli studi permetteranno di stabilire con certezza l'identità della nuova particella per capire se si tratta, come sembra, proprio del bosone di Higgs, o piuttosto della prima di una nuova famiglia di particelle simili o addirittura di qualcosa di completamente diverso e imprevisto.

Se si tratta davvero del bosone di Higgs, un valore di massa compreso tra 125 GeV e 126 GeV sembra indicare che il MS è stabile fino alla scala di Planck, e questo lascerebbe aperti interrogativi fondamentali. Pur essendo le previsioni del MS in larga parte verificate sperimentalmente

con una eccellente precisione, sappiamo infatti che il modello è intrinsecamente incompleto: non incorpora la gravitazione (come descritta dalla Teoria della Relatività Generale) non spiega l'oscillazione dei neutrini, non spiega la materia e l'energia oscura (in realtà non abbiamo una spiegazione per il 96% della massa/energia dell'Universo!) e non spiega l'asimmetria materia-antimateria del nostro universo. Tutto lascia spazio a nuova fisica, ad una estensione della teoria che incorpori il MS alle basse scale di energie.

Di qualsiasi cosa si tratti, comunque, sia del bosone di Higgs previsto dal MS che di una nuova particella, la scoperta dello scorso 4 luglio rappresenta un successo globale. E non solo per il mondo dei fisici, ma per tutto il genere umano: siamo riusciti a spostare un po' oltre l'orizzonte del nostro sapere, nel buio dell'ignoranza di tutto ciò che ci circonda.

L'ESPERIMENTO ATLAS

ATLAS è un esperimento di fisica delle particelle elementari che opera al Large Hadron Collider (LHC) del CERN. Il rivelatore ATLAS ricerca nuovi fenomeni fisici in collisioni di protoni di elevatissima energia. ATLAS studia le forze fondamentali che hanno permesso l'evoluzione dell'Universo dalla sua origine allo stato attuale, e che determineranno il suo destino. Tra i temi più importanti vi sono l'origine della massa, la ricerca di dimensioni extra nello spazio, l'unificazione delle forze fondamentali e la ricerca di candidati per la materia oscura presente nell'Universo.

Al momento della scrittura di questo documento, la Collaborazione ATLAS comprende 3000 fisici provenienti da 176 istituti sparsi in 38 paesi del mondo. Oltre 1000 studenti contribuiscono al funzionamento dell'apparato sperimentale ed all'analisi dei dati da questo raccolti.

Ulteriori informazioni su ATLAS sono disponibili su sito pubblico [<http://atlas.ch>].

Per saperne di più su ATLAS:

ATLAS Home Page: <http://atlas.ch>

ATLAS Live Webcast Streams: <http://cern.ch/atlas> live

Twitter: <http://twitter.com/ATLASexperiment>

Google+: <http://gplus.to/ATLASexperiment> •

Facebook:

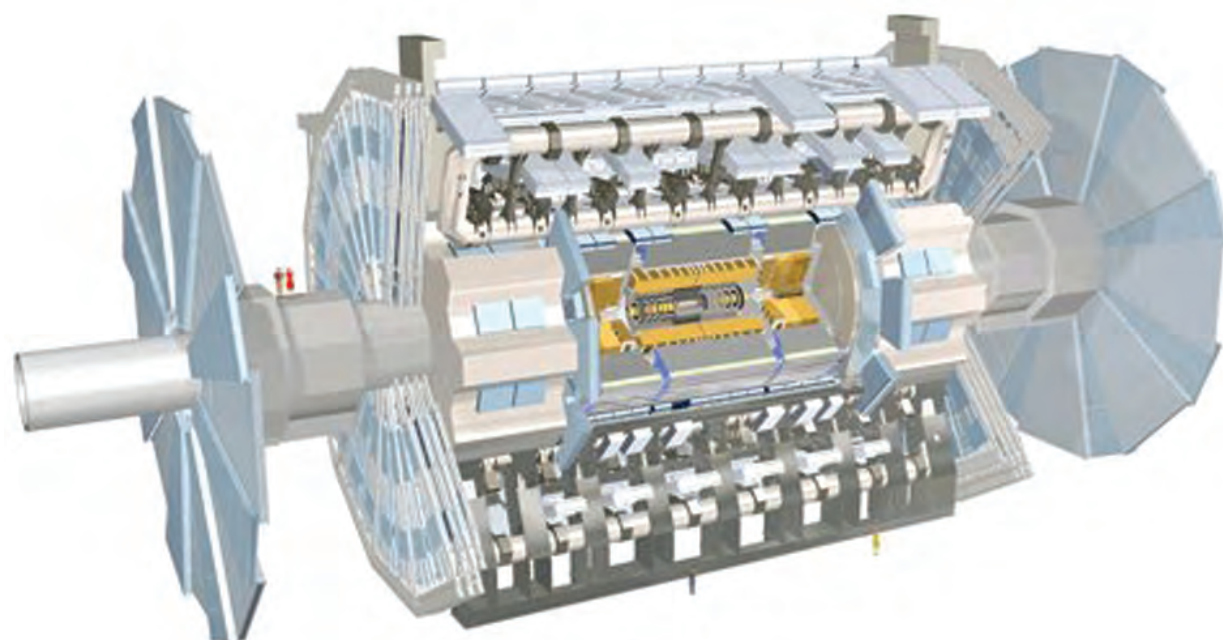
<http://www.facebook.com/ATLASexperiment>

YouTube:

<http://www.youtube.com/TheATLASexperiment>

REFERENZE

1. S. Glashow, Partial-symmetries of weak interactions, *Nucl. Phys.*, 22, issue 4, 579-588 (1961)
2. S. Weinberg, A Model of Leptons, *Phys. Rev.Lett.*, 19 1264-1266 (1967).
3. A. Salam, N. Svartholm (a cura di), *Elementary Particle Physics: Relativistic Groups and Analyticity*, Stockholm, Almquist and Wiksell, 1968, pp. 367.
4. P. W. Higgs, Broken Symmetries, Massless Particles and Gauge Fields, *Phys. Lett.*, 12, 132 (1964).
5. P. W. Higgs, Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons, *Phys. Rev. Lett.*, 13 508 (1964), pagine 321-323.
6. ATLAS Collaboration, The ATLAS Collaboration, ATLAS Technical Proposal for a General-Purpose pp Experiment at the Large Hadron Collider at CERN, CERN-LHCC-94-43 (1994).
7. S. Chatrchyan, The CMS experiment at the CERN LHC et al. *JINST*, 3 (2008), p. S08004
<http://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/3/08/S08004>.
8. ATLAS Collaboration, Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC, *Phys. Lett. B* 716 (2012) 1-29.
9. CMS Collaboration, Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC, *Physics Letters B* 716 (2012) 30-61.
10. J. Elias-Miro, J.R. Espinosa, G.F.Giudice, G. Isidori, A. Riotto, A. Strumia, Higgs mass implications on the stability of the electroweak vacuum, [arXiv:1112.3022](https://arxiv.org/abs/1112.3022) [hep-ph].



L'esperimento ATLAS ad LHC. La sezione aperta mostra la struttura interna del rivelatore, costituito da più tecnologie disposte con simmetria cilindrica attorno alla linea del fascio di LHC.

PIANIFICAZIONE DI IRRAGGIAMENTI *IN VIVO* DI PICCOLI ANIMALI COME TEST DI EFFICACIA DELLA BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY (BNCT) PRESSO IL REATTORE TRIGA MARK II DI PAVIA

N. Protti^{1,2} e M. Garioni¹

¹ Università di Pavia, Dipartimento di Fisica, via Bassi 6, Pavia

² Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), sezione di Pavia, via Bassi 6, Pavia

e-mail: nicoletta.protti@pv.infn.it

Introduzione

La Terapia per Cattura Neutronica con Boro (Boron Neutron Capture Therapy, BNCT) è una radioterapia sperimentale binaria che sfrutta la sinergia tra l'isotopo stabile, meno frequente (19.9% abbondanza isotopica) del boro, ^{10}B , e un campo di neutroni di bassa energia per depositare energia localmente tramite la reazione di cattura neutronica $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$. Grazie ai ridotti range in tessuto della particella α e del nucleo di litio (inferiori a $10\ \mu\text{m}$, valore confrontabile con il diametro medio cellulare), buona parte dell'energia liberata dalla reazione di cattura è depositata dentro la cellula che ha assorbito il nucleo di ^{10}B . Questa peculiare selettività rende la tecnica di potenziale interesse per il trattamento di tumori diffusi che invadono interi organi vitali.

Da diversi anni, presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Pavia, e la locale sezione dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), è portata avanti un'intensa attività di ricerca che si prefigge l'obiettivo di valutare le potenzialità terapeutiche della BNCT per un ampio spettro di tumori non localizzati. A causa dell'alta incidenza nei paesi occidentali, i limitati successi delle terapie attuali e la prognosi altamente infausta, i tumori non operabili del polmone sono stati scelti come prima patologia verso cui indirizzare le ricerche. Avviato nel 2003, il progetto WIDEST (WIDE Spread Tumours BNCT) sta studiando la fattibilità della BNCT per il trattamento *in situ* di tumori polmonari multifocali. Attualmente si stanno svolgendo i primi test *in vivo* su modelli di piccoli animali (ratti e topi). Nel presente articolo, dopo una descrizione generale della facility neutronica e dei metodi computazionali utilizzati per pianificare i test, si presenterà il modello animale sviluppato per condurre gli irraggiamenti *in vivo*, nonché alcuni risultati preliminari.

Il reattore TRIGA di Pavia e la facility a neutroni termici

La sperimentazione BNCT presso l'ateneo pavese si avvale del reattore nucleare di ricerca TRIGA (Training Research and Isotope production, General Atomics) Mark II gestito dal Laboratorio Energia Nucleare Applicata (LENA) dell'Università di Pavia.

Rispetto alla configurazione iniziale, la colonna termica dell'impianto è stata modificata per ospitare una camera di irraggiamento di dimensioni $100 \cdot 40 \cdot 20\ \text{cm}^3$. Il campo neutronico all'interno è isotropo ed uniforme su piani perpendicolari all'asse longitudinale; lungo quest'asse il flusso termico in aria varia da 10^{10} a $10^9\ \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ man mano che ci si allontana dal nocciolo [1]. La contaminazione da neutroni epitermici (0.4 eV – 1.6 keV) e veloci (1.6 keV – 17 MeV) risulta bassa, con ordini rispettivamente di 10^8 e $10^7\ \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ in corrispondenza della posizione di irraggiamento degli animali [2]. Per ridurre il fondo gamma proveniente dal nocciolo, due schermi di bismuto dello spessore di 10 cm sono stati interposti tra gli strati di grafite. Il contributo residuo di dose gamma, associato essenzialmente alle reazioni di cattura nella grafite, è stato simulato con il codice Monte Carlo N-Particles (MCNP) [3] e misurato con rivelatori termoluminescenti; nella posizione di irraggiamento risulta essere pari a circa 5.5 Gy/h.

Gli irraggiamenti degli animali sono stati pianificati utilizzando ancora il codice MCNP, versione 4c2. La simulazione ricostruisce l'intero reattore. La sorgente neutronica è definita attraverso delle distribuzioni statistiche che campionano in modo uniforme ed isotropo il punto sorgente all'interno delle barre di combustibile e la direzione di volo del neutrone, mentre l'energia viene generata secondo lo spettro di Watt [3]. Questa sorgente è stata più volte validata con misure di attiva-

zione neutronica [1] [2]. Per valutare le dosi assorbite durante i test *in vivo*, è stato costruito un opportuno modello geometrico del ratto. Inoltre, vista l'assenza di collimazione del campo neutronico, è stato necessario sviluppare degli adeguati schermi che proteggano gli organi sani degli animali (figura 1).

BNCT mediata da BPA-f su metastasi polmonari da

95% in ^6Li usato come schermo (spessore equivalente di $^6\text{Li} \approx 1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$). Per l'irraggiamento, il ratto viene adagiato supino all'interno dei due contenitori. Un'apertura di 3.5-4 cm viene lasciata in corrispondenza del torace, per ottimizzare l'esposizione dei polmoni al campo neutronico. Due spessori sottili di carbonato di litio vengono fatti aderire alla regione addominale

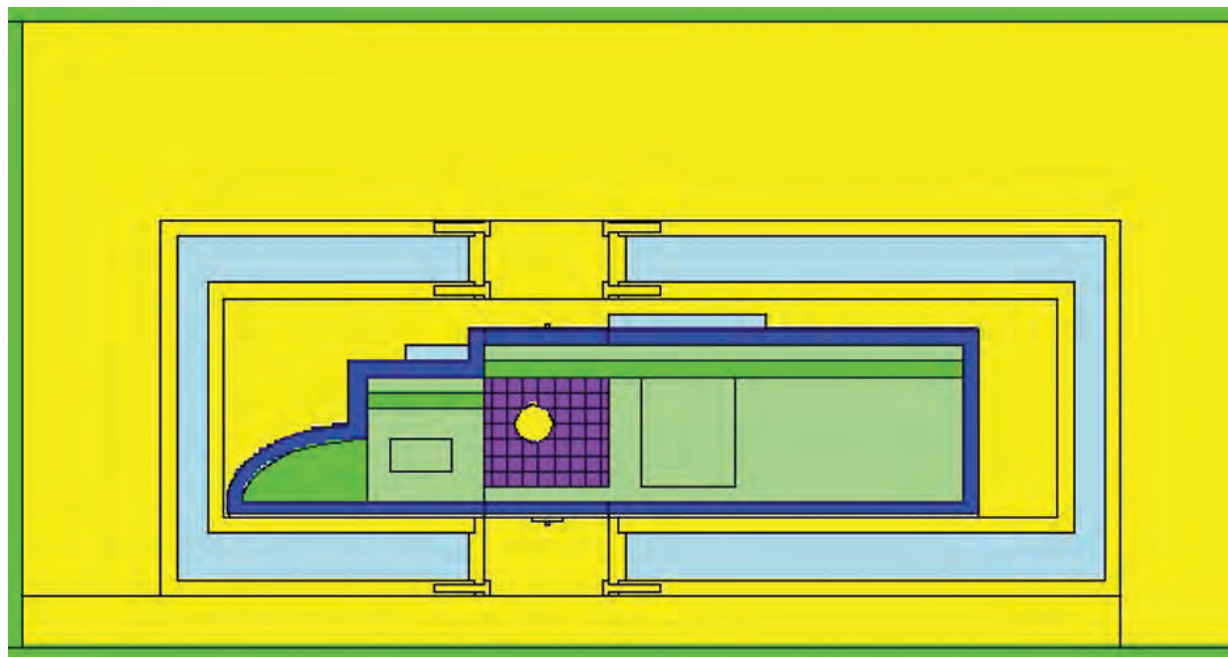


Fig. 1. Plot MCNP del modello di ratto costruito per il piano di trattamento. In celeste lo schermo in carbonato di litio, 95% ^6Li . I tessuti del modello animale sono stati definiti a partire dalle composizioni dei tessuti umani dichiarate del report ICRU-46 [4].

adenocarcinoma del colon in ratti BD-IX

La sperimentazione viene portata avanti in stretta collaborazione con il laboratorio di Chirurgia Sperimentale dell'Università di Pavia, che ha sviluppato il modello animale.

$1-1.5 \cdot 10^6$ cellule DHD/K12/TRb (DHD) di adenocarcinoma del colon vengono iniettate nella vena cava di ratti singenici BD-IX. Dopo circa 30 giorni, i polmoni presentano una metastatizzazione diffusa. Si procede quindi alla somministrazione del composto borato, BoronPhenilAlanina-fruttosio (BPA-f), veicolante impiegato nei trial clinici di BNCT, mediante l'iniezione di 300 mg/kg di composto nella cavità peritoneale. Seguendo questo protocollo è stato provato [5] che a 4 ore post-inoculo si raggiunge una concentrazione nelle metastasi pari circa a 20 ppm e un rapporto di concentrazioni tra noduli e parenchima polmonare di circa 3.5. Entrambi i parametri risultano compatibili con le richieste minime per la fattibilità del trattamento, come riportato in [6].

Due contenitori in Teflon, cavi e di forma cilindrica, ospitano la polvere di carbonato di litio arricchito al

e sopratoracica del ratto per deprimere ulteriormente il flusso termico in corrispondenza di organi particolarmente radiosensibili come l'intestino e la cavità orale. Durante l'irraggiamento, sottili fili di una lega Cu/Au vengono posizionati sullo schermo e sul corpo dell'animale e fungono da monitor di flusso.

La simulazione Monte Carlo dell'irraggiamento ha valutato le dosi biologicamente pesate depositate nei vari organi e nei noduli tumorali, così come la distribuzione del flusso termico all'interno del volume polmonare. Data infatti la diffusione del tumore, è necessario

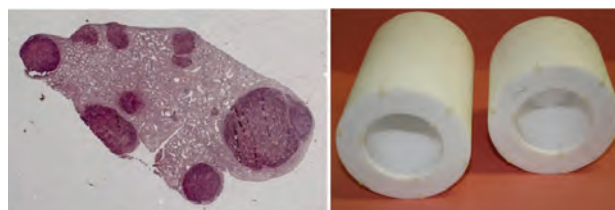


Fig. 2. A sinistra, sezione istologica del polmone di ratto BD-IX: le macchie più scure sono i noduli tumorali [5]. A destra, le due strutture in Teflon che contengono il carbonato di litio arricchito usato come schermo.

avere la migliore uniformità del flusso termico per garantire un trattamento adeguato di tutti i noduli, indipendentemente dalla loro posizione all'interno dell'organo. Per questo il volume polmonare del modello MCNP è stato segmentato in cubetti di 0.125 cm³ e la distribuzione del flusso e delle dosi assorbite è stata ricostruita seguendo questa struttura reticolare. In figura 3 è riportato l'andamento atteso per il flusso termico all'interno del polmone (asse mediano) lungo la direzione radiale della camera di irraggiamento rispetto al nocciolo del reattore, così come l'istogramma dose-volume (DVH) della dose depositata nel polmone [7]. Data la struttura parallela dell'organo, la stessa dose assorbita produce effetti biologici diversi in base alla frazione di volume effettivamente coinvolta (effetto volume). Il DVH riporta quindi in funzione della dose simulata la frazione di volume d'organo che riceve una dose maggiore o uguale a un certo valore. In questo caso il DVH si ferma a 7 Gy_w, valore stimato come soglia per la comparsa di polmonite radio indotta in singola seduta [8]. Con Gy_w si indica l'unità di misura della dose biologicamente pesata, grandezza necessaria per la dosimetria in BNCT a causa della natura mista del campo di radiazione [9]. In un dato tessuto, a parità di dose assorbita l'effetto biologico cambia se vengono

usate radiazioni di LET diverso. In un campo misto i contributi alla dose depositati da diverse radiazioni vengono pesati per opportuni fattori di peso (Efficacia Biologica Relativa, RBE, ed Efficacia Biologica del Composto, CBE) così da ottenere una dose totale che predica correttamente gli effetti attesi. Il vincolo sulla dose massima al polmone sano determina il tempo di irraggiamento, che, assumendo l'utilizzo del reattore a piena potenza (250 kW), risulta pari a circa 12 minuti. Con questo ulteriore parametro, si sono stimate le dosi impartite a tutti gli organi del modello, riportate in tabella 2. In particolare, l'ultima colonna riporta le dosi di tolleranza in pazienti sottoposti a radioterapia convenzionale.

Conclusioni e prospettive future

I dati Monte Carlo presentati sono compatibili con la tollerabilità del trattamento BNCT mediato dal composto BPA-f in ratti BD-IX affetti da metastasi polmonari da cellule DHD e impartito presso la facility termica del reattore TRIGA di Pavia.

I test *in vivo* sono iniziati lo scorso inverno e al momento i risultati sperimentali sono in fase di raccolta. Una considerazione generale che può essere fatta, a conferma delle previsioni Monte Carlo, è che, ad oggi, non

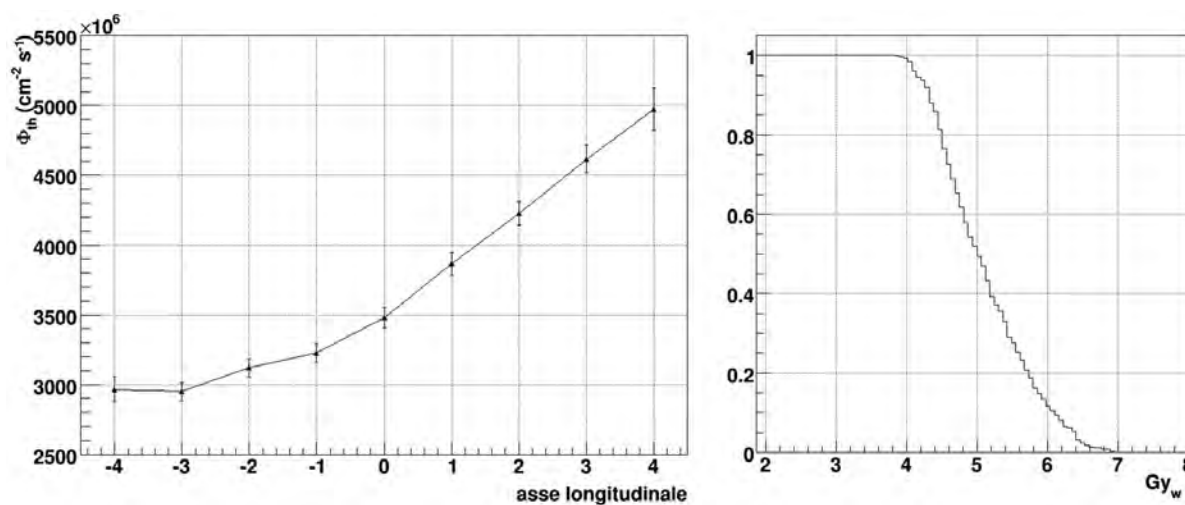


Fig. 3. A sinistra, uniformità del flusso termico nel volume polmonare: rapporto Φ_{max}/Φ_{min} ≈ 1.7. A destra, DVH della dose biologicamente pesata del volume polmonare. Tutti i valori sono stime Monte Carlo.

tessuto	RBE (protoni)	CBE (10B(n,α)7Li)	tessuto	RBE (protoni)	CBE (10B(n,α)7Li)
metastasi	2.9 ± 0.7	3.8	cavità orale	3.8	4.9
polmone	2.9 ± 0.7	2.3 ± 0.3	pele	5.1 ± 0.4	3.7 ± 0.7
cervello/midollo	1.8	1.3 ± 0.2	altro	3.2	1.3

Tab. 1. Fattori di peso delle componenti di dose usati per calcolare la dose biologicamente pesata nei vari tessuti del modello MCNP di ratto.

tessuto	ppm 10B	Dw (Gyw)	DT (Gy)
metastasi	19.3 ± 3.0	14.8 – 30.6	–
polmone	5.5 ± 1.5	4 – 7	7
cuore	5.7 ± 1.1	5.8	16.5 – 24.8
midollo	4.5 ± 0.9	1.5	17
intestino	9.7 ± 1.9	1.2 – 6.1	18
reni	8.0 ± 1.6	2.8 – 3	6
esofago	9.7 ± 1.9	5.3	13
cervello	4.2 ± 0.8	1.5	17
pelle	4.0 ± 0.8	1.9 / 7.1 – 15.7	42

Tab. 2. Dosi stimate con MCNP per il piano di trattamento di ratti BD-IX affetti da metastasi polmonari. A partire dalla seconda colonna: concentrazioni di 10B (ppm) veicolato da BPA-f, misurate con α -spettrometria [10]; valori medi delle dosi biologicamente pesate (Dw) ai vari organi: dove il valore medio non è adeguato (es., tessuto parzialmente fuori dallo schermo, organo esteso...) viene riportato il range delle dosi; limiti di tolleranza (DT) per radioterapia convenzionale con fotoni. I valori si riferiscono ad un irraggiamento di 12 minuti, alla massima potenza del reattore (250 kW).

sono stati osservati effetti tossici frequenti e significativi.

Ringraziamenti

Le autrici vorrebbero ringraziare i colleghi coinvolti negli esperimenti descritti nel presente articolo: presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Pavia e la sezione di Pavia dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Saverio Altieri, Silva Bortolussi, Piero Bruschi e Ian Postuma; presso il Laboratorio di Chirurgia Sperimentale del Dipartimento di Chirurgia dell'Università di Pavia, Cinzia Ferrari, Cecilia Zonta, Laura Cansolino, Anna Clerici; presso il Laboratorio Energia Nucleare Applicata dell'Università di Pavia, Michele Prata, Daniele Alloni e Sergio Manera.

Bibliografia

1. S.Bortolussi e S.Altieri (2007), *Thermal neutron irradiation field design for boron neutron capture therapy of human explanted liver*. Med. Phys. 34, 4700-4706.
2. N.Protti, S.Bortolussi, M.Prata, P.Bruschi, S.Altieri e D.W.Nigg (2012), *Neutron spectrometry for the University of Pavia TRIGA thermal neutron source facility*. Transactions of the American Nuclear Society 107, 1269-1272.
3. J.F.Briesmeister (1997), *MCNP – A general Monte Carlo n-particle code version 4B*. Report LA-12625-M, Los Alamos National Laboratory.
4. ICRU Report 46 (2004), *Photon, electron, proton and neutron interaction data for body tissues*. International Commission on Radiation Units and Measurements.
5. S.Bortolussi, J.G.Bakeine, F.Ballarini, P.Bruschi, M.A.Gadan, N.Protti, S.Stella, A.Clerici, C.Ferrari, L.Cansolino, C.Zonta, A.Zonta, R.Nano e S.Altieri (2011), *Boron uptake measurements in a rat model for Boron Neutron Capture Therapy of lung tumours*. Appl. Radiat. Isot. 69, 394-398.
6. R.F.Barth, J.A.Coderre, M.G.H.Vicente e T.E.Blue (2005), *Boron Neutron Capture Therapy of cancer: current status and future prospects*. Clin. Cancer Res. 11, 3987-4002

7. R.E. Drzymala, R.Mohan, L.Brewster, J.Chu, M.Goiten, W.Harms e M.Urie (1991), *Dose-Volume Histograms*. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 21 71-78.
8. J.Van Dyk, T.J.Keane, S.Kan, W.D.Rider e C.J.H.Fryer (1981), *Radiation pneumonitis following large single dose irradiation: a re-evaluation based on absolute dose to lung*. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 7, 461-467
9. J.A.Coderre e G.M.Morris (1999), *The radiation biology of Boron Neutron Capture Therapy*. Rad. Res. 151, 1-18.
10. A.Wittig, J.Michel, R.L.Moss, F.Stecher-Rasmussen, H.F.Arlinghaus, P.Bendel, P.L.Mauri, S.Altieri, R.Hilger, P.A.Salvadori, L.Menichetti, R.Zamenhof e W.A.Sauerwein (2008), *Boron analysis and boron imaging in biological materials for Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)*. Crit. Rev. Oncol. Hematol. 68, 66-90.

LA RADIOBIOLOGIA IN MEDICINA NUCLEARE

Marco Chianelli

MD, PhD, Ospedale Regina Apostolorum, Albano, Roma

e-mail: marcochianelli@libero.it

L'effetto biologico delle radiazioni, soprattutto alle basse dosi, è ancora oggetto di dibattito. Questo è particolarmente importante, in campo diagnostico, per la valutazione del rischio e, in campo terapeutico, per la ottimizzazione del trattamento per ottenere il massimo dell'efficacia con massimo risparmio dei tessuti non target.

L'argomento è particolarmente attuale in medicina nucleare in questo particolare momento e la radiobiologia è la scienza che può dare la maggior parte delle risposte in questo settore. A patto, però, che si sviluppi:

1. la radiobiologia per la medicina nucleare, con le sue peculiarità che così poco la accomunano alla radiobiologia
2. consapevolezza della disciplina anche tra i clinici attraverso lo sviluppo di canali di comunicazione ad hoc, concertati tra le società scientifiche competenti

Cos'è la radiobiologia e perché è importante

La radiobiologia descrive l'interazione delle radiazioni con le cellule e i tessuti viventi. Qualsiasi radiazione, a qualsiasi dose, ha un effetto sui tessuti viventi; è importante, tuttavia, distinguere tra effetto biologico ed effetto clinico. La maggior parte degli effetti biologici che vengono indotti ogni giorno nella pratica clinica viene riparato senza conseguenze cliniche, nel contesto di un complesso, ed efficiente, sistema di protezione che viene utilizzato non solo per riparare i danni indotti dalle radiazioni, ma per la maggior parte dei possibili rischi ambientali quali il fumo, i raggi solari, l'alcool o, più semplicemente, il cibo.

La radiobiologia è fondamentale per la guida della medicina nucleare terapeutica. Solo attraverso studi mirati potremo sapere come aumentare il potere terapeutico dei nostri radiofarmaci e diminuire gli effetti collaterali agli organi non bersaglio. Infatti, il medico nucleare è come un sarto che può confezionare su misura la terapia per il singolo paziente e, sulle indicazioni fornite dalle radiobiologia, può scegliere la biodistribuzione, l'emivita del radiofarmaco, la selettività, l'affinità recettoriale, la penetrazione tissutale etc in base allo scopo da raggiungere. La radiobiologia, pertanto, non è solo una disciplina teorica con interessanti aspetti

cognitivi, ma è la scienza guida per l'impiego dei nostri radiofarmaci, soprattutto a scopo terapeutico, ma anche a scopo diagnostico.

Aspetti critici

Ad alimentare il clima di radiofobia che è diffuso nell'opinione pubblica e non solo, credo contribuisca una certa confusione soprattutto nei seguenti argomenti:

1. la differenza tra radiologia e medicina nucleare;
2. la differenza tra le basse dosi (per uso medico) e le alte dosi (per uso medico, ma soprattutto per uso bellico o energia nucleare).

Sono note a tutti, infatti, le conseguenze di incidenti ad impianti nucleari e dell'uso bellico dell'energia nucleare durante l'ultimo conflitto. L'opinione pubblica, purtroppo, tende ad associare l'uso medico dell'energia nucleare con gli stessi disastri. Si applica, inoltre, alla medicina nucleare, la stima del rischio calcolato in radiologia. Queste associazioni, tuttavia, non hanno, nella maggior parte dei casi, un fondamento scientifico.

Perché la radiobiologia per la medicina nucleare?

La maggior parte dei dati disponibili sull'effetto delle radiazioni ionizzanti deriva da studi effettuati con raggi X, per diagnosi e terapia, o neutroni, o elettroni accelerati per applicazioni terapeutiche. Nonostante le caratteristiche fisiche dei raggi X e dei raggi gamma, degli elettroni accelerati e dei raggi beta siano simili, esistono delle differenze tra questi tipi di radiazioni, quali il rateo di dose, che sono molto importanti e fanno una grande differenza in termini di effetti biologici e dei rischi associati.

E' ben noto che la radioterapia esterna è associata a un aumento della incidenza tardiva di tumori e di leucemie che non è osservato nei pazienti trattati per ipertiroidismo o tumori differenziati della tiroide, se non eccezionalmente alle dosi più alte. Basti pensare alla ben nota incidenza di tumori tiroidei in pazienti che, in passato, venivano irradiati in giovane età per patologie locali benigne. Numerosi studi hanno contribuito a chiarire il motivo di tale differenza. E' ormai chiaro, per esempio, che il numero di micronuclei, (alterazioni nucleari che possono essere radioindotte), indotti dall'uso terapeuti-

co di ^{131}I (per ipertiroidismo o tumori tiroidei) è di 10/20 volte inferiore a quello indotto dalla radioterapia esterna (p.e. del tumore uterino o nel morbo di Hodgkin's). La ragione principale per tale differenza risiede nel diverso rateo di esposizione delle due procedure.

La radiobiologia in medicina nucleare, quindi, non può essere sovrapponibile alla radiobiologia in radiologia, né per la diagnostica, né, e soprattutto, per la terapia

Danni da radiazioni a basse dosi nel contesto di altri danni tissutali ossidativi

Uno dei punti di maggiore confusione riguarda la differenza degli effetti biologici da radiazioni a basse dosi (dose efficace (ED) <100mSv) e radiazioni ad alte dosi. Le dosi prodotte da esami diagnostici medico nucleari rientrano tutte nelle basse dosi e anche quelle della maggior parte delle singole procedure terapeutiche. In un complesso sistema biologico come quello umano il risultato netto dei danni biologici è uguale ai danni indotti meno quelli riparati. Quando, per le alte dosi, i danni indotti superano la capacità riparativa dell'organismo o, anche per elevati ratei di dose, i meccanismi di riparazione non vengono stimolati, residua un danno biologico che può esitare in danno clinico.

Alle basse dosi, tuttavia, danni clinici non si verificano, se non in condizioni molto particolari. Le cellule dell'organismo, infatti, sono costantemente esposte ad agenti potenzialmente tossici che derivano principalmente dal metabolismo ossidativo cellulare sotto forma di specie reattive dell'ossigeno (ROS), quali i radicali liberi dell'ossigeno e il superossido. I danni indotti da radiazioni ionizzanti sono in tutto simili a quelli indotti da altri stress ossidativi. I tessuti biologici sono fisiologicamente provvisti di sistemi di riparazione del danno senza i quali l'uomo non sarebbe compatibile con la vita.

In condizioni fisiologiche, circa 10.000 modifiche genetiche si verificano spontaneamente ogni ora nel corpo umano. Il contributo delle radiazioni ionizzanti per uso medico è molto scarso: si ritiene che 10 alterazioni del DNA vengono prodotte ogni 10 mSv. Si ritiene che i danni indotti da radiazioni di fondo (circa 2 mGy/anno), siano circa 1000 volte inferiori a quelli indotti dalle ROS.

Basse dosi di radiazioni inducono la attivazione dei sistemi di riparazione che vengono massimamente espressi per esposizioni a dosi comprese tra 0,1 e 0,5 Gy. Tali sistemi non vengono indotti da dosi superiori o per ratei di dose elevati. Tali processi riparativi, indotti dopo una singola esposizione alle radiazioni, persistono per ore o settimane; i danni indotti da radiazioni, invece, vengono riparati normalmente in 10-30 minuti.

Gli effetti biologici delle radiazioni, quindi, possono conferire una protezione, anche nei confronti dei danni ossidativi non indotti da radiazioni, molto maggiore rispetto ai danni prodotti. Questi meccanismi sono alla base del complesso fenomeno noto come risposta adattativa.

Le procedure medico nucleari sono pericolose?

E' ragionevole concludere che alte dosi di radiazioni sono certamente associate con un aumento del rischio di sviluppare tumori. Il rischio, tuttavia, associato a dosi basse di radiazioni (ED < 100 mSv) è ancora controverso. Le osservazioni disponibili a tutt'oggi indicano un rischio molto inferiore rispetto a quello atteso secondo le ipotesi correntemente utilizzate nel calcolo del rischio radiologico (ipotesi lineare senza soglia). Sulla base delle conoscenze attuali sugli effetti biologici delle radiazioni e i meccanismi di riparazione, è possibile ipotizzare che bassi livelli di radiazioni inducono effetti biologici che possono essere riparati completamente e in breve tempo. Se la dose di radiazioni o il rateo di dose aumenta, i meccanismi di riparazione diventano insufficienti e una conseguenza clinica si può sviluppare.

Possiamo concludere che eseguire un esame diagnostico medico nucleare non è associato con un significativo rischio biologico, ma va interpretato nel contesto del quadro complessivo del singolo paziente.

Le procedure terapeutiche medico nucleari, possono essere associate a un modesto rischio, ancorché incerto, che dipende dalla dose assorbita e dall'isotopo utilizzato. Nelle procedure terapeutiche, tuttavia, il rischio biologico, ancorché non limitato alla medicina nucleare, va contemplato all'interno del rapporto costo beneficio.

Bibliografia essenziale

1. Ernst M, Freed ME, Zametkin AJ. Health hazards of radiation exposure in the context of brain imaging research: special consideration for children. *J Nuc Med* 1998; 39:689-698.
2. Hall E. *Radiobiology for the radiologist*. Lippincott Williams and Wilkins. 2000 Philadelphia.
3. ICRP. Radiation and your patient: a guide for medical practitioners. A web module produced by committee 3 of the International commission on radiological protection (ICRP). www.icrp.org.
4. Pollycove M, Feinendegen LE. Biological responses to low doses of ionising radiation: detriment versus hormesis. Part 1: dose responses of cells and tissues. *J Nucl Med* 2001; 42(7):17N-27N.
5. Pollycove M, Feinendegen LE. Biological responses to low doses of ionising radiation: detriment versus hormesis. Part 2: dose responses of organisms. *J Nucl Med* 2001; 42(9):26N-32N.

IL "39TH ANNUAL MEETING OF THE EUROPEAN RADIATION RESEARCH SOCIETY": UN GRANDE SUCCESSO PER LA SIRR

Le prime scogliere della Costiera Amalfitana ed il clima di una tarda estate ancora riluttante a cedere il passo, hanno fatto da piacevolissima cornice al 39-esimo Meeting della European Radiation Research Society (ERRS), svoltosi a Vietri sul Mare dal 15 al 19 ottobre 2012 presso le strutture dell'Hotel Lloyd's Baia, completamente a disposizione del Meeting e in grado di ospitare la maggior parte dei partecipanti.

L'ERRS aveva approvato, durante la precedente edizione del Meeting tenutasi a Stoccolma nel 2010, la candidatura avanzata dalla SIRR per l'organizzazione di questo evento; la nostra Società ha avuto così questo onere e privilegio. La prima visita del Consiglio Direttivo SIRR al Lloyd's Baia Hotel, nella primavera del 2011, ha subito convinto: l'albergo unisce una posizione invidiabile, in pratica adagiato sulle rocce che degradano verso la costa, ad una conveniente configurazione della sezione dedicata ai convegni, con diverse sale di varia capienza, alcune delle quali utili ad ospitare gruppi di lavoro ristretti.

La partecipazione all'evento è stata addirittura superiore al previsto, con circa 280 iscritti di cui un buon numero provenienti da paesi extraeuropei.

Il Meeting si è articolato prevalentemente in sedici sessioni parallele, che hanno avuto luogo dal 16 al 19 ottobre. Altre due sessioni parallele sono state interamente dedicate alle presentazioni dei giovani premiati con travel award, quattro dei quali sono stati assegnati dalla SIRR. La "Bacq and Alexander" Lecture, che quest'anno è stata tenuta da Mats Harms-Ringdahl dell'Università di Stoccolma, ha brillantemente dato inizio ai lavori del Convegno. Successivamente, ogni giornata è stata aperta da una Keynote Lecture plenaria che ha fatto da introduzione alle varie Sessioni.

La struttura del Meeting ERRS segue tradizionalmente le varie tematiche della ricerca sulle radiazioni, dalla ricerca di base agli aspetti applicativi. Seguendo questa linea si è cercato di coprire quanti più argomenti possibili, di invitare relatori che non fossero già stati coinvolti nel precedente ERRS Meeting di Stoccolma, e di avere una bilanciata distribuzione geografica di provenienza. Pur se non in maniera assoluta, crediamo che questi criteri siano stati essenzialmente soddisfatti.

Non possiamo certamente dare un resoconto di tutte le

relazioni su invito che si sono svolte. Invitiamo i lettori interessati a visitare il sito <http://www.iss.infn.it/err2012>, dove è possibile visionare il programma e scaricare, in formato pdf, sia il programma che il volume contenente tutti gli abstract, sia delle relazioni su invito che dei contributi orali e poster. In questa breve nota ci limitiamo a sottolineare in quali sessioni, naturalmente secondo il nostro soggettivo giudizio, siano stati toccati gli argomenti ed i settori di ricerca in questo momento più vitali ed innovativi. Senza quindi voler fare alcuna classifica, e senza voler implicitamente affermare che argomenti più tradizionali e più consolidati abbiano minore importanza di altri più in divenire, menzioneremo alcune sessioni dedicate a tematiche che potrebbero offrire in prospettiva nuovi punti di vista.

Uno dei grandi problemi che attualmente sta ricevendo forte attenzione in ambito internazionale è la determinazione del danno indotto da basse dosi di radiazioni e dei meccanismi biologici che lo sottendono. L'interesse è dovuto all'importanza che questo argomento riveste, sia in radioprotezione che in ambito medico, ma anche alla consapevolezza che la risposta alle basse dosi sia essenzialmente più complessa di quella a dosi più elevate. Non è un caso che la Bacq and Alexander Lecture abbia trattato proprio questo argomento, mettendo in luce come, per una soddisfacente determinazione dei rischi dovuti alle basse dosi, sia necessario un salto di qualità nella conoscenza dei processi biologici di risposta al danno radio-indotto. Sessioni collegate a questo tema, anche se affrontato da diverse angolazioni, sono state: "Non-targeted effects of radiation", con le relative implicazioni in radioterapia e radioprotezione, "Normal tissue damage", affrontato sia per quanto riguarda la ricerca di base che le ricadute cliniche, e "Chromatin remodelling and radiation epigenetics". Quest'ultima, in particolare, ha rappresentato una novità rispetto agli argomenti più tradizionali solitamente affrontati.

Un altro argomento che di recente è assunto ad un ruolo di primo piano è quello delle patologie radioindotte "Non-cancer". Alla pari del problema delle conseguenze delle basse dosi, questo settore è al centro delle strategie di ricerca della Commissione Europea in ambito Euratom. In una delle Keynote Lectures, Klaus Trott

ha affrontato in particolare le patologie cardiache e durante la sessione “Non-cancer effects”, tenutasi nello stesso giorno, sono state affrontate altre problematiche come gli effetti neurologici comportamentali e l'induzione di cataratta.

Il fatto che oggi in Italia sia presente il Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO) a Pavia oltre al Centro di Protonterapia CATANA presso i laboratori Nazionali del Sud dell'INFN, ha stimolato l'organizzazione di una sessione durante la quale sono state affrontate le problematiche relative agli effetti di particelle cariche; nella stessa Sessione sono stati toccati anche aspetti relativi alla “Space Radiation”.

E' stata inoltre dedicata una intera Sessione agli “Internal Emitters”, in virtù della dirompente crescita e sviluppo delle nuove metodiche diagnostiche e terapeutiche con radionuclidi e della ricerca di base, peculiare per molti aspetti.

Infine, vogliamo citare la sessione, “Stem cells radiobiology”, preceduta dalla keynote lecture di Ruggero De Maria, che ha offerto una panoramica sulla biologia delle cellule staminali di origine tumorale.

Vogliamo chiudere con una breve descrizione dell'atmosfera che ha caratterizzato il Meeting. Come detto all'inizio, sarebbe stato difficile trovare una struttura

ospitante con posizione e caratteristiche migliori. Sarebbe stato anche difficile prevedere l'eccellente qualità delle specialità di mare e di terra offerte nei pranzi di lavoro.

Quello che ci ha stupito ancor di più è stata la massiccia presenza nelle sale congressuali, sempre piene, nonostante le tentazioni di un bel tuffo in mare, che comunque alcuni non si sono negati, aggravate dalla presenza di una spiaggia privata sottostante e da giornate soleggiate e tiepide.

Durante la cena sociale, che si è svolta nello stesso hotel, sono stati premiati i 3 migliori poster. A seguire ... una inaspettata ed esilarante serata danzante !

Il 39-esimo Meeting della European Radiation Research Society si è concluso con i ringraziamenti a tutti coloro che hanno contribuito al successo scientifico ed organizzativo dell'evento e con la presentazione da parte del Presidente designato Georges Don Jones (intimidito dalla indubbia difficoltà di uguagliare un tale evento...!) del prossimo meeting dell'ERRS che si terrà a Dublino nel settembre 2013.

Alessandro Campa

Antonella Testa

Maria Antonella Tabocchini



Alcuni momenti tipici del convegno. In basso a sinistra la realizzazione “hi-tech” della struttura del convegno a sessioni parallele; in alto a destra l'apertura dei lavori; infine due immagini della conclusione dei lavori.

