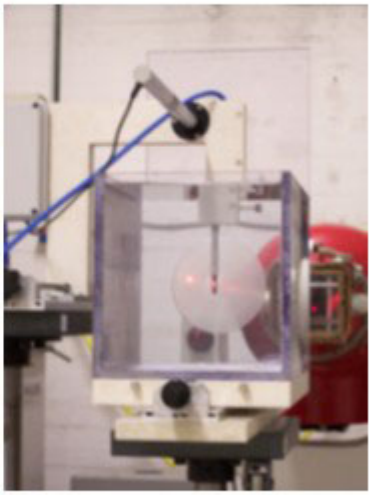
Istituto di Radioprotezione
Anno 2008



Dipartimento Biotecnologie, Agroindustria e Protezione della Salute

Istituto di Radioprotezione
Anno 2008

Edizione a cura di G.Gualdrini, P.Ferrari ed E.Fantuzzi,

ENEA RTI BAS-ION-IRP (2009) 3

Lo scopo del presente documento è quello di descrivere, in modo sintetico ma sufficientemente dettagliato, le attività svolte dall'Istituto di Radioprotezione in ENEA, nel contesto nazionale ed internazionale.
La pubblicazione consiste in un'introduzione generale e in una serie di schede illustrative delle attività svolte nel corso del 2008, presentate nel formato di *"extended abstract"*, al fine di trasmettere i contenuti salienti dei risultati ottenuti, evitando una mera elencazione degli argomenti oggetto delle ricerche e delle attività operative svolte.

INDICE

L'ISTITUTO DI RADIOPROTEZIONE:
RISORSE, ATTIVITA' E RUOLO NEL PANORAMA NAZIONALE
E. Fantuzzi, G. Gualdrini **IX**

COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI, PARTECIPAZIONE A INTERCONFRONTI E A PROGETTI EUROPEI

COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI E PARTECIPAZIONE A PROGETTI EUROPEI
E. Fantuzzi **3**
EURADOS WG2: HARMONIZATION IN INDIVIDUAL MONITORING IN EUROPE
E. Fantuzzi **6**
IL PROGETTO EU-TRIMER
E. Fantuzzi **8**
PREPARAZIONE DELL'EURADOS/IAEA ADVANCED TRAINING COURSE SU DOSIMETRIA INTERNA
C.M. Castellani, A. Luciani **9**
EUTERP PLATFORM: ARMONIZZAZIONE E RICONOSCIMENTO DEGLI ESPERTI DI RADIOPROTEZIONE IN AMBITO EUROPEO: 2°ANNO
A. Luciani **11**
PROPOSTA DI UN MODELLO BIOCINETICO PER TERAPIE DI DECORPORAZIONE CON DTPA: L'APPROCCIO CONRAD
A. Luciani **12**
CONRAD WORK PACKAGE 5.1 E 5.2 : Fine attività
C. M. Castellani, A. Luciani **13**
CORSO ENETRAP "OCCUPATIONAL RADIATION PROTECTION: SPECIFICITIES OF WASTE MANAGEMENT AND DECOMMISSIONING"
G. Iurlaro, A. Luciani **14**
CONRAD WORK PACKAGE 4 "COMPUTATIONAL DOSIMETRY" : FINE ATTIVITÀ
G. Gualdrini **15**
NUOVE PROPOSTE EURADOS PER LA DOSIMETRIA COMPUTAZIONALE
G. Gualdrini **16**
ORAMED-WP1 – RADIOPROTEZIONE DELLO STAFF MEDICO IN RADIOLOGIA INTERVENTISTICA – SIMULAZIONI MONTE CARLO
P. Ferrari, G. Gualdrini **18**
PROGETTO ORAMED: DOSIMETRIA DEL CRISTALLINO
F. Mariotti, G. Gualdrini **19**

ATTIVITA' DI RICERCA, SVILUPPO E QUALIFICAZIONE

EFFETTI DELLE RADIAZIONI

EFFETTO BYSTANDER RADIO-INDOTTO MEDIANTE TRASFERIMENTO DI TERRENO E CO-COLTURE SU CHERATINOCITI UMANI HACAT
M. Balduzzi, S. Paradisi, A. Matteucci, A. Giovanetti **23**
VALUTAZIONE DEL RUOLO DEI RAFT DI MEMBRANA NELLA TRASMISSIONE DEL SEGNALE BYSTANDER RADIO-INDOTTO
A. Giovanetti, S. Rufini **24**
USO DELL'ORGANISMO DI RIFERIMENTO PER IL SUOLO, EISENIA FETIDA PER VALUTARE IL BIOACCUMULO E GLI EFFETTI BIOLOGICI DELL'URANIO E DELL'URANIO DEPLETO
A. Giovanetti, S. Fesenko, M. L. Cozzella, L. Diaz Asencio, U. Sansone **25**

DOSIMETRIA INTERNA

STATO DELL'ARTE SULLA VALIDITÀ DEI MODELLI PRECLINICI NEGLI STUDI BIOCINETICI E DOSIMETRICI
S. Ridone, D. Arginelli **26**
DETERMINAZIONE DEL PLUTONIO MEDIANTE ICP-MS A QUADRUPOLO NELL'URINA
M. Montalto, M. L. Cozzella, D. Arginelli, S.Ridone, M. Nocente **27**
DETERMINAZIONE DI 90Sr IN MATRICI BIOLOGICHE E ALIMENTARI
S. Ridone, D. Arginelli, S. Bortoluzzi. M- Montalto, M. Nocente **28**
ATTIVITÀ DI MISURA DI ATTINOIDI IN MATRICI BIOLOGICHE E AMBIENTALI
S. Ridone, D. Arginelli, G. Berton, S. Bortoluzzi, G. Canuto, M. Montalto, M. Nocente **29**

DOSIMETRIA ESTERNA

COSTRUZIONE DI MODELLI VOXEL PER STUDI DOSIMETRICI E DI RADIOPROTEZIONE OTTENUTI DALLE SCANSIONI TC DI UN FANTOCCIO PLASTICO ANTROPOMORFO
P. Ferrari, G. Gualdrini, L. Pierotti **30**

STUDIO DELLA RISPOSTA DI UN SISTEMA DI SFERE DI BONNER CON RIVELATORE PASSIVO DI DYSPROSIO
P. Ferrari, G. Gualdrini, R. Bedogni, A. Esposito **31**

RADIOATTIVITÀ NATURALE E AMBIENTALE

LABORATORIO NORM: ATTIVITA' DI STUDIO & RICERCA
M. Calamosca, S. Penzo **32**

SERVIZIO RADON: ATTIVITA' DI STUDIO & RICERCA PROPEDEUTICA ALL'OTTIMIZZAZIONE DEL SERVIZIO
S. Penzo, M. Calamosca **33**

OTTIMIZZAZIONE DI TECNICHE DOSIMETRICHE

REVISIONE E VALIDAZIONE DELL'ALGORITMO ANALITICO PER IL CALCOLO DI HP(10) DALLE LETTURE DEI DOSIMETRI ENEA PER (NT + γ) CON RIVELATORI DI GR200 E GR207
F. Mariotti, G. Uleri, B. Morelli, E. Fantuzzi **34**

VERIFICA DELLA VALUTAZIONE DEL FONDO IN CONDIZIONE DI STOCCAGGIO DEI DOSIMETRI DEL SERVIZIO ENEA-IRP
C. Pellegrini, G. Uleri, F. Mariotti, B. Morelli **35**

IMPLEMENTAZIONE DELLE TECNICHE DI MISURA MEDIANTE SCINTILLAZIONE LIQUIDA PRESSO IL LABORATORIO ION-IRP RTX DELLA CASACCIA
I. Giardina, S. Bazzarri, L. Mancini, L. Andreocci, G. Morelli **36**

DETERMINAZIONE DI 241Am CON DGA RESIN E VACUUM BOX
I. Giardina, S. Bazzarri, L. Mancini, L. Andreocci, G. Morelli **37**

STUDIO PRELIMINARE DELLA RISPOSTA DI UN RIVELATORE BETA A FLUSSO DI GAS
P. Ferrari, P. Battisti **38**

RADIOPROTEZIONE NELLE ATTIVITA' MEDICHE

STUDIO DELLA STABILITÀ E DELLA BIOCINETICA DEL RADIOFARMACO OSTEOTROPO [153Sm]Sm-EDTMP UTILIZZATO IN RADIOTERAPIA METABOLICA
S. Ridone, D. Arginelli, A. Mirante, M. Montalto, M. Nocente, L. Vigna **39**

IMPIEGO DI ZEOLITI PER SIMULARE LESIONI METASTATICHE CAPTANTI [18F]FDG
S. Ridone, D. Arginelli, M. Montalto, L. Vigna **40**

DETERMINAZIONE DI CURVE DI CALIBRAZIONE PER RADIONUCLIDI MEDICALI IMPIEGATI IN INDAGINI SPECT IN PARTICOLARE NELLA RADIOTERAPIA METABOLICA DEL TUMORE TIROIDEO
D. Arginelli, A. Mirante, S. Ridone, L. Vigna **41**

QUALIFICAZIONE

INTERCONFRONTO "EURADOS 2008" PER DOSIMETRI PER CORPO INTERO PER FOTONI: PARTECIPAZIONE DEL SERVIZIO DOSIMETRICO BAS ION-IRP
B. Morelli, F. Mariotti, G. Baldassarre, G. Uleri **42**

INTERCONTFRONTO DI MISURE RADIOTOSSICOLOGICHE "PROCORAD® 2008": PARTECIPAZIONE DEI LABORATORI BAS ION IRP
P. Battisti **43**

PARTECIPAZIONE ENEA BAS ION IRP ALLA RETE IAEA "ALMERA": PROFICIENCY TEST 2008
P. Battisti **45**

SORVEGLIANZA FISICA DI RADIOPROTEZIONE E VALUTAZIONI DI SICUREZZA RADIOLOGICA

PROCEDURE DI MISURE DI RADIONUCLIDI IN MATRICI AMBIENTALI PRESSO IL LABORATORIO DI SORVEGLIANZA AMBIENTALE DEL C.R. CASACCIA
G. Iurlaro, R. Stefanoni, E. Soldano, N. Di Marco, G. Antonacci, G. Vanga **49**

BONIFICA DEI LABORATORI : RACCOLTA RIFIUTI E SORGENTI OBSOLETE, CONTROLLI SUI MATERIALI, INTERVENTI DI MANUTENZIONE
G. Iurlaro, G Cicoli , R. Stefanoni, E. Soldano, G. Antonacci, N. Di Marco, G. Vanga, S. Bazzarri, I. Giardina, R. Napoleone, A. Baiano **51**

LABORATORIO PER LA SORVEGLIANZA DELLA RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE
R. Stefanoni, N. Di Marco, E. Soldano, C. Bruschi, M. Cerro **52**

GESTIONE DI SORGENTI RADIOATTIVE SIGILLATE AD ALTA ATTIVITA' E SORGENTI ORFANE – APPLICAZIONE PRATICA NEL C.R. CASACCIA
G. Iurlaro, G. Liccione, D. Baiano, G. Cicoli **53**
VALUTAZIONE DI DOSE A TUTTE LE CLASSI DI ETÀ DELLA POPOLAZIONE INTORNO AL SITO TRISAIA DALL'ANNO 2005 ALL'ANNO 2007
S. Zicari, N. Silvestri, A.E. Montemurro, R. Pentivolpe, G. Liccione **55**
IL PUNTO DI VISTA DELL'ESPERTO QUALIFICATO SUL PROBLEMA DELLA QUALITÀ NELLA MISURA IN RADIOPROTEZIONE NEL SETTORE DELLA RICERCA.
L. Florita **57**

ATTIVITA' DI SERVIZIO

ATTIVITA' DI SERVIZIO
E. Fantuzzi **61**
SVILUPPI DELLA PROCEDURA DI INFORMATIZZAZIONE DELL'ARCHIVIO DOSIMETRICO ENEA
S. Polenta **64**
SERVIZIO RADON: ATTIVITA' DI ROUTINE
M. Calamosca, S. Penzo **65**
IL SERVIZIO DI DOSIMETRIA ESTERNA PERSONALE ED AMBIENTALE: ATTIVITÀ DI ROUTINE
B. Morelli, F. Mariotti, G. Baldassare, G. Falangi, G. Uleri **66**

ATTIVITA' DI FORMAZIONE PROFESSIONALE

ATTIVITA' NEL 2008 DEL GRUPPO DI LAVORO AIRP "LA COMUNICAZIONE IN RADIOPROTEZIONE".
A. Giovanetti, S. Sandri **71**
MODULO DI FORMAZIONE A DISTANZA SULLA VALUTAZIONE DI DOSE IN MEDICINA NUCLEARE
D. Arginelli, L. Vigna, S. Ridone, A. Mirante **72**
IL COORDINAMENTO NAZIONALE SULLE ATTIVITÀ DI MODELLISTICA MONTE CARLO: MARS (Metodi numerici Applicati in Radioprotezione e Sanità)
G. Gualdrini, P. Ferrari **73**

APPENDICI

ELENCO DEGLI AUTORI **77**
PARTECIPAZIONE A GRUPPI DI LAVORO E/O A COMITATI NAZIONALI E INTERNAZIONALI **78**
EDITORIALE RECENTEMENTE PUBBLICATO SU RADIATION PROTECTION DOSIMETRY
LA CRINERIA DEL LEONE ED IL RASOIO DI OCCAM
A. Luciani **81**

L'ISTITUTO DI RADIOPROTEZIONE: RISORSE, ATTIVITA' E RUOLO NEL PANORAMA NAZIONALE

Elena Fantuzzi, Gianfranco Gualdrini
ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Il presente contributo riassume i dati generali riguardanti le risorse umane e strumentali, le attività programmatiche e le attività dell'Istituto di Radioprotezione, nei centri ENEA di Bologna, Casaccia, Frascati, Saluggia e Trisaia e nell'ambito nazionale, aggiornando le informazioni già presentate nelle scorse edizioni.

2. Risorse umane e strumentali

Le risorse umane dell'Istituto di Radioprotezione, a fine 2008, sono 57, di cui 7 a tempo determinato, distribuiti sui 5 Centri di Bologna, Casaccia, Frascati, Saluggia e Trisaia, a queste si aggiungono 6 assegni di ricerca e due ospiti (afferenti al consorzio RFX), che collaborano per attività specifiche. La presenza del personale è maggiormente concentrata nei centri di Bologna e Casaccia (rispettivamente 13 dipendenti+3 assegnisti e 24 dipendenti+1 assegnista), seguono le sedi di Frascati e Saluggia (rispettivamente 7 dipendenti+1assegnista+2 ospiti "RFX", 8 dipendenti+1 assegnista) e infine Trisaia con 5 dipendenti. Il ridotto numero di personale ha avuto la conseguenza nel 2008 di spostare il baricentro delle attività sui Servizi e la sorveglianza, penalizzando la ricerca, necessaria per mantenere elevati gli standard di qualità dell'Istituto.

Le attività di ricerca si svolgono in laboratori ben attrezzati (alcuni all'avanguardia grazie anche agli investimenti degli ultimi anni ed ancora in atto) in tutte le sedi, pur con diverse potenzialità, per dosimetria esterna, dosimetria interna (WBC, radiotossicologia), radiometria ambientale, laboratori di irraggiamento/centro di taratura. strumentazione di radioprotezione, laboratorio NORM per misure di radioattività naturale e radon. Attraverso i suoi laboratori IRP svolge le attività di servizi tecnici per utenti interni ed esterni. Nei Centri la ricerca è così suddivisa:

Bologna (Sede di Montecuccolino) Dosimetria personale esterna, Misura della concentrazione di radon gas accompagnato dal laboratorio NORM (Naturally Occurring Radioactive Material), un Whole Body Counter (WBC) per la misura diretta di contaminazione interna, Centro di metrologia per radiazioni ionizzanti. Inoltre è presente una potenzialità di calcolo e competenze di dosimetria numerica per tutte le applicazioni di dosimetria e radioprotezione.

Casaccia, Saluggia e Trisaia Laboratori che svolgono attività di misura della radioattività ambientale e di dosimetria interna.

Saluggia e Trisaia Misure di dosimetria interna tramite Whole Body Counter (WBC) e misure di radiotossicologia su escreti.

Casaccia, dove l'utenza interna ed esterna è maggiore, Misure di sorveglianza ambientale e di dosimetria interna specificamente: due WBC per alta e bassa energia, laboratori di radiotossicologia su campioni biologici, laboratorio ICP-MS, laboratorio di sorveglianza ambientale che discende dal tradizionale "Servizio di Fisica Sanitaria" degli anni '60.

Casaccia Laboratori di ricerca in radiobiologia (tecniche COMET-Fish e microarrays).

Dal 2005 i laboratori di sorveglianza ambientale di IRP sono inseriti nella rete ALMERA (Analytical Laboratories for the Measurements of Environmental Radioactivity) della IAEA ed in questo ambito possono essere cooptati dalla IAEA stessa per la effettuazione di misure in caso di incidenti radiologici transfrontalieri o di altra natura. Negli stessi laboratori l'IRP dispone di laboratori per la preparazione ed il trattamento chimico e fisico dei campioni, per le misure chimiche, radio-chimiche e/o fisiche sul contenuto di radioattività dei campioni ambientali e/o alimentari e per le misure radio-tossicologiche sui campioni biologici.

Frascati Misure di radon in acqua, misure a termoluminescenza e di spettrometria gamma e di trizio, e modelli di calcolo per valutazioni di sicurezza radiologica, prevalentemente per gli impianti a fusione nucleare ed acceleratori di ricerca.

IRP, per la *sorveglianza ambientale*, partecipa ogni anno ai test di interconfronto organizzati dalla IAEA per i laboratori della rete ALMERA, per la *dosimetria interna* partecipa ai test PROCORAD (http://www.procorad.org), per la *misura di concentrazione di radon gas* in aria e all'interconfronto internazionale organizzato dall'agenzia inglese HPA (Health Physics Agency).

3. Attività programmatiche

L'Istituto di Radioprotezione in ENEA ha la caratteristica di trasversalità, anche rispetto agli obiettivi strategici esistenti o in divenire. Le attività dell'Istituto di Radioprotezione rispondono alle esigenze di radioprotezione in ENEA, in ottemperanza alla normativa vigente (D.Lgs. 230/95 s.m.i.). A queste attività "istituzionali" si affianca un costante impegno sul versante della ricerca e della qualificazione, fondamentali per poter mantenere servizi di radioprotezione e di dosimetria adeguati e idonei ad affrontare le attuali necessità e le nuove problematiche. Tale insieme di competenze, di risorse strumentali e di prestazioni tecniche rende IRP una realtà di risorse nel campo della radioprotezione, certamente unica in Italia per completezza, multi-disciplinarietà e capacità di rispondere alle nuove esigenze.
Ciò è reso possible dal continuo rapporto di IRP con la realtà europea e internazionale tramite (ICRP task group, ISO, IEC working group, EURADOS, EUTERP).

a) Attività di ricerca, sviluppo e qualificazione

L'attività di *ricerca e sviluppo* è dedicata alla messa a punto di tecniche dosimetriche, allo studio di metodologie di valutazione della dose, allo studio degli effetti alle basse dosi, con analisi di biologia molecolare, alle valutazioni di sicurezza su impianti con presenza di rischi da radiazioni ionizzanti. Tutte le attività di ricerca si avvalgono della competenza di dosimetria numerica (che in IRP sono presenti tradizionalmente e costantemente aggiornate al livello internazionale) che, con l'ausilio delle tecniche Monte Carlo di trasporto delle radiazioni nella materia, permettono valutazioni dosimetriche quasi sempre impossibili sperimentalmente.

b) Sorveglianza fisica di radioprotezione e valutazioni di sicurezza radiologica

L'attività istituzionale di *sorveglianza fisica di radioprotezione*, che IRP svolge *ex lege* (D.Lgs 230/95 s.m.i.) per le esigenze di tutti e quattro i Dipartimenti dell'ENEA, riguarda 2 impianti nucleari e le pratiche di categoria A e B dei circa 50 laboratori che sono distribuiti nei 9 Centri di ricerca dell'ente.
Il programma di *sorveglianza fisica di radioprotezione* richiede specifiche azioni di monitoraggio ambientale ed individuale dei lavoratori esposti (in ENEA sono oltre 400) e la misura delle esposizioni alle radiazioni negli ambienti di lavoro. L'attività comprende anche il coordinamento degli esperti qualificati incaricati per le attività con rischio da radiazioni ionizzanti.
IRP, inoltre, fornisce assistenza alla Direzione dell'Ente per la formulazione di procedure di radioprotezione, documentazione tecnica, in ottemperanza ai protocolli di sicurezza nucleare vigenti (EURATOM), nonché per le istanze di autorizzazione a pratiche comportanti rischi da radiazioni ionizzanti.
Infine, prevalentemente con le competenze della sede di Frascati, IRP collabora con le unità del dipartimento FPN dedicate alla ricerca sulla fusione nucleare, e fornisce valutazioni di radioprotezione e sicurezza radiologica per gli impianti impiegati, oltre che la consulenza e la redazione dei documenti autorizzativi necessari per l'esercizio degli stessi. Tali valutazioni comprendono sia l'esposizione degli operatori sia l'impatto ambientale di tipo "radiologico" in caso di rilasci radioattivi.

c) Attività di misura di radioattività, dosimetria e taratura per utenti interni ed esterni

La attività svolta nei laboratori di *misura della radioattività* e *di dosimetria* di IRP ha permesso di effettuare tutte le misure radiometriche e dosimetriche necessarie per l'attuazione della sorveglianza fisica di radioprotezione.
Inoltre, tali laboratori insieme al servizio di misura di concentrazione del radon ed al laboratorio per la taratura delle radiazioni ionizzanti, della sede di Bologna, hanno svolto attività di servizi tecnici, su tariffario ENEA, per circa 300 utenti esterni.
Le attività di servizio vengono sintetizzate in tabella 1.

Tabella 1: Utenti e misure per anno per conto terzi del servizio di "radioprotezione e dosimetria" IRP

Servizio	Utenti	N. misure per anno per utenti esterni
Dosimetria esterna	230	80 000
Monitoraggio radon	40	2000
Dosimetria interna	10	1000
Misure radiometriche su campioni ambientali	10	100
Taratura strumentazione radioprotezione	40	100

4. Ruolo ed inserimento nella realtà italiana

L'Istituto di Radioprotezione partecipa attraverso i propri ricercatori alle attività di associazioni, a eventi e comitati tecnici operanti nel campo dell'impiego delle radiazioni. In particolare:

A) Associazione Italiana di Radioprotezione: due ricercatori, S.Sandri e G. Gualdrini sono membri del consiglio direttivo e contribuiscono attivamenteì all'organizzazione dei diversi eveni tecnico-scientifici promossi dalla associazione.

B) Norme UNI: ricercatori di IRP sono membri della Sottocommissione Energia Nucleare dell'UNI ed anche di alcuni GdL che predispongono nuove norme tecniche italiane in tema di dosimetria e misure radiometriche, o la revisione delle norme internazionali (ISO e CEI) al fine del loro recepimento come norme UNI.

C) Comitato ENEA sul Nucleare da Fissione in cui IRP è rappresentato da G. Gualdrini. Il Comitato, voluto dal Presidente ENEA su mandato del Governo Italiano ha lo scopo di creare una rete stabile fra Istituti di Ricerca, Università, Industria Nazionale e Enti partner stranieri (vedi accordo ENEA-CEA nel campo del nucleare da Fissione)

D) Federazione Italiana per la Ricerca sulle Radiazioni (FIRR): dal 2008 per conto AIRP G. Gualdrini fa parte del Comitato Direttivo, mentre A. Giovanetti si occupa di comunicazione e formazione. Scopo della Federazione (Presidente D. Tirindelli di ENEA-BAS) è di contribuire a creare collaborazioni fra radiobiologi, radioterapisti e fisici nel campo della applicazione delle radiazioni ionizzanti e studi di ricerca connessi.

E) Coordinamento MARS: Modelli matematici per la Salute. MARS, attualmente coordinato da G. Gualdrini di IRP, che ne è stato uno dei fondatori, ha lo scopo di mettere in comunicazione i fisici che impiegano modelli matematici nella loro attività sulle radiazioni ionizzanti. Di particolare interesse un Workshop organizzato in tale ambito da IRP nel dicembre 2008 a Bologna (vedi contributo specifico nel presente libretto)

F) Emergenze Radiologiche: E' sempre di maggior attualità il tema delle emergenze nucleari in caso di attacchi terroristici che utilizzino la cosiddetta " bomba sporca". E' nato nel 2008 il Progetto IBEN IBEN (Italian Bio-dosimetry Emergency Network) di concerto con I Ministeri competenti, attività seguita per ENEA da P. Battisti. E' attualmente in fase di studio la possibilità di includere le potenzialità dell'Istituto di Radioprotezione ENEA in RANET, rete IAEA di mutual assistenza a disposizione dei paesi membri del caso di emergenze nucleari.

5. Conclusioni

IRP costituisce un centro di competenze e di risorse strumentali unico nel Paese per completezza e multi-disciplinarietà nel campo della radioprotezione: un vero e proprio presidio scientifico, unico certamente sulle tematiche di dosimetria interna delle radiazioni ionizzanti. Non a caso, il personale dell'IRP costituisce la continuità storica delle attività di radioprotezione svolte da ENEA sin dagli anni '60-'70 del "nucleare" e le competenze raccolte in un unico Istituto rispondono alle esigenze locali e nazionali. Le potenzialità di IRP rappresentano una opportunità da sfruttare per rafforzare il ruolo istituzionale di ENEA nel campo della radioprotezione, non solo relativamente all'impiego del "nucleare", ma anche per le attività legate alle pratiche sanitarie, dove percentualmente si registra il maggior contributo di dose da radiazioni ionizzanti per la popolazione e per i lavoratori addetti.

COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI, PARTECIPAZIONE A INTERCONFRONTI E A PROGETTI EUROPEI

COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI E PARTECIPAZIONE A PROGETTI EUROPEI

Elena Fantuzzi
ENEA – BAS-ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Le attività dell'Istituto sono inserite nel contesto della ricerca internazionale, in particolare europea. Questa integrazione è garantita dalla partecipazione a gruppi di lavoro e organismi internazionali (ISO, IEC, IAEA, EURADOS) e commissioni di riferimento nel campo della radioprotezione (ICRP, ICRU) degli esperti IRP (vedi appendice). Inoltre, l'Istituto è Membro Votante di EURADOS (EUropean RAdiation DOSimetry Group) e partner di progetti europei.
Nel VI FP il Progetto CONRAD ha visto la sua conclusione nel marzo 2008, mentre nell'ambito del VII FP IRP partecipa al progetto *ORAMED* (Optimization of RAdiation protection of MEDical staff) che ha ottenuto il finanziamento dal DG RD (Research and Development) che svolgerà le proprie attività dal 2008 al 2011, e contribuirà, tramite EURADOS, al progetto europeo *EU-Trimer* (EUropean Technical Recommendations on Individual MOnitoring for Exetrnal Radiation) finanziato dal DG TREN (Energy and Transport).
Inoltre IRP, in collaborazione con il Dipartimento FPN, contribuisce a task specifici di attività di ricerca per la fusione nucleare finanziati dall'EURATOM.

2. a) CONRAD (http://www.eurados.org) - Contratto N. (FP6) 12684

La "Coordination Action" (A Coordinated Network for Radiation Dosimetry) è un progetto finanziato dalla Unione Europea all'interno del VI Framework Programme diretto da EURADOS, l'Università Tecnologica di Delft (Paesi Bassi) e l'Università di St. Gallen (Svizzera). Il progetto *CONRAD*, si è articolato in 4 Workpackages scientifici:

- Internal Dosimetry - 3 membri ENEA-IRP: P. Battisti, C. M. Castellani, A. Luciani;
- Computational Dosimetry, di cui ENEA-IRP: G. Gualdrini (WP leader);
- Medical Staff Dosimetry;
- Dosimetry in Complex radiation field – membro ENEA-IRP: S. Sandri.

Il progetto è terminato il 31/03/08. Riportiamo brevemente i principali risultati

Per quanto riguarda il WP5 Internal dosimetry i maggiori risultati possono essere così riassunti. Le linee guida IDEAS per la valutazione della dose interna sono state aggiornate con la valutazione dei fattori di dispersione (scattering factors), con le modalità di valutazione delle dimensioni effettive delle particelle e con l'approccio alla valutazione della dose da ferite contaminate. Il database dei casi di studio IDEAS è stato ampliato e aggiornato. E' stata sviluppata la metodica per l'assicurazione di qualità dei nuovi modelli biocinetici ICRP (HATM e modelli sistemici) e NCRP 156 per le ferite. Sono state poste le basi per un nuovo modello biocinetico nei casi con terapia con DTPA. E' stato elaborato, condotto e valutato un "Interconfronto sulla modellazione Monte Carlo per le misure in vivo dell'americio in un fantoccio del ginocchio (in collaborazione con il WG6: Computational Dosimetry). E' stata infine sviluppata una Rete europea per il monitoraggio di emergenza (EUREMON) con lo scopo di coordinare le attività in Europa in caso di monitoraggio ad ampia scala di dosimetria interna in seguito a dispersione accidentale o deliberata di radioattività nell'ambiente.

Per quanto riguarda la Dosimetria Computazionale (WG6) sono stati publicati gli atti del Workshop organizzato a Bologna nell'autunno 2007, in cui sono stati discussi i risultati di otto interconfronti internazionali su problematiche dosimetriche studiate anche sperimentalmente. Sono state inoltre presentate le conclusioni dell'interconfronto sperimentale-numerico su misure in vivo di Americio nel ginocchio (in collaborazione con WP5) insieme a diversi "tutorial" riguardanti l'analisi delle incertezze, la modellazione su scala nanometrica, le modellistica dei fantocci voxel. IL CD-ROM può essere richiesto tramite il sito web www.eurados.org

Per quanto riguarda la Dosimetria dei Campi Complessi gli studi hanno riguardato l'analisi delle caratteristiche spettrali di campi complessi, gamma e neutroni, presso acceleratori; la definizione delle caratteristiche della strumentazione impiegata per l'analisi dei campi complessi; il confronto tra diverse metodiche di monitoraggio in presenza di campi complessi; la messa a punto di sistemi per spettrometria neutronica.

2. b) EU-Trimer (http://euradosnews.org) - Contratto N. TREN/07/NUCL/S07.70121

Nell'ambito del VII FP, EURADOS contribuisce al progetto europeo *EU-Trimer* (EUropean Technical Recommendations on Individual Monitoring for External Radiation) (durata aprile 2007- luglio 2009) finanziato dal DG-TREN della CE attraverso un *consortium agreement* con il diretto contraente del progetto che è l'istituto greco GAEC (Greek Atomic Energy Commission). Il progetto ha lo scopo di redigere e sottoporre per la pubblicazione alla CE, le nuove *European Technical Recommendations for Individual Monitoring for External Radiation.* La redazione del documento è delegata ad un task group di 7 esperti europei scelti dal Council nell'ambito WG2 di EURADOS: *Harmonization in individual monitoring in Europe*, attivo dal 1997. Elena Fantuzzi è uno dei 7 esperti ed il suo contributo è regolato da apposito accordo fra EURADOS e ENEA. L'importanza del progetto EU-Trimer risiede nell'approccio di condivisione durante la stesura delle raccomandazioni da parte del maggior numero di esperti nel campo attraverso la rete di contatti di EURADOS e soprattutto delle autorità nazionali che hanno il compito della vigilanza in tema di radioprotezione in ciascun paese membro. L'emissione di raccomandazioni emesse dalla CE e la successiva adozione delle stesse nella pratica in ciascun paese membro potrà garantire un elevato grado di armonizzazione della dosimetria individuale dei lavoratori esposti nella UE. Il documento, infatti, conterrà le indicazioni tecniche aggiornate per la esecuzione del monitoraggio individuale di radioprotezione per esposizione esterna tenuto conto di tutte le Direttive Europee e delle raccomandazioni e documenti di standardizzazione internazionale in materia (ICRP, ICRU, IAEA, ISO, IEC, etc.)

2. c) ORAMED (http://www.oramed-fp7.eu) - Contratto N. (FP7) 211361

Il progetto ORAMED (Optimization of RAdiation protection of MEDical staff), consistente in un "Collaborative Project" del VII FP finanziato dal DG R&D, coinvolge 10 istituti di ricerca, dipartimenti ed ospedali universitari e due ditte produttrici di dosimetri individuali europee, ed è coordinato dall'istituto belga SCK-CEN. La durata del progetto è di 36 mesi a partire dal mese di febbraio 2008. Nel 2008 le attività principali di ricerca da parte di IRP in ambito ORAMED sono state:

1- Simulazioni Monte Carlo di procedura di radiologia interventistica (Work-package 1). Lo studio, suddiviso fra GAEC, SCK-CEN ed ENEA-IRP, ha visto IRP coinvolto nella modellizzazione Monte Carlo di uno scenario in cui un operatore svolge un esame elettrofisiologico sul paziente (entrambi rappresentati con fantocci analitici modificati). Sono state studiate centinaia di proiezioni con diversi tipi di fascio.

2- Per la dosimetria del cristallino IRP ha prodotto una nuova serie di coefficienti di conversione per energie di fotoni da 10 keV a 10 MeV su fantoccio cilindrico meglio rappresentativo della testa umana (fino ad ora gli unici coefficienti disponibili, non inclusi nelle raccomandazioni ICRP74 o ICRU57, erano stati ottenuti sul fantoccio rappresentativo del tronco (Work-package 2)

3- Per gli studi di dose alle estremità in medicina nucleare (somministrazione di F-18, Tc-99m, Zevalin ed altri) sono stati coinvolti numerosi Ospedali Italiani per le misure e si e' iniziata un'attività di simulazione Monte Carlo delle procedure, mediante modellizzazione voxel della mano, in collaborazione con IRSN.

2. d) contributi a task di ricerca finanziati da EURATOM

L'attività di progettazione e sviluppo di radioprotezione per l'impianto ITER NBTF (Neutral Beam Test Facility) di Padova è proseguita nel 2008 a cura del gruppo BAS IONIRP di Frascati, con il coordinamento di S. Sandri, e la collaborazione del Consorzio RFX. L'attività è stata svolta nell'ambito di un Grant europeo riconosciuto dal consorzio Fusion for Energy dell'Euratom. Le analisi svolte hanno riguardato principalmente la definizione delle soluzioni progettuali per le penetrazioni, attraverso le pareti schermanti, dei due impianti principali, denominati MITICA e SPIDER. Per le specifiche valutazioni sono state impiegate relazioni empiriche e codici di calcolo basati su tecniche Monte Carlo. Lo studio effettuato ha fornito il progetto definitivo dei canali di passaggio dei servizi e dei labirinti di accesso per le persone e gli oggetti.

2. e) presenza di IRP in EURADOS

EURADOS (http://www.eurados.org, http://euradnews.org,) è un'organizzazione sorta nel 1981 per iniziativa di un gruppo di ricercatori coinvolti in contratti ed azioni promosse e finanziate dalla CE nel campo della dosimetria della radiazioni ionizzanti. Sin dall'inizio l'organizzazione ha promosso, e promuove tuttora, il coordinamento di programmi di ricerca, convegni, workshop, corsi di formazione specialistici e di interconfronti sulle metodiche di misura che costituiscono un riferimento di altissima qualità nel campo della ricerca europea in dosimetria delle radiazioni ionizzanti.

L'associazione conta, attualmente, 54 "*Voting Members*" (laboratori o istituti di ricerca, dipartimenti universitari, ecc.) dell'Unione Europea e costituisce di fatto un network di istituti di ricerca nel campo della dosimetria delle radiazioni ionizzanti. EURADOS, infatti, coordina numerose attività di ricerca, sviluppo a cui partecipano decine di laboratori di riferimento in tutta Europa. A partire dal 2008 la sede legale è in Germania, presso il PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), di Braunschweig in Germania.
In particolare IRP detiene la vice-presidenza della organizzazione e dirige il Gruppo di lavoro sulla dosimetria computazionale oltre a partecipare ad altri gruppi di lavoro, in particolare quello sulla dosimetria interna ed individuale.

2. f) ***Progetto IBEN (Italian Bio-dosimetry Emergency Network)*** :

Negli ultimi anni, il paventato utilizzo delle radiazioni a fini terroristici con metodi quali la RED (Radiation Emission Device) o la RDD (Radiation Dispersion Device, la cosiddetta "bomba sporca") ha messo in risalto il più generale problema della valutazione del rischio nei casi di emergenze radiologiche e/o nucleari su scala locale per le quali, sia in ragione della disomogeneità delle esposizioni che per le possibili loro elevate entità, i metodi di controllo individuale risultano indispensabili per una efficace gestione dell'evento, sia dal punto di vista sanitario in senso stretto sia da quello dell'impatto sociale.
Scopo del progetto IBEN (Italian Biodosimetry Emergency Network) è proprio quello di riunire e coordinare le competenze utili presenti sul territorio nazionale al fine di costituire anche in Italia, al pari di quanto già in atto nei Paesi tecnologicamente più avanzati, un sistema integrato per la "dosimetria multiparametrica d'urgenza" capace di intervenire efficacemente in ogni emergenza di tipo radiologico, in specie quando si abbia il coinvolgimento, potenziale o effettivo, di un numero elevato di persone, popolazione inclusa. L'azione è coordinata per ENEA da P. Battisti di IRP.

3. Conclusioni

Le attività di ricerca svolte costituiscono un insostituibile mezzo di aggiornamento della ricerca svolta nel campo della dosimetria, di collaborazione con analoghi istituti di ricerca europei utili a mantenere l'attività di radioprotezione in ENEA in linea con lo stato dell'arte internazionale.

EURADOS WG2: HARMONIZATION IN INDIVIDUAL MONITORING IN EUROPE

Elena Fantuzzi
ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Negli ultimi 10 anni EURADOS ha istituito e coordinato un gruppo di lavoro dedicato alla armonizzazione della dosimetria individuale in Europa. Il gruppo di lavoro, di seguito chiamato WG2 come riportato nei vari documenti e pubblicazioni EURADOS, ha lavorato perseguendo obiettivi specifici in tre diversi periodi corrispondenti a tre diverse forme di finanziamento. Il gruppo è attivo dal 1997 grazie a finanziamenti della CE nel V e VI Programma Quadro ed al supporto diretto di EURADOS. E' costituito da esperti europei in dosimetria individuale e sin dall'inizio ha avuto un rappresentante membro per ogni paese della EU o almeno un *corresponding member o contact point* per acquisire le informazioni in ciascun paese, anche di quelli che via via sono entrati nella Unione Europea o sono membri candidati a farne parte. La composizione del WG2 è variata nel corso degli anni. Elena Fantuzzi ha partecipato al WG sin dall'inizio.

Tabella 1: composizione del WG2 negli anni 1997-2008

WG2 1997-2000 **Harmonisation and Dosimetric Quality Assurance in Individual Monitoring for External Radiation *action group*** ***(EC DG XII- F14P-CT96-0061)***	**WG2 2001-2004** **Harmonisation of Individual Monitoring in Europe** ***(EC DG XII- FIR-CT2000-20104)***	**WG2 2005-2006** **Harmonisation on Individual Monitoring in Europe** **EURADOS direct support**	**WG2 2007-2009** **EU-Trimer project task group** **And** **Organization Group for Intercomparison exercise**
1. As requested by EC => 1 member from each EU Member State + CH 2. P. Ambrosi (PTB, D) 3. C. Back (Ministère de la Santé, L) 4. D. T. Bartlett (NRPB, UK - chairman) 5. J. M. Bordy (IRSN, F) 6. P. Christensen (RISOE, DK) 7. T. Colgan (RPII, IRL) A. F. de Carvalho (ITN, P) 8. Delgado (CIEMAT, E), 9. J.W.E. van Dijk (NRG, NL) 10. E. Fantuzzi (ENEA, I) 11. H. Hyvonen (STUK, FIN) 12. L. Lindborg (SSI, S) 13. H. Stadtmann (ARCS, A) 14. F. Vanhavere (SCK-CEN, B) 15. Wernli (PSI, CH) 16. M. Zamani-Valasiadou (AUT- Nucl. Phys. Lab., EL)	1. Andy Weeks (Secr.) (BNFL, UK) 2. Peter Ambrosi (PTB, D) 3. Konstantin Bogucarskis (Latvian RSC, LV) 4. TeresaBolognese-Milsztajn (IPSN, F) 5. Carlo Maria Castellani (ENEA-I) 6. Rodolfo Cruz Suares (IAEA , UN) 7. Lorraine Currivan (RPII, IRL) 8. Janwillem van Dijk **(Chairman)** (NRG-RE, NL) 9. Rolf Falk (SSI, S) 10. Elena Fantuzzi (ENEA, I) 11. Marcus Figel (GSF, D) 12. Joao Garcia Alves (ITN-DRPSN, P) 13. Merce Ginjaume (INTE-UPC, E) 14. Helena Janzekovic (SNSA, SL) 15. Vassiliki Kamenopoulou (GAEC, EL) 16. Maria Antonia Lopez (CIEMAT, E) 17. M. Luszik-Bhadra (PTB, D) 18. Pawel Olko (Inst. Nuc. Physics, PL) 19. Hannes Stadtmann (ARCS, A) 20. Filip Vanhavere (SCK-CEN, B) 21. Christian Wernli (PSI, CH) 22. Wolfgang Whal (GSF, D)	**WG2 Full member** **Subgroup 1** 1. PeterAmbrosi (PTB, D) 2. David Bartlett (HPA, UK) 3. Lorraine Currivan, secr. (RPII, IRL) 4. Janwillem van Dijk (NRG-RE, NL) 5. Elena Fantuzzi (ENEA, I) 6. Joao Garcia Alves (ITN-DRPSN, P) 7. VassilikiKamenopoulou,**coord**(GAEC,EL) 8. Eija Vartiainen (STUK, FIN) **Subgroup 2** 1. Vekic Branco (IRB, KR) 2. Eric Cale (ISN, F) 3. Elena Fantuzzi (ENEA, I) 4. Markus Figel, coord (GSF, D) 5. Tom Grimbergen (NRG, NL) 6. D. Kluszczynski (NIOM, PL) 7. Andrew McWhan (BNFL, UK) 8. Henrik Roed, (NIRH, DK) 9. Ana Romero (CIEMAT, E) 10. Hannes Stadtmann (ARCS, A) + 29 corresponding member (national contact person, authority, contact metrology	**WG2 – EU-Trimer task group** 1. VassilikiKamenopoulou,**coord**(GAEC,EL) 2. Lorraine Currivan, secretary (RPII, IRL) 3. Peter Ambrosi (PTB, D) 4. David Bartlett (HPA, UK) 5. Janwillem van Dijk (NRG-RE, NL) 6. Elena Fantuzzi (ENEA, I) 7. Joao Garcia Alves (ITN-DRPSN, P) **WG2 – Organization Group for Inter-comparison exercise** 1. Markus Figel (GSF, D) 2. Vekic Branco (KR) 3. Tom Grimbergen (NRG, NL) 4. Andrew McWhan (BNFL, UK) 5. Ana Romero (CIEMAT, E) 6. Hannes Stadtmann (ARCS, A) + oltre 40 corresponding member (national contact person, authority, contact metrology

2. Il lavoro svolto dal WG2

Negli anni 1997-2000, il WG2, presieduto da David Bartlett (UK), finanziato da EC DG R&D (F14P CT96-0061) ha valutato lo stato di implementazione della Direttiva Europea 96/29 per ciò che riguarda il monitoraggio individuale del personale professionalmente esposto alle radiazioni in termini della nuova grandezza $H_p(d)$. Al termine del 2000, il WG 2 ha terminato i lavori con la pubblicazione di un volume dedicato della rivista Radiation Protection Dosimetry (1) ed anche con l'organizzazione di un workshop per la disseminazione dei risultati tenutosi a Helsinki nel settembre del 2000, i cui atti sono pubblicati anch'essi in un numero speciale di Radiation Protection Dosimetry (2).

Negli anni 2001-2004, il WG2, presieduto da Janwillem van Dijk (NRG-NL), finanziato da EC DG R&D (*FIR-CT2000-20104*) ha valutato l'implementazione degli standard di riferimento nella pratica della dosimetria individuale estendendo il lavoro svolto ai nuovi Paesi Membri e l'azione di armonizzazione anche alla dosimetria individuale per esposizione interna. Inoltre ha valutato lo stato dell'arte dei dosimetri attivi nella pratica radioprotezionistica. Al termine del 2004, il WG2 ha pubblicato i risultati in un volume dedicato della rivista Radiation Protection Dosimetry (3).

Negli anni 2005-2006, considerate le potenzialità del WG, il Council di Eurados ha finanziato direttamente il lavoro del WG su:

- Analisi e preparazione di una review delle datate *Technical Recommendation for External Dosimetry of Exposed Workers (CE-*, 1994)
- studio di fattibilità per l'organizzazione di un inter-confronto EURADOS "auto-sostenibile"

Nel 2008, il WG2:

- nell'ambito del progetto EU-Trimer (European Union Technical Recommendation in Individual Monitoring for External Radiation), coordinato GAEC (GR), e di cui EURADOS è partner attraverso un "consortium agreement", è stato redatto un documento, da sottoporre alla approvazione del Gruppo di Esperti ex art.31 (del Trattato EURATOM) nel corso del 2009, che fornisce le raccomandazioni tecniche sul monitoraggio individuale per i lavoratori esposti alle radiazioni ionizzanti per sorgenti esterne. Tale documento costituisce una sintesi di tutti i documenti tecnici e gli standard applicabili al monitoraggio individuale per esposizione esterna. Esso contiene sia informazioni tecniche (come il metodo per il calcolo dell'incertezza), sia raccomandazioni sulla gestione del monitoraggio, per varie condizioni ed esigenze (diversi tipi di radiazione, utilizzo di indumenti protettivi...), sia descrivendo le modalità e le procedure per la assicurazione di qualità nel controllo dosimetrico (vedi contributospecifico su EU-TRIMER del presente libretto).
- ha organizzato un interconfronto su scala europea, per dosimetria esterna al corpo intero per fotoni. L'interconfronto è stato un "performance test" per i servizi di dosimetria che hanno partecipato. Le quote di partecipazione hanno permesso di coprire i costi di gestione e di irraggiamento dei dosimetri presso i centri di taratura accreditati. 52 servizi di dosimetria, con 62 sistemi di lettura, appartenenti a 24 Paesi Europei hanno partecipato all'interconfronto, ognuno inviando 26 dosimetri (20 per l'irraggiamento, 2 scorte e 4 come testimoni), per un totale di 1240 dosimetri. I risultati preliminari dell'Interconfronto sono stati presentati all'Annual Meeting 2009 di EURADOS e quelli definitivi saranno pubblicati su Radiation Protection Dosimetry. I risultati sono soddisfacenti, infatti, solo il 10% risulta "outlier", cioè al di fuori dei criteri di accetabilità fissati dall'ICRP; di questi la maggior parte sono dosimetri a film (50 outliers su 200: 25%) contro i 35 outliers su 920 per i TLD (4%). Risultati peggiori sono stati ottenuti per irraggiamenti ad angoli maggiori di 0°. Dall'analisi dei risultati è, inoltre, emersa la necessità di una procedura condivisa per la sottrazione del segnale di fondo. Le informazioni sono disponibili sul sito http://www.eurados.org.

3. Conclusioni

Il lavoro svolto dal WG2 di EURADOS sulla dosimetria individuale in Europa è di notevole entità e valore per la radioprotezione dei lavoratori in Europa. Le pubblicazioni prodotte dal WG2 possono essere considerate documenti di riferimento sullo stato dell'arte. Le attività del 2008, in particolare la organizzazione di un "interconfronto europeo" , va nella direzione di un possibile confronto della prestazione dei sistemi dosimetrici in uso e del mutuo riconoscimento dei servizi dosimetrici sulla base della accertata qualità dei dati dosimetrici forniti. La partecipazione dell'Istituto di Radioprotezione al WG, sin dall'inizio e per tutta la durata dei lavori, ha permesso di mantenere la dosimetria individuale in uso in ENEA sempre all'avanguardia e al passo con lo standard europeo e parallelamente di garantire un ruolo di riferimento dell'ENEA in Italia sul tema della dosimetria individuale.

[1] "*Harmonisation and Dosimetric Quality Assurance in Individual Monitoring for External Radiation*" Editors: D.T. Bartlett, P. Ambrosi, J.M. Bordy, J.W.E. van Dijk , *Special issue* - Radiat. Prot. Dosim., Vol. 89 N. 1-2, 2000.

[2] "*Individual Monitoring of External Radiation*" Editors: D.T. Bartlett, J. Boehm, H. Hyvonen, *Special Issue* - Radiat. Prot. Dosim., Vol. 96 N. 1-3, 2001.

[3] "*Harmonisation of Individual Monitoring in Europe*", Editors: J.W.E. van Dijk, T. Bolognese-Milszttajn, E. Fantuzzi, M.A. Lopez Ponte, H. Stadtmann, *Special Issue* - Radiat Prot Dosim., Vol. 114, N.1, 2004

[4] EUR 14852- Technical report 73: *Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation,* Christensen, P., Julius, H.W., Marshall, T.O., European Commission, Luxembourg (1994).

[5] "*Individual Monitoring*", Editors: R. Cruz-Suarez, J.W.E. van Dijk, F. d'Errico, E. Fantuzzi, M.A. Lopez Ponte, C. Schmitzer, H. Stadtmann, *Special Issue* - Radiat Prot Dosim., Vol. 125, N.1-4, 2007.

IL PROGETTO EU-TRIMER

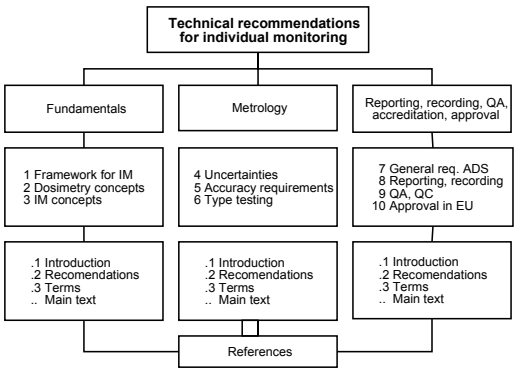
Elena Fantuzzi
ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Nel 2007, il gruppo WG2 (Harmonization of Individual Monitoring in Europe) di EURADOS, presieduto da Vassiliki Kamenopoulou (GAEC,EL) ha ottenuto il finanziamento del progetto EU-Trimer (EU Technical Recommendation for Individual Monitoring of External Radiation) da parte della CE, DG TREN. Il progetto ha una durata di 24 mesi, è coordinato dal GAEC che ha come unico partner di "consortium agreement" EURADOS che funge da "network" attraverso i contatti nazionali costruiti dal gruppo WG2 nel corso degli oltre 10 anni di attività.

2. L'obiettivo del progetto

Il testo delle nuove raccomandazioni mette insieme raccomandazioni e normative tecniche da Direttive Europee, pubblicazioni ICRP e ICRU nonché rapporti tecnci IAEA, norme IEC, ISO e pubblicazioni EURADOS. Le raccomandazioni hanno lo scopo di fornire una guida all'implementazione delle Direttive Eueopee e favorire la armonizzazione delle procedure di monitoraggio individuali nella UE. Il testo è rivolto a servizi di dosimetria, aziende e fornitori di sistemi dosimetrici e autorità nazionali vigilanti sulle tecniche di radioprotezione. [1 2].



Il lavoro è svolto prevalentemente da un task group di 7 esperti scelti dal Council di EURADOS fra gli esperti di dosimetria individuali, in particolare, del WG2, che hanno il compito della stesura effettiva del testo delle nuove raccomandazioni, secondo le specifiche competenza:

1. João Garcia-Alves –*ITN (P)*
2. Peter Ambrosi – *PTB(D)*
3. David T. Bartlett – *ex HPA (UK)*
4. Lorraine Currivan-RPII-*IRL*
5. Janwillem van Dijk- ex-NRG (*NL)*
6. Elena Fantuzzi – *ENEA(I)*
7. Vasiliki Kamenopoulou GAEC(EL)

Ogni capitolo contiene una sintesi delle raccomandazioni tecniche sull'argomento trattato e costituisce un testo autoconsistente. Per questo motivo, nell'insieme, il documento è molto dettagliato e, in certi aspetti, ripetitivo, ma è stato pensato per essere utilizzato come un manuale tecnico per addeti ai lavori ed è quindi poco adatto a una lettura selettiva.

Il testo è stato inviato per condivisione e diffusione alle autorità nazionali competenti per il tema. Il documento definitivo, stilato in base ai feedback pervenuti, sarà presentato al "Group of Expert" ex art.31 del trattato EURATOM, presso la Commissione Europea, per l'approvazione definitiva (2009).

3. Conclusioni

L'importanza della partecipazione al progetto risiede non tanto nel ritorno economico ma piuttosto nel prestigio che ENEA contribuisca alla stesura delle raccomandazioni tecniche europee che, una volta approvate dagli esperti nazionali di tutti i paesi della Unione Europea dell'art.31 del Trattato EURATOM, saranno diffuse a tutte le autorità nazionali competenti in termini di radioprotezione raccomandandone la implementazione nella pratica di radioprotezione in tutti i Paesi membri.

[1] European Commission: *Council Directive 96/29 EURATOM of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against dangers arising from ionizing radiation*. Official Journal No L 159, p 1-114 (29/06/1996).

[2] International Commission for Radiologial Protection. Annals of ICRP: Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Elsevier (2007)

PREPARAZIONE DELL'EURADOS/IAEA ADVANCED TRAINING COURSE SU DOSIMETRIA INTERNA

Carlo M. Castellani, Andrea Luciani
ENEA – BAS ION - Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Nell'ambito del 6° Programma Quadro della Comunità Europea per l'Energia Atomica (EURATOM) è stato finanziato un progetto nella forma di "Coordination Action" per sostenere il network di eccellenza finalizzato alla dosimetria delle radiazioni ionizzanti (Progetto CONRAD: A Coordinated Network for Radiation Dosimetry). Le attività di dosimetria interna a cui ha partecipato l'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA sono state svolte all'interno del pacchetto di attività (Work Package WP) WP5 : "Internal Dosimetry" coordinato da M.A. Lopez del Centro di Ricerche del CIEMAT (Spagna). Al termine e a completamento delle attività, è stato organizzato un Training Course avanzato sulle metodologie di valutazione di dose con lo scopo di promuovere l'uso delle linee guida IDEAS e disseminare le competenze raggiunte durante il WP5 di CONRAD.

2. Preparazione complessiva

Le attività sono iniziate con la presentazione del corso nel meeting del WP5 di CONRAD in Atene nell'Ottobre 2007. Alla proposta EURADOS si è affiancata la organizzazione IAEA per quento attiene la formazione avanzata in dosimetria interna per quei paesi europei che rientravano nel progetto di Cooperazione Tecnica IAEA numero RER/9/089. Il supporto da parte dell'Agenzia si concretizzava nel sostegno finanziario complessivo a due docenti , al pagamento della quota di iscrizione per i propri iscritti ed al processo di selezione dei candidati eligibili di supporto finanziario da parte dell'Agenzia sulla base del prerequisito indispensabile di aver già partecipato ad un corso base IAEA di dosimetria interna.
Già da allora erano ben chiare le finalità principali che avrebbe dovuto avere il corso: Disseminazione dei risultati del Work Package 5 Internal dosimetry di CONRAD e addestramento pratico sulle linee guida IDEAS con lezioni teoriche, esempi a cura dei docenti, esercizi da parte dei discenti, per terminare con alcuni esercizi lasciati ai partecipanti, con revisione successiva tra il penultimo e l'ultimo giorno di corso. L'uso del laptop personale durante il corso e la conoscenza dei normali fogli di calcolo erano pertanto vincolo e prerequisito imprescindibile.
La struttura generale del corso è stata concordata al meeting di Parigi il 22 Gennaio 2008. Essa prevedeva oltre a quento indicato in precedenza anche la possibilità di dimostrazione dei software attualmente disponibili per la valutazione di dose interna sulla base delle linee guida IDEAS: in particolare si trattava di permettere la presentazione, la dimostrazione e l'uso dei tre software IDEA-System, IMBA e AIDE.
Nel meeting di Monaco del Marzo 2008 si sono fissati il periodo del corso e la sede : 2-6 Febbraio 2009 presso la Università Tecnica Ceca a Praga. La settimana scelta era relativa alla disponibilità della sede universitaria libera in quel periodo da lezioni ed esami. La struttura di formazione era stata scelta in quanto pienamente rispondente alle esigenze di insegnamento per quanto attiene ala capienza delle aule e alla presenza di facilities adatte per le presentazioni (proiettori) e l'uso e la connessione a internet dei computer. Si sarebbe valutata la possibilità di avere un supporto web importante nelle diverse fasi della formazione.
In quella sede furono assegnati i compiti relativi ai vari docenti per le lezioni teoriche. La struttura delle esercitazioni fu concordata con i diversi docenti anche sulla base della esperienza maturata in Italia dagli scriventi in un precedente corso effettuato nel Novembre 2007 presso l'ENEA Casaccia in Italia.
Il sito web del corso da parte del CTU di Praga (http://www.fjfi.cvut.cz/kdaiz/amida/index.html) fu operativo dal Luglio 2008 con l'annuncio ufficiale del corso ed il dettaglio dei prerequisiti necessari per la partecipazione ad esso. Attraverso il sito era possibile effettuare la pre-registrazione dei partecipanti on-line dal 1 ° Settembre al 31 Ottobre 2008. A quanti effettuavano il pagamento della quota di iscrizione nei tempi stabiliti è stata data la possibilità di scaricare da una pagina sottoposta a password (http://behounek.fjfi.cvut.cz/login/index.php?lang=en_utf8) la pubblicazione delle linee guida, i fogli di calcolo da usare durante le esercitazioni del corso ed i programmi di installazione dei software demo da installare sui laptop dei partecipanti, prima dell'inizio del corso stesso.

Nel meeting di Karlsruhe del 16 Ottobre 2008 furono concordati gli ultimi particolari relativi alle varie presentazioni ed esercizi La pre-registrazione dei partecipanti indicava già l'autosostentamento del corso

tramite le quote di partecipazione in quanto 24 persone si erano già pre-registrate da parte EURADOS. In seguito venivano ad essere aggiunti 17 partecipanti da parte IAEA, selezionati sulla base delle loro conoscenze preventive.

3. Risultati ottenuti prima del Corso

Nella fase finale dell'anno sono stati resi disponibili, mediante il sito dedicato, documenti la cui realizzazione è stata dai diversi docenti entro la fine del 2008. Essi riguardavano

- File Excel aventi struttura stabilizzata, ma con celle vuote, per effettuare esempi ed esercizi durante il corso.
- Relativi file Excel contenenti la soluzione (celle riempite con i valori corretti) degli esempi e degli esercizi realizzati da parte dei docenti. I file corretti saranno introdotti nel CD-ROM finale del corso.
- Linee guida IDEAS in formato elettronico
- Workbook (libretto di lavoro) da usarsi durante il corso con la descrizione di tutti i casi di studio e presentazione dei diversi flow chart.

Relativamente alle ultime fasi di preparazione e allo svolgimento del corso renderemo nota con il prossimo opuscolo IRP relativo al 2009.

Il risultato più importante durante il 2008 è stato quello del coordinamento che l'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA ha effettuato attraverso due suoi membri, delle attività di preparazione dei diversi esperti di dosimetria interna con il comune scopo di approntare un corso di training all'avanguardia per mezzi utilizzati, software disponibile, informazioni aggiornate su nuovi modelli biocinetici, metodologie armonizzate di valutazione di dose.

EUTERP PLATFORM: ARMONIZZAZIONE E RICONOSCIMENTO DEGLI ESPERTI DI RADIOPROTEZIONE IN AMBITO EUROPEO 2°ANNO

Andrea Luciani
ENEA – BAS - ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

La piattaforma EUTERP [1], finanziata dalla Commissione Europea per l'armonizzazione dei sistemi e delle metodologie di formazione e training degli esperti di radioprotezione, è giunta al secondo anno di attività. Insieme ai vari *stakeholders* nazionali, coinvolti come regolatori, educatori o fruitori delle attività degli esperti di radioprotezione (RPE) (esperti qualificati nella legislazione italiana), l'Istituto di Radioprotezione porta il proprio contributo, sia sulla base dei risultati ottenuti partecipando al progetto ENETRAP [2], che attraverso un proprio ricercatore che agisce come National Contact Point per le attività di contatto, raccolta e disseminazione delle informazioni in ambito italiano.

2. Raccomandazioni alla Commissione Europea

Nei giorni 23-25 Aprile 2008 si è tenuto a Vilnius, in Lituania, il secondo workshop della piattaforma EUTERP. I lavori si svolti suddividendo la platea dei partecipanti in 4 gruppi di lavoro, ognuno con un preciso compito da assolvere. Il National Contact Point italiano ha coordinato i lavori del gruppo 4: "*Recognition requirements and methodology for RPE*s".

Il workshop ha elaborato 9 raccomandazioni per la Commissione Europea, presente ai lavori mediante due osservatori del Direttorato Generale 'TREN.H.4 - Radiation Protection Unit', in prospettiva della prossima emanazione della Basic Safety Standard fra cui:

1. Maggiore accuratezza nella definizione di Esperto Qualificato, poiché quella correntemente adottata dalla Commissione Europea ha lasciato un'eccessiva discrezionalità nell'implementazione nei sistemi legislativi nazionali;
2. Maggiore enfasi della funzione di consulenza nella prossima definizione di RPE (*advicer*);
3. Introduzione della figura del RPO (Radiation Protection Officer) con mansioni più strettamente esecutive al fine di visionare il rispetto dei vincoli e standard vigenti (*supervisor*);
4. Delimitazione delle funzioni e attività di consulenza e supervisione del RPE e del RPO;
5. Livelli minimi di formazione accademica, training, esperienza lavorativa per le funzioni di *advicer* and *supervisor* del RPE e del RPO;
6. Adozione di un European Reference Training Programme (ERTP) utile per un corretto confronto dei programmi di training vigenti nei vari paesi europei;
7. Individuazione di un sistema di riconoscimento ufficiale del RPE; esso deve avere una durata limitata nel tempo e deve prevedere un sistema di punti tipo ECM (Educazione Continua in Medicina);
8. Formulazione di un insieme minimo di competenze e conoscenze che il training per i lavoratori esposti per motivi professionali deve essere in grado di fornire agli stessi;
9. Necessità di un riconoscimento ufficiale dei centri che forniscono il training per i RPE.

3. Risultati e Conclusioni

Le raccomandazioni formulate nel corso dell'ultimo workshop sono attualmente al vaglio della Commissione Europea. Nel corso del prossimo workshop della piattaforma EUTERP, previsto nella primavera del 2009, verranno ricevute le reazioni della commissione stessa a queste raccomandazioni.
E' infine interessante osservare che l'European Reference Training Programme (ERTP), relativo alla raccomandazione n° 6, sarà oggetto di uno specifico progetto che ha ottenuto il finanziamento della comunità Europea e al quale parteciperà l'Istituto di Radioprotezione.

[1] EUTERP Platform: EUropean Platform on Training and Education in Radiation Protection. http://www.euterp.eu

PROPOSTA DI UN MODELLO BIOCINETICO PER TERAPIE DI DECORPORAZIONE CON DTPA: L'APPROCCIO CONRAD

Andrea Luciani
ENEA – BAS - ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Nell'ambito del Work Package 5.2 del progetto CONRAD a cui ha partecipato l'Istituto di Radioprotezione, è stato avviato lo sviluppo di un modello generale che descriva la biocinetica del DTPA (acido di-etilentriaminopentacetico) in associazione alla biocinetica del plutonio. La biocinetica di tale agente chelante è di primaria importanza poiché viene somministrato a soggetti con elevate contaminazioni interne da Plutonio per aumentare la decorporazione (tipicamente per via urinaria) del radionuclide, riducendo così la dose assorbita dal soggetto.

2. Modello del DTPA *free*

Sulla base dei dati raccolti in occasione delle sperimentazioni effettuate nel corso degli anni '80 su soggetti umani sottoposti ad inalazione o iniezione di DTPA [1], è stato sviluppato un semplice modello compartimentale per la molecola del DTPA *free*, ossia non legata al Plutonio come nel caso della terapia di decorporazione (Figura 1). Il DTPA iniettato si trasferisce alla vescica urinaria (*bladder*) e all'interstizio (*interstitium*) da cui ritorna al sangue (*blood*) direttamente o attraverso i linfonodi (*lymph*). Il modello è in grado di ben descrivere tutti i dati relativi al DTPA free, sia nel sangue (Figura 2) che nelle urine.

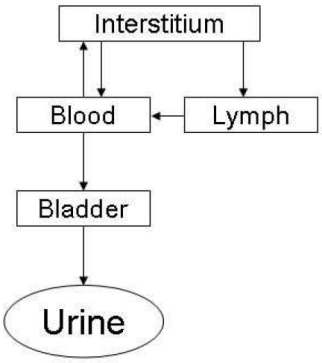


Figura 1: Modello biocinetico del DTPA *free*.

3. Modello del DTPA *complexed*

L'accoppiamento del modello proposto per il DTPA *free* con i modelli correnti per la biocinetica del Plutonio è ancora oggetto di studio. Preliminarmente è stato già ipotizzato un possibile accoppiamento fra i due modelli biocinetici (DTPA *free* e Plutonio) ed una semplificazione matematica che permettesse di rappresentare la formazione del composto DTPA-Pu all'interno dei modelli biocinetici [2]. Il modello è attualmente in fase di sviluppo e pubblicazione.

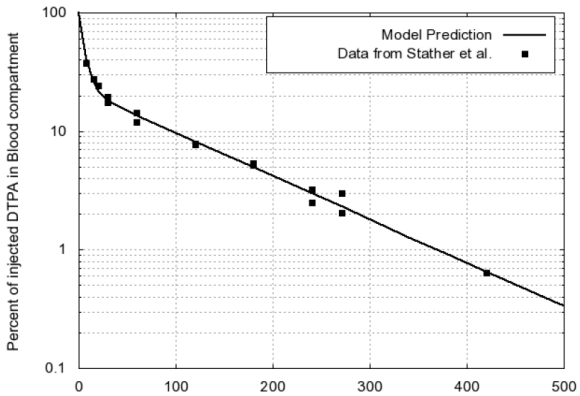


Figura 2: Misure di DTPA *free* nel sangue e previsioni del modello

4. Conclusioni

Gli studi prospettano la possibilità di avere a breve un generale modello per la terapia di decontaminazione del Plutonio con DTPA. Questo permetterà di ottimizzare le terapie massimizzando la dose evitata e minimizzando la somministrazione di DTPA.

[1] Stather J.W., Smith H., Bailey M.R., Birchall A., Bulman R.A., Crawley F.E.W. *The retention of C14-labeled-DTPA in human volunteers after inhalaltion of intravenous-injection*. Health Phys. 22(6): 45-52; 1983.

[2] A. Luciani. *Studi preliminari per lo sviluppo di un modello biocinetico per le terapie di decorporazione in caso di contaminazione interna da plutonio*. In "Istituto di Radioprotezione – Anno 2007", Rapporto Tecnico Interno ENEA, RTI BAS-ION-IRP (2008) 7.

CONRAD WORK PACKAGE 5.1 E 5.2 : Fine attività

Carlo M. Castellani, Andrea Luciani
ENEA – BAS - ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Nell'ambito del 6° Programma Quadro della Comunità Europea per l'Energia Atomica (EURATOM) è stato finanziato un progetto nella forma di "Coordination Action" per sostenere il network di eccellenza finalizzato alla dosimetria delle radiazioni ionizzanti (Progetto CONRAD: A Coordinated Network for Radiation Dosimetry). Le attività di dosimetria interna a cui partecipa l'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA sono svolte all'interno del pacchetto di attività (Work Package WP) WP5 : "Internal Dosimetry" coordinato da M.A. Lopez del Centro di Ricerche del CIEMAT (Spagna). Le attività sono terminate nel Febbraio 2008 con la redazione del rapporto finale (in referenza)
Con il presente contributo si vuole dare conto delle attività effettuate nei seguenti work package:
5.1 Valutazione delle incertezze di misura per la valutazione di dose interna e aggiornamento delle linee guida IDEAS.
5.2 Studi sui nuovi modelli biocinetici proposti da ICRP e NCRP;

2. Riassunto

WP 5.1: *Valutazione delle incertezze di misura per la valutazione di dose interna*. Durante il Work Package: (i) è stata messa a punto una procedura per la valutazione del fattore di dispersione (Scattering Factor) utilizzando casi di studio reali; (ii) sono stati effettuati studi sulla incertezza della valutazione di dose e si sono comparati i metodi statistici per la valutazione di dose retrospettiva sia mediante approccio frequentista (classico) che con l'approccio Bayesiano; (iii) è stato reso operativo un sito web per la disseminazione dei risultati del progetto IDEAS. http://www.bologna.enea.it/attivita/ideas.html; (iv) è stata indicata una metodologie per la valutazione dell'AMAD effettivo; (v) sono state fornite indicazioni per la applicazione del modello della ferita NCRP 156 all'interno delle linee guida IDEAS dopo la valutazione di alcuni casi di studio.
WP 5.2: *Sviluppo, implementazione e assicurazione di qualità dei modelli biocinetici*. Punti principali del lavoro e risultati ottenuti: (i) implementazione del modello ICRP del tratto alimentare umano (HATM); (ii) implementazione del modello NCRP 156 per le ferite (per le 7 categorie di default si sono ricalcolati i coefficienti dei fit triesponenziale della ritenzione nella ferita); (iii) studio dei modelli della fase sistemica (calcoli sul modello del polonio e influenza del fattore di apporzionamento della distribuzione dell'attività nel fegato e nello scheletro per quanto attiene l'escrezione fecale dopo iniezione di plutonio: è stato osservato che l'escrezione fecale tra 1 e 100 giorni dopo l'introduzione è significativamente affetta da tale parametro); (iv) studi con radioisotopi stabili : Mo, Sr, Ru, Zr con proposta di nuovi modelli, fisiologicamente orientati; (v) elaborazione di un modello biocinetico per la terapia con DTPA fisiologicamente orientato .

3. Conclusioni

Le linee guida IDEAS sono state riviste per quanto attiene la valutazione dell'errore delle misure, la valutazione dell'AMAD effettivo ed il trattamento dei dati. Ulteriori lavoro è richiesto per elaborazione finale di una guida per quanto attiene alla applicazione del modello NCRP 156 ai casi reali. Gli studi sull'incertezza hanno permesso di investigare diversie assunzioni relativamente ai tempi di introduzione e di fornire indicazioni sull'incertezza sull'intake ad esse associata.
Nel corso degli studi sui modelli biocinetici si sono applicate procedure di assicurazione di qualità che hanno permesso di evidenziare imprecisioni presenti nei documenti fatti circolare in bozza su modelli recentemente resi disponibili ai valutatori di dose a livello internazionale. Questo lavoro ha mostrato l'importanza del collegamento in network di diverse istituzioni e diversi approcci computazionali per assicurare la corretta attuazione dei modelli e per discutere l'uso e le implicazioni dei modelli stessi.

[1] M. A Lopez, et al. , Final Report of CONRAD Work Package 5 Coordination of Research on Internal dosimetry. EC Project Num FP6-12684 EURATOM 2005 – 2008 CIEMAT Report Coleccion Documetos Ciemat, ISBN 978-84-7834-583-0 Feb. 2008.

CORSO ENETRAP "OCCUPATIONAL RADIATION PROTECTION: SPECIFICITIES OF WASTE MANAGEMENT AND DECOMMISSIONING"

Giorgia Iurlaro[1], Andrea Luciani[2]
1- ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Casaccia
2- ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Il corso "Occupational Radiation Protection: Specifities of Waste Management and Decommissioning" è stato uno dei corsi pilota per la formazione in radioprotezione ideata sulla base dei risultati del progetto europeo ENETRAP a cui l'Istituto di Radioprotezione ha partecipato dall'aprile 2005 al dicembre 2007. Nell'ambito delle attività IRP svolte nel Centro di Ricerca ENEA Casaccia la partecipazione al corso di un esperto qualificato ha avuto come principale scopo l'aggiornamento e training in radioprotezione, assicurando una formazione armonizzata a livello europeo.

2. Tematiche del corso

Gli argomenti trattati durante il corso spaziavano dalle più generiche informazioni di radioprotezione alla classificazione e condizionamento dei rifiuti radioattivi; sono state illustrate le modalità di monitoraggio dell'ambiente, oltre ai principi di funzionamento dei sistemi di ventilazione e filtrazione e un grande rilievo è stato dato alla pianificazione delle radioprotezione (valutazione della Dose Collettiva). Sono state esposte le generalità degli Organismi Internazionali di Radioprotezione: prima fra tutte la ICRP con le sue raccomandazioni nelle pratiche e negli interventi; la IAEA e le sue Safety Standars Series; oltre alle Basic Safety Standars adottate dalle organizzazioni FAO, ILO, PAHO e WHO [1].

3. Forschungszentrum Karlruhe nelle applicazioni della radioprotezione

Nel centro nucleare di Karlsruhe, in cui si è svolto il corso, dal 1980 le principali attività di ricerca sono nel campo nucleare; sono presenti numerosi impianti prototipo e infrastrutture nucleari per la radioprotezione, trattamento dei rifiuti e decontaminazione. E' stato possibile visitare gli impianti in fase di dismissione, i depositi di stoccaggio dei rifiuti e tutte le strutture complementari alla sicurezza in radioprotezione e sono state illustrate nel dettaglio l'organizzazione, la strategia e i diversi piani di Decommissioning dei reattori di Ricerca presenti nel centro.

Figura 1: Impianto in fase di Decommissionig.

Figura 2: Attrezzatura a supporto tecnico delle squadre per l'emergenza nucleare

Figura 3: Impianto di condizionamento dei rifiuti radioattivi.

3. Conclusioni

La riduzione del numero di esperti nell'ambito della radioprotezione insieme con la necessità di assicurare la protezione dei lavoratori, del pubblico e dell'ambiente sono le motivazioni primarie che hanno creato le condizioni per la realizzazione di un corso ENETRAP di educazione e training allo scopo di evitare il declino delle competenze e assicurare alti livelli di radioprotezione nel futuro a livello internazionale. La partecipazione a corsi internazionali consentono un approfondimento delle tematiche radioprotezionistiche garantendo nella maniera più immediata e diretta un confronto con strutture e impianti complessi che ben rappresentano il quadro internazionale europeo in cui l'Istituto di Radioprotezione dimostra di essere ben inserito come promotore e fruitore delle conoscenze comuni.

[1] Generalities for Radiation Protection and Radiation Protection Organisation –Ernst Warnecke(IAEA) - Training Course ENETRAP 2008

CONRAD WORK PACKAGE 4 "COMPUTATIONAL DOSIMETRY" : FINE ATTIVITÀ

Gianfranco Gualdrini
ENEA – BAS - ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Nell'ambito del 6° Programma Quadro della Comunità Europea per l'Energia Atomica (EURATOM) è stato finanziato un progetto nella forma di "Coordination Action" per sostenere il network di eccellenza finalizzato alla dosimetria delle radiazioni ionizzanti (Progetto CONRAD: A Coordinated Network for Radiation Dosimetry). Le attività di dosimetria computazionale sono state coordinate da G. Gualdrini di ENEA-IRP e hanno visto la loro conclusione con il Workshop di Bologna dell'Ottobre 2007. A seguire le diverse azioni di CONRAD sono state oggetto di un Workshop tenuto a Parigi nel Gennaio 2008 nel quale due presentazioni vertevano sulle attivita' di dosimetria computazionale.

2. Obiettivi raggiunti

In generale la Dosimetria computazionale ha svolto un ruolo trasversale, condividendo con gli altri Work Package di CONRAD alcune azioni di ricerca e di confronto.
In particolare una proficua collaborazione si è instaurata con il WP5: Internal Dosimetro, per un confronto sulla modellazione di misure in vivo di 241Am nel ginocchio. Tale studio ha richiesto la produzione presso il CIEMAT di un modello informatico Voxel di ginocchio intorno al quale sono stati posizionati i rivelatori al Hp Ge. La geometria dell'esperimento e' stata simulata e i risultati di calcolo confrontati con soddisfacente accordo con le misure. La partecipazione e' stata di circa 15 laboratori a livello internazionale (incluso Canada, Giappone e USA).
Inoltre si è svolta di concerto con il WP6: Complex Radiation Fields una campagna di misure neutroniche di spettro intorno al bunker di un acceleratore di ioni carbonio presso il GSI (Darmastandt). L'attività sperimentale e' stata supportata da calcoli Monte Carlo svolti da ricercatori del WP4.
Una collaborazione è stata infine svolta su tematiche di radiologia interventistica con il WP7: Medical Staff Dosimetro, avente lo scopo di caratterizzare le condizioni di esposizione di routine agli operatori riscontrate nel campo della diagnostica interventistica.

La parte principale del lavoro del WP4 è infine consistita nel promuovere un confronto internazionale su otto problemi, supportati da dati sperimentali, di cui si e' già parlato nella precedente edizione del libretto IRP.
La iniziativa ha visto la partecipazione di alcune decine di laboratori e il Workshop finale ha avuto notevole successo. Gli atti sono sti pubblicati e possono essere ottenuti ad un prezzo molto contenuto alla Segreteria EURADOS (office@eurados.org).

3. Conclusioni

Le metodiche di calcolo stanno sempre piu' giocando un ruolo chiave a fianco della attività sperimentale nel campo della dosimetria delle radiazioni ionizzanti. Iniziative volte a qualificare l'impiego rigoroso dei codici di calcolo vengono periodicamente promosse dal Gruppo di Lavoro di Dosimetria Computazionale, che continuerà in questo anche dopo il termine della attivita' CONRAD (Marzo 2008).

NUOVE PROPOSTE EURADOS PER LA DOSIMETRIA COMPUTAZIONALE

Gianfranco Gualdrini
ENEA – BAS - ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Alla fine di marzo 2008 si è formalmente concluso il Contratto CONRAD, nel quale una azione era esplicitamente dedicata alla Dosimetria Computazionale. Nell'ultimo triennio una serie di ricercatori, membri del gruppo di lavoro da molti anni, hanno cessato la loro attività e quindi si è giustamente posto un problema di ricambio generazionale. Si è già svolta una prima riunione a fine Ottobre 2008 a Parigi presso il CEA per definire i campi di intervento per i futuri tre anni sotto l'egida di EURADOS.

2. Obiettivi di massima

E' prematuro al momento prevedere l'esatto svolgimento di tutti i punti che ci si è prefissi. Sarà sufficiente fornire un quadro complessivo, per dare un'idea di quali principali tematiche verranno trattare. Vista ancora una volta la varietà degli argomenti, che conferma il carattere di trasversalità della disciplina, ogni azione verrà coordinata da uno o piu' ricercatori di riferimento, che coordineranno il lavoro di circa quindici membri effettivi e circa venticinque membri corrispondenti.

1. Dosimetria Interna (coordinatore D. Broglio IRSN Fontenay aux Roses F). Lo studio in vivo sul ginocchio svolto in CONRAD verrà esteso alla dosimetria in vivo del polmone. Ci si propone di presentare i risultati in un workshop dedicato e su pubblicazioni nella letteratura internazionale.
2. Studio progettuale e dosimetrico di un LINAC (coordinatore L. de Carlan CEA Saclay F): Il laboratorio primario del CEA propone di studiare per vari step un LINAC Saturne 43, partendo dalla simulazione della testata per finire con il calcolo in modelli semplificate delle curve di dose. Il confronto sara' ristretto ad alcuni gruppi di riferimento in grado di dialogare fra loro in modo rapido ed efficace. E' prevista una indagine ad hoc sulle incertezze non stocastiche legate ai risultati.
3. Studio delle Incertezze (coordinatore B.R.L. Siebert consulente già dirigente di ricerca PTB Braunschweig D). Il tema e' totalmente trasversale ed include la misura ed il calcolo delle quantità metrologiche, lo studio dell'errore e della incertezza (che include i procedimenti di inferenza e le metodiche da applicare nel caso di conoscenza incompleta delle sorgenti di errore), processi di Markov, il Metodo Monte Carlo adattativo con riferimento ad applicazioni su sistemi dosimetrici non lineari. E' possibile pensare ad un evento formativo con applicazioni sulla progettazione del LINAC (punto 2)
4. Analisi sulle prestazioni dei codici di unfolding per spettrometria neutronica con sfere di Bonner (coordinatore J-Maria Gomez Ros CIEMAT Madrid E). Questa proposta, di particolare interesse, consisterà nel proporre una serie di conteggi per i diversi diametri delle sfere di Bonner impiegate nelle misure in campo neutronico e richiedere la ricostruzione dello spettro di "workplace" usando il proprio codice di unfolding. Sarà oggetto di studio anche la propagazione delle incertezze sui risultati di spettro. Il confronto sara' limitato agli autori dei codici o ad utenti esperti per raggiungere alcuni obiettivi base sulle limitazioni che ci si possono attendere nell'impiego pratico di tali metodiche di deconvoluzione.
5. Micro e Nano-dosimetria (coordinatore S. Rollet ARC Seibersdorf A) Questo tipo di tematica è cruciale per la dosimetria perché in essa si formula il solo approccio corretto e rigoroso alla definizione e valutazione di dose, finalizzata al danno. I concetti di macrodosimetria, su cui si basano la grande maggioranza dei codici Monte Carlo in uso, risentono di una approssimazione su organi di larga scala. Scendendo al livello cellulare o del DNA il trasporto deve essere trattato in modo radicalmente diverso (ad esempio per le particelle cariche la teoria del CSDA fallisce e vanno trattate le singole interazioni). Su queste tematiche si è costituito un gruppo con l'intenzione di accoppiare alle simulazioni, misure con nano-dosimetri attualmente in via di sviluppo ad es presso LNL-INFN Padova. Un Workshop o una Scuola tematica concluderanno l'azione.
6. Fantocci Voxel (coordinatore M. Zankl Helmholtz Zentrum Monaco D) Il ricorso a modelli umani Voxel (pixel 3-D da TAC o RM) ricopre un ruolo sempre piu' importante non solo in radiodiagnostica ed in radioterapia, ma anche in dosimetria per radioprotezione. Le attivita' di DOCAL associate a ICRP Comitato 2 lo dimostrano chiaramente. E' imminente la pubblicazione di

nuovi coefficienti di conversione e funzioni di trasferimento per esposizione esterna ed interna basati sui due modelli umani di riferimento REX e REGINA. E' presente una notevole esigenza formativa nel campo della costruzione di modelli di questo genere basata su diverse fasi: 1-acquisizione dei dat "raw" 2- Elaborazione dei dati con algoritmi di filtraggio o altri per risalire dai livelli di grigio ai materiali presenti nel modelli (segmentazione) 3- Definizione dei contorni degli organi (operazione in genere manuale) 4- Inserimento del modello in un codice Monte Carlo.

7. E' intenzione proporre ai ricercatori europei una manifestazione di tipo formativo su questi temi, corredata da tutorials tematici.
8. Dosimetria personale in termini di Hp (coordinatori J-M Bordy CEA Saclay F e G. Gualdrini ENEA Bologna I) Da lungo tempo sono state introdotte le grandezze dosimetriche operazionali, ma il loro impiego, soprattutto ai fini della progettazione e type test di dosimetri personali, necessita ancora di attività formativa, che parta dalle quantità fisiche misurabili per finire con i parametri necessari alla progettazione (funzione risposta su fantoccio e suo confronto con la grandezza operazionale di riferimento), in gran parte determinati con modellazione Monte Carlo. Una scuola verrà proposta per affrontare ogni passo di questa complessa procedura di progettazione e type test dei dosimetri personali nei termini delle quantità operazionali, complementando gli esperimenti con le necessarie nozioni di base legate alle simulazioni Monte Carlo.
9. Alte Energie ((coordinatore H. Vincke CERN Geneva S) Le capacità di modellazione Monte Carlo nel range delle alte energie è particolarmente importante nel momento attuale in quanto legato alla radioprotezione sia intorno agli impianti di accelerazione di particelle sia nei campi dei voli aerei e delle spedizioni spaziali. Nello svolgersi delle attività EURADOS si stabiliranno contatti con il Gruppo di Lavoro sui Complex Fields (Coord. Bottolier-Depois IRSN Fontenay aux Roses F) su progetti mirati.

3. Conclusioni

Le nuove proposte EURADOS-WP4 "Computational Dosimetry" hanno lo scopo di coinvolgere un largo numero di ricercatori e di costituire una base multidisciplinare di collaborazione fra istituti europei impegnati nel campo.

ORAMED-WP1 – RADIOPROTEZIONE DELLO STAFF MEDICO IN RADIOLOGIA INTERVENTISTICA – SIMULAZIONI MONTE CARLO

Paolo Ferrari, Gianfranco Gualdrini
ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Il Work Packge 1 del contratto ORAMED (Optimization of RAdiation protecion of MEDical staff) è indirizzato alla valutazione delle dosi alle estremità (mani, avambracci, gambe e cristallino) degli operatori dello staff medico impegnato in procedure di radiologia interventistica. Tali pratiche sono caratterizzate da un livello di dose più elevato, rispetto alle altri pratiche di diagnostica RX, sia per il paziente sia per l'operatore. Il contributo di ENEA-IRP si è caratterizzato, data l'esperienza in tale campo, nel supportare tutta la parte di simulazione numerica prevista nel work package e tutt'ora in corso (dato che il contratto, finanziato nell'ambito di FP7-EURATOM dalla UE si chiuderà solo all'inizio del 2011)

2. Costruzione di modelli numerici antropomorfi

Alle misure in campo previste si è deciso di accoppiare una serie di simulazioni in grado di riprodurre, nella maniera più accurata possibile, lo scenario di irraggiamento. Per tale motivo il modello di tipo MIRD è stato sdoppiato e modificato nella zona del tronco, in modo da consentire la ricostruzione delle braccia del cardiologo e il loro posizionamento sull'arteria femorale paziente. Una serie di roto-traslazioni applicate alle geometrie hanno reso possibile simulare correttamente il reciproco posizionamento di paziente e medico e a quest'ultimo è stato aggiunto il camice, di opportuno spessore di Pb equivalente, e il collare tiroideo, in modo da simulare correttamente la protezione individuale dello staff (vedi figura 1). L'impiego di tecniche di riduzione della varianza (con collisione forzata nelle regioni di interesse) consente di velocizzare la stima della dose nelle regioni caratterizzanti le estremità.

3. Sensitivity analysis su modelli semplificati

Uno degli obiettivi del working package è valutare le differenti condizioni di impiego dell'apparecchiatura medicale in relazione alla qualità del fascio, alle differenti filtrazioni, alle schermature presenti, in modo da poter definire una serie di linee guida di buona pratica. Questo ha generato la necessità di valutare la dose alle estremità per un numero molto elevato di casi (oltre 3000) che renderebbe l'analisi con i modelli antropomorfi molto lunga. Per tale motivo si è deciso di eseguire una sensitivity analiys impiegando dei modelli semplificati (slab e cilindro) riconducibili ai modelli antropomorfi tramite opportuni fattori correttivi (vedi figura 2 e 3). L'analisi di sensitività è tutt'ora in corso..

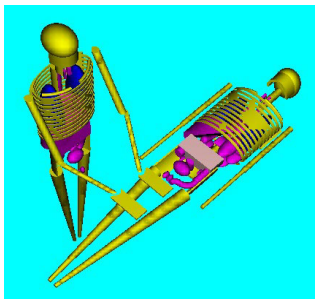


Figura 1: scenario con modelli antropomorfi

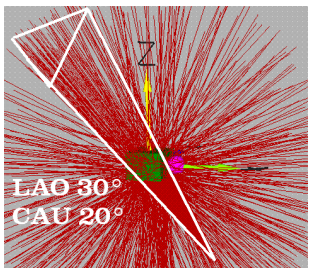


Figura 2: esempio di schema di irraggiamento

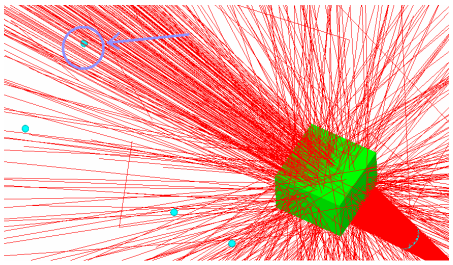


Figura 3: esempio di irraggiamento su modello semplificato con detectors

4. Conclusioni

La competenza di ENEA-IRP nelle simulazioni numeriche ha consentito all'Istituto di prendere parte a questo work-package con in una posizione di prima linea. I dati delle misure verranno presentati alle prossime conferenze di fisica medica (WC2009) e di individual monitoring (IM2010) e, una volta terminata l'analisi di sensitività, si prevede di documentarla opportunamente attraverso un serie di pubblicazioni su rivista e partecipazioni a congressi oltre che alla diffusione dei risultati nella comunità scientifica di riferimento.

[1] ORAMED: Optimization of RAdiation protecion of MEDical staff http://www.oramed-fp7.eu/

PROGETTO ORAMED: DOSIMETRIA DEL CRISTALLINO

Francesca Mariotti, Gianfranco Gualdrini
ENEA – BAS - ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

ORAMED (Optimization of RAdiation protection for MEDical staff-Grant Agreement 211361, Bruxelles 2008) è un progetto, finanziato dall'Unione Europea all'interno del settimo programma quadro (7°PQ), che mira a sviluppare nuove metodologie per meglio valutare e ridurre le esposizioni del personale medico impiegato in radiologia interventistica e medicina nucleare. In particolar modo il *Work Package 2: Eye Lens Dosimetry* si prefigge lo scopo di rivedere l'approccio sia teorico sia applicativo (implementazione nella pratica operativa) della Grandezza Operativa $H_p(3)$ attraverso un accurato studio modellistico. Su tale studio si basa la messa a punto di un prototipo di un dosimetro personale, sviluppato dalla Ditta polacca Radcard, con caratteristiche appropriate per rispondere in modo ottimale nei termini della grandezza $H_p(3)$.

2. Simulazioni e misure

La situazione ufficiale attuale prevede la definizione della grandezza operativa, ma non sono presenti i rispettivi coefficienti di conversione nei documenti ICRP74 e ICRU57. Fino ad ora sono stati prodotti coefficienti in un rapporto del GSF di Monaco (ora Helmoltz Center) [1] ottenuti su uno slab 30x30x15 cm^3. E' stata poi svolta una ricerca presso ENEA IRP [2] introducendo un fantoccio teorico (ed il corrispondente di calibrazione) di forma ridotta (20x20x15 cm^3) per il quale sono stati calcolati i coefficienti di conversione ed i fattori di retrodiffusione per la serie ISO Narrow Spectrum Series.
La ricerca condotta nell'ambito di ORAMED introduce un'ulteriore proposta di fantoccio (di tipo cilindrico a sezione quadrata 20x20 cm^2). Lo scopo è quello di simulare con una semplice geometria (con facilità di costruzione del fantoccio per le calibrazioni) la testa umana e di evitare la presenza di spigoli, che introducono effetti non fisici nel calcolo dei coefficienti di conversione in funzione dell'angolo di incidenza della radiazione. E' stato prodotto un set completo di coefficienti di conversione da kerma in aria ad $H_p(3)$ (Fig. 1) e di fattori di retrodiffusione in kerma dal fantoccio pratico. Parallelamente sono state effettuate misure con camera a ionizzazione TK30 dei fattori di retrodiffusione ottenendo un ottimo accordo con le simulazioni (Fig. 2).
Allo stesso tempo la Ditta Radcard sta mettendo a punto un prototipo di dosimetro personale per $H_p(3)$.

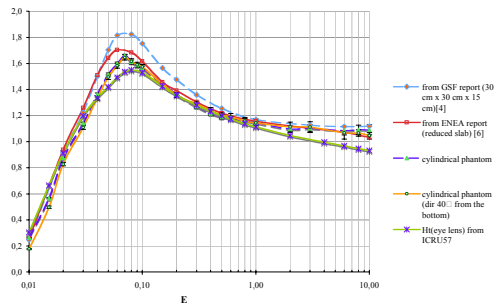


Figura 1: Coefficienti di conversione $H_p(3,0°)/ka$.

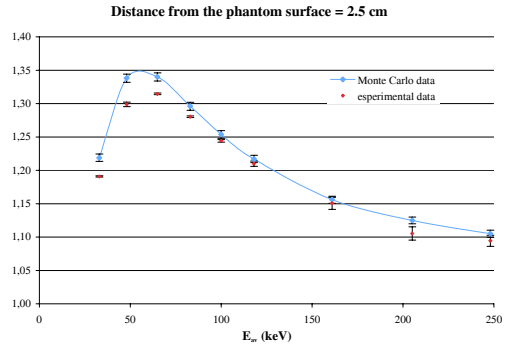


Figura 2: Coefficienti di retrodiffusione.

3. Conclusioni

Il progetto ORAMED si trova a circa un terzo del suo svolgimento ed ha per ora portato ad alcuni importanti risultati

[1] Till, E., Zankl, M., Drexler, G., *Angular dependence of depth doses in a tissue slab irradiated with monoenergetic photons.* Neuherberg, Germany: GSF-National Research Centre for the Environment and Health; GSF-bericht 27/95 (1995).

[2] Ferrari, P., Gualdrini, G., Bedogni, R., Fantuzzi, E., Monteventi, F., Morelli, B., *Eye-Lens Dosimetry. A Critical Discussion on Hp(3) Operational Quantity*, ISSN/0393-3016, RT/2005/ION.

ATTIVITA' DI RICERCA, SVILUPPO E QUALIFICAZIONE

EFFETTO BYSTANDER RADIO-INDOTTO MEDIANTE TRASFERIMENTO DI TERRENO E CO-COLTURE SU CHERATINOCITI UMANI HACAT

Maria Balduzzi[1], Silvia Paradisi[2], Andrea Matteucci[2], Anna Giovanetti[3]
1- ENEA – BAS BIOTECMED, Casaccia
2- ISS – Dipartimento di biologia celllulare e neuroscienze, Roma
3- ENEA – BAS ION - Istituto di Radioprotezione, Casaccia

1. Premessa

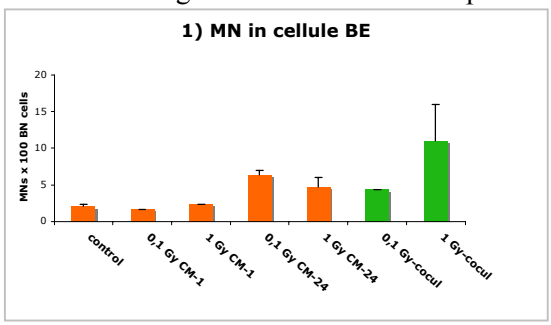
Numerosi studi hanno dimostrato che cellule in contatto con le cellule irraggiate possono esprimere mutazioni e aberrazioni cromosomiche: *bystander effect* (BE). L'obiettivo del presente studio è stato quello di verificare la presenza di BE in cheratinociti umani, HaCat co-coltivate con cellule irraggiate con 0.1-5.0 Gy di raggi γ o trattate con il loro terreno. Sono stati analizzati *end points* associati con la instabilità genomica radio-indotta: clonogenicità, induzione di micronuclei (MN), formazione di rotture cromosomiche-DSB (citofluorimetria con γH2AX e Comet assay), apoptosi (citofluorimetria e microscopia)

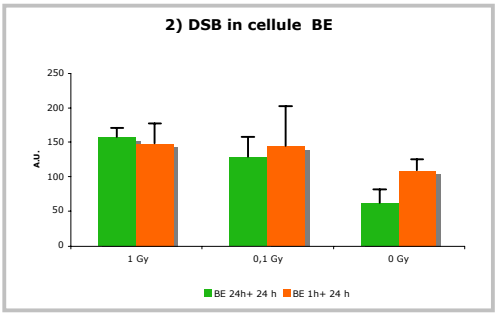
2. Risultati

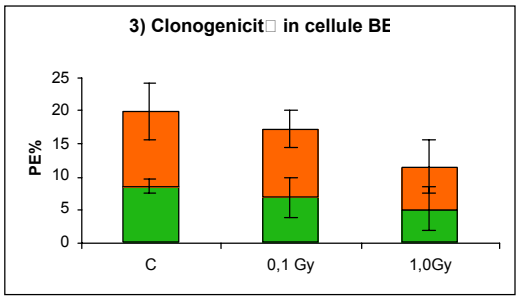
Il terreno condizionato dopo 0,1 Gy per 24 h ha indotto un aumento dei MN (Fig 1) e risultati contradditori per la clonogenicità, nessuna risposta significativa se condizionato per 1 h. Il terreno condizionato per 24 h dopo 1 Gy induceva un significativo aumento dei MN e riduzione della clonogenicità (Fig 3). Per nessuno dei punti sperimentali è stato osservato aumento DSB con γH2AX mentre con il Comet assay le DSB aumentavano 4 h dopo il trattamento con il terreno da cellule 0,1 e 1 Gy (Fig 2). Non sono state osservate apoptosi. Per lo co-colture le cellule BE mostravano un aumento dei MN paragonabilea quello delle cellule irraggiate direttamente e un leggero aumento della clonogenicità rispetto ai controlli (Figg 1 e 4).

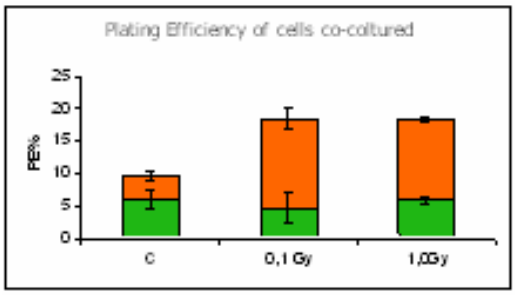
3. Conclusioni

Lo studio ha mostrato la complessità della risposta BE anche utilizzando la stessa linea cellulare. La stimolazione della clonogenicità nelle co-colture potrebbe essere dovuta all'induzione del effetto adattativo.









Colonie piccole >32 cellule ■ Colonie grandi ■

M. Balduzzi, S. Paradisi, A. Matteucci A. Giovanetti: Radiation-induced bystander response of the human epithelial cell line hacat by using medium transfer and co-culture conditions. 7Th International Meeting on the Effects of Low Doses of Radiation in Biological Systems: New Perspectives on Human Exposure LOWRAD LOWRAD 2008 LISBON, November 27-29, 2008

VALUTAZIONE DEL RUOLO DEI RAFT DI MEMBRANA NELLA TRASMISSIONE DEL SEGNALE BYSTANDER RADIO-INDOTTO.

Anna Giovanetti [1] **Stefano Rufini**[2]
1- ENEA – BAS ION - Istituto di Radioprotezione, Casaccia
2- Università di Roma Tor Vergata – Dipartimento di Biologia, Roma

1. Premessa.

Il bystander effect (BE) definisce la trasmissione di un danno genetico a cellule non direttamente irraggiate ma in contatto con le cellule irraggiate, alla base del BE vi è la comunicazione tra cellule e con il micrombiente, in questo ambito si inserisce il nostro progetto teso alla comprensione del ruolo della membrana plasmatica nella generazione e nella trasduzione dei segnali BE. L'obiettivo del presente studio è stato quello di verificare gli effetti indotti dalla modulazione della stabilità dei rafts lipidici, microdomini della membrana plasmatica nei quali sono localizzate molte delle proteine implicate nella trasduzione del segnale, sulla trasmissione del BE interferendo su due componenti lipidici fondamentali al mantenimento della loro struttura: il colesterolo e i glicosfingolipidi.

2. Metodi

Cheratinociti umani stabilizzati (HaCaT) sono stati irraggiati con 0; 0,1; 1 Gy di raggi X. Successivamente il terreno delle cellule irraggiate è stato rimosso ed aggiunto a cellule non irraggiate e il danno genetico è stato valutato per mezzo del Comet assay. La sintesi dei glicosfingolipidi è stata bloccata per mezzo di un inibitore specifico dell'enzima glucosil ceramide sintasi (P4) nelle cellule irraggiate donatrici e/o nelle cellule recipienti. Dopo 1 h o 24 h il terreno delle cellule irraggiate (ICM) è stato filtrato (0,22 μm) e aggiunto alle cellule non irraggiate ed il danno genetico BE è stato misurato dopo 4 h o 24 h. In un'altra serie di esperimenti le cellule sono state deplete di colesterolo incubandole per 2 h prima dell'irraggiamento, con ciclodestrina.

3. Risultati e conclusioni

Le cellule irraggiate con 0.1 e 1 Gy mostrano un aumento progressivo del danno al DNA. La distruzione della struttura dei rafts non porta a variazioni significative al danno genetico indotto dalle radiazioni. Cellule non irraggiate trattate con ICM presentavano un aumento del danno di circa il 100% (effetto BE). La manipolazione lipidica con ciclodestrina (Fig 1) o P4 (Fig 2) portava all'abolizione dell'effetto BE, dimostrando un ruolo dei rafts nella induzione di questo fenomeno. I risultati finora ottenuti evidenziano che probabilmente è la distruzione dell'organizzazione in microdomini della membrana plasmatica a giocare un ruolo importante nell'induzione del BE. Sulla base di questi dati è possible ipotizzare una nuova strategia per l'approccio del danno radiologico indotto, basata sulla manipolazione dei rafts lipidici. Sono in programma ulteriori esperimenti per caratterizzare meglio l'effetto BE e per individuare la presenza nel terreno delle irraggiate di citochine di segnale.

Fig 1)

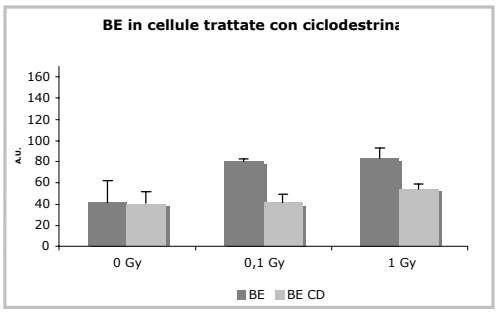
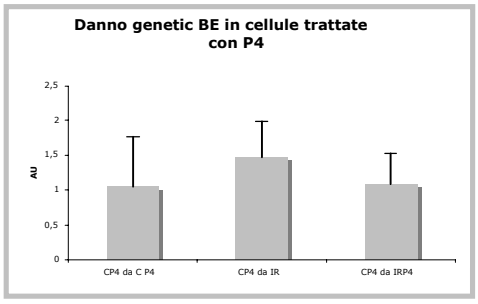


Fig 2)



USO DELL'ORGANISMO DI RIFERIMENTO PER IL SUOLO, *EISENIA FETIDA* PER VALUTARE IL BIOACCUMULO E GLI EFFETTI BIOLOGICI DELL'URANIO E DELL'URANIO DEPLETO.

Anna Giovanetti [1], Sergey Fesenko [2], Maria Letizia Cozzella[1], Lisbet Diaz Asencio [3], Umberto Sansone [2]
1- ENEA – BAS ION - Istituto di Radioprotezione, Casaccia
2- IAEA – Chemistry unit, Siebersdorf (Austria)
3- Borsista ENEA-RELINT Centro de Estudios Ambientales Cienfuegos (Cuba)

1- Premessa.

Parte integrante di un approccio sistematico nella radioprotezione ambientale è l'utilizzazione degli organismi di riferimento. L'oligochete *Eisenia fetida* costituisce uno dei principali organismi di riferimento del suolo. L'uranio (U) è presente nel suolo ad una concentrazione che varia tra 2 to 4 mg kg^{-1}mentre l'uranio depleto (DU) è un prodotto di scarto del processo di arricchimento dell'uranio. U e DU presentano la stessa tossicità chimica, mentre la radiotossicità dell'U è maggiore del 40% rispetto al DU. Recentemente è stato posto il problema degli effetti sulla salute e sull'ambiente dovuti alla contaminazione con il DU usato per scopi bellici. Presso i laboratori di radiobiologia dell'ENEA Casaccia è stato quindi condotto, in collaborazione con i laboratori dell'IAEA di Seibesdorf un programma di ricerca con l'obiettivo di valutare il bioaccumulo e gli effetti indotti da concentrazioni crescenti di U e DU nel suolo, utilizzando *Eisenia fetida*. I risultati ottenuti hanno mostrato che sia per U che per DU i fattori di bioconcentrazione, calcolati per 28 giorni di trattamento erano inferiori ai valori calcolati per 7 giorni, il contenuto di DU era maggiore del contenuto di U, la relazione concentrazione effetto non era lineare ma il fattore di tossicità era maggiore per U.

2. Sperimentazione 2008.

Sono stati trattati nuovi gruppi di vermi per capire i meccanismi alla base dei risultati: per misurare la concentrazione di uranio nei vari compartimenti corporei e per analizzare morfologicamente i tessuti, in particolare i cloragociti, sito di *storage* dell'uranio. Il tratto intestinale, che comprende i cloragociti, presentava la concentrazione maggiore di metallo (Fig 1). Le analisi istologiche hanno mostrato in queste cellule un danno maggiore indotto da U rispetto a DU (Fig 2). Lo studio ha dimostrato una tossicità maggiore per U rispetto a DU. Anche il minore bioaccumulo di U potrebbe essere dovuto ad una perdita a causa del danneggiamento dei cloragociti. La spiegazione, da confermare, potrebbe essere la maggiore attività radiologica di U.

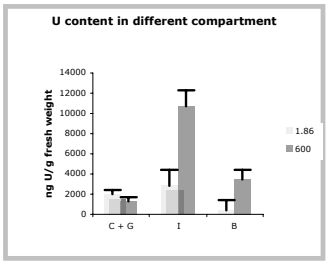


Fig 1. Contenuto di U (ng U/g peso umido) in gozzo e ventriglio (C+G), intestino (I) and resto del corpo (B) in vermin mantenuti per 7 d in suolo di controllo (1,86 mg U/Kg soil) o suolo contenente 600 mg U/Kg soil.

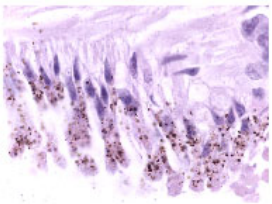
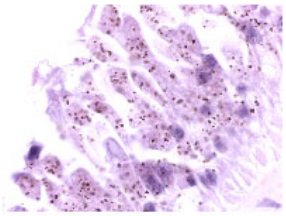
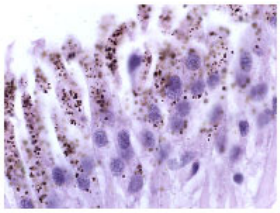


Fig 2. a) 300 mg DU/Kg soil 100x



b) 300 mg U/Kg soil 7d 100x



c) 1,86 mg U/Kg soil 7d 100x 7d 100x

STATO DELL'ARTE SULLA VALIDITÀ DEI MODELLI PRECLINICI NEGLI STUDI BIOCINETICI E DOSIMETRICI

Sandro Ridone, Dolores Arginelli
ENEA – BAS-ION Istituto di Radioprotezione, Saluggia

1. Premessa

Durante il Working Group Meeting della COST Action BM0607 "Targeted Radionuclide Therapy", tenutosi a Cracovia nel Giugno 2008, il gruppo di lavoro di "Dosimetry and Radiobiology" ha espresso l'esigenza di verificare quale fosse lo stato dell'arte sull'aderenza dei modelli preclinici animali rispetto all'organismo umano negli studi e nelle valutazioni di dosimetria interna in medicina nucleare. Ne è nata una revisione della letteratura scientifica sull'argomento dell'impiego di tali modelli con lo scopo di formulare una riflessione sull'impiego dei modelli non umani sulla cinetica dei radionuclidi in genere nell'uomo.

2. Stato dell'arte

Generalmente negli studi animali il composto di interesse è somministrato ad una coorte di animali, successivamente sacrificati, e l'attività negli organi è stimata tramite misure di conteggio. Attualmente esistono anche tecniche di conteggio *in vivo*, impiegabili per alcuni radionuclidi, grazie alla realizzazione di apparecchiature per micro-PET e micro-SPECT. Secondo M.G. Stabin l'estrapolazione all'uomo dei dati ottenuti con modelli animali non è una scienza esatta ed esistono diversi metodi per correlare le informazioni tra due specie diverse. Una tecnica largamente usata prevede di riportare in una formula correttiva gli organi animali, come percentuale dell'attività iniettata (ID) per grammo di tessuto, e il peso totale del corpo intero:

$$(\%ID/organo)_{uomo} = [(\%ID/g_{organo})_{animale} * (kg_{corpo\ intero})_{animale}] *(g_{organo}/kg_{corpo\ intero})_{uomo}$$

Altri autori scelgono di considerare la scala dei tempi per tenere in considerazione le diversità metaboliche dovute alla differenza di massa corporea:

$$t_h = t_a * [m_h/m_a]^{0,25}$$

dove t_a è il tempo, in cui il sistema animale è stato misurato, t_h è il tempo corrispondente per il corpo umano, mentre m_a e m_h sono le masse del corpo intero, rispettivamente, dell'animale e dell'uomo. Una problematica relativa all'estrapolazione dei dati riguarda l'attività che dovrebbe essere attribuita al corpo, tolti gli organi di interesse: infatti se per i radionuclidi con una breve emivita si può assumere che l'attività residua, rispetto agli organi, sia uniformante distribuita ed eliminata solo per decadimento fisico, per i radioisotopi ad emivita più lunga bisogna considerare i meccanismi di escrezione, che possono essere diversi rispetto all'uomo. In questo caso è molto utile il conteggio diretto degli escreti o degli organi escretori (vescica e intestino). Tuttavia l'applicazione dei fattori correttivi nell'estrapolazione dei dati animali, secondo uno studio di Sparks e Aydogan, tende a sottostimare la dose agli organi umani. In realtà la problematica sollevata dal loro studio si inserisce nel dibattito su quanto gli organismi non umani rappresentino la biocinetica dell'uomo. Le differenze metaboliche, anatomiche, fisiologiche e biochimiche in un sistema o in un apparato, come il tratto grastrointestinale (G.I.), fondamentale per l'assorbimento dei radionuclidi per via orale, possono causare significative variazioni tra il modello animale e quello umano. Ad esempio, mentre animali piccoli (v. ratti, topi, conigli) rappresentano bene l'assorbimento di polveri o soluzioni, animali più grandi (v. cani, maiali e scimmie) si prestano per altri tipi di sostanze. Difficoltà si riscontrano anche negli studi sugli effetti dei radiofarmaci nelle terapie oncologiche, dal momento che non è semplice riprodurre nell'animale da esperimento (v. topo) la patologia umana; pertanto si impiegano modelli xenografici, in cui linee cellulari umane immortalizzate sono impiantate in roditori con il sistema immunitario modificato.

3. Conclusioni

Le caratteristiche biocinetiche dell' animale non sono perfettamente sovrapponibili a quelle dell' uomo e in generale una singola specie non umana non è sufficiente a mimare le caratteristiche di un certo sistema o apparato umano. Occorre, a nostro avviso, non solo scegliere il modello non umano più aderente alle esigenze dello studio preclinico, ma anche impiegare, laddove possibile, anche studi clinici su soggetti umani, poiché anche i modelli xenografici non garantiscono di rappresentare la reale condizione umana.

DETERMINAZIONE DEL PLUTONIO MEDIANTE ICP-MS A QUADRUPOLO NELL'URINA

Mario Montalto[1], Maria Letizia Cozzella[2], Dolores Arginelli[1], Sandro Ridone[1], Mauro Nocente[1]
1- ENEA – BAS-ION Istituto di Radioprotezione, Saluggia
2- ENEA – BAS-ION Istituto di Radioprotezione, Casaccia

1. Premessa

La misura diretta del ^{239}Pu nell'urina, diluita 15 volte con acqua ultrapura acidulata attraverso lo spettrometro di massa quadrupolare a plasma induttivamente accoppiato (Q-ICP-MS), ha uno scarso valore radioprotezionistico: la minima quantità rivelabile (Lqr) in queste condizioni è infatti di circa 36 pgL^{-1} (81.2 mBqL^{-1}). Per ridurre drasticamente il limite di rivelabilità è stata verificata sperimentalmente la possibilità di isolare il Pu dalla matrice, attraverso la metodica utilizzata nel nostro laboratorio per la spettrometria α.

2. Metodi e risultati

Sette campioni da 1 litro di urina, certamente non contaminata, sono stati addizionati di una quantità di ^{239}Pu standard compresa tra 5 e 8 pg (12÷18 mBq) e di ^{242}Pu compresa tra 85 e 110 pg (13÷16 mBq). Tutti i campioni sono stati mineralizzati a caldo con acido nitrico e successivamente il Pu è stato precipitato come fosfato. Dopo aver separato selettivamente il Pu dalla matrice mediante resina anionica forte, 4 campioni (1÷4) sono stati suddivisi in due parti uguali. Una metà è stata elettrodepositata su dischetto di acciaio inox per effettuare la misura mediante spettrometria α, mentre l'altra metà è stata solubilizzata in 5 mL di acqua ultrapura acidulata all'1% con HNO_3 ultrapuro ed analizzata con ICP-MS. I 3 campioni rimanenti , dopo la separazione del Pu, non stati suddivisi e sono stati analizzati soltanto con ICP-MS. La retta di calibrazione utilizzata nelle misure ICP-MS è stata costruita con soluzioni standard di ^{239}Pu e ^{242}Pu comprese rispettivamente tra 0.2÷2.5 pg mL^{-1} e 2÷25 pg mL^{-1}.

	Tracciante		ICP-MS		Spettrometria α		
Campione	^{242} Pu (pg)	Resa chim.	^{239} Pu (pg)	Scarto (%)	Resa chim.	^{239} Pu (pg)	Scarto (%)
1	55	86 %	8.1	- 5.2	78 %	7.6	+ 0.7
2	55	92 %	7.3	+ 4.4	88 %	7.8	- 2.4
3	55E	94 %	8.3	- 8.0	92 %	7.8	- 1.7
4	55E	82 %	7.2	+ 6.3	66 %	7.5	+2.4
5	87	90 %	6.3	- 8.9			
6	87	76 %	5.4	+ 6.6			
7	87	78 %	6.2	- 7.2			

Tabella 1:risultati sperimentali.

Nella Tabella 1 sono riportati i risultati ottenuti. La resa chimica è risultata mediamente maggiore per i campioni misurati con ICP-MS perché non è stata fatta l'elettrodeposizione. Questa operazione, infatti, può comportare una perdita di tracciante significativa come è risultato per il campione 4 per il quale la resa chimica è scesa di 16 punti percentuali. Gli scarti rispetto al valore atteso sono risultati compresi entro il ± 10%. L'incertezza del tracciante ^{239}Pu utilizzato è del 3%.

3. Conclusioni

Il lavoro sperimentale, appena iniziato, proseguirà dando particolare risalto alla definizione delle modalità operative atte a ridurre al minimo il volume in cui deve essere preparato il campione per la misura di spettrometria di massa, avendo l'obbiettivo di non superare 2÷3 mL. I risultati preliminari hanno evidenziato che è già possibile concentrare il campione di partenza di 200 volte abbassando l'Lqr a circa 0.2 pgL^{-1} (pari a 0.4 mBq di ^{239}Pu) e rendendo il metodo competitivo nei confronti della spettrometria gamma, per la valutazione della dose nell'uomo. Il passo successivo sarà quello di verificare la possibilità di ridurre ulteriormente il limite di sensibilità utilizzando speciali micro nebulizzatori che necessitano per l'analisi di 200÷300 µL min^{-1} di campione.

[1] C. Greis, S. Karlsson, A. Duker, H. Pettersson, B. Allard, "Determination of plutonium in environmental samples with quadrupole ICP-MS", J. Radioanal. Nucl. Chem., 2008, 275(1): 55-70.

DETERMINAZIONE DI ^{90}Sr IN MATRICI BIOLOGICHE E ALIMENTARI

Sandro Ridone, Dolores Arginelli, Sandro Bortoluzzi, Mario Montalto, Mauro Nocente
ENEA – BAS-ION- Istituto di Radioprotezione– Saluggia

1. Premessa

Lo stronzio è un metallo alcalino-terroso e, come tutti i membri della sua famiglia, è eccessivamente reattivo per essere trovato in natura allo stato nativo: ad esempio in acqua forma un idrossido, mentre a contatto con l'aria dà luogo alle specie ossido e nitrato. Oltre ad essere impiegato nell'industria per la realizzazione di materiali termoplastici e per la raffinazione, in particolare l'isotopo ^{90}Sr è un prodotto di fissione e si trova nell'ambiente in tracce come sottoporodotto delle esplosioni nucleari oppure come rifiuto nel combustibile degli impianti nucleari. Ha un'emivita di 28,90 anni e decade per emissione β (energia media pari a 195,8 keV ed energia di end-point pari a 546,0 keV) ed è pericoloso per la salute perché tende a sostituirsi al calcio nelle ossa. E' importante, quindi, monitorare la presenza di questo radionuclide nell'ambiente e nell'uomo.

2. Metodi e risultati

Abbiamo messo a punto una metodica di separazione dello ^{90}Sr da altri radionuclidi, che potesse essere applicata a diverse matrici, dopo che siano state opportunamente trattate per eliminare la parte organica. Il carrier impiegato è stato del nitrato di stronzio stabile, mentre l'estrazione è avvenuta mediante resina selettiva (Sr Resin^{TM} della TrisKem). Dopo aver atteso 15 giorni per il raggiungimento dell'equilibrio tra ^{90}Sr e ^{90}Y, i radionuclidi sono stati separati utilizzando lo stesso tipo di resina. Lo ^{90}Sr è stato infine depositato per precipitazione su un piattello di acciaio inox. L'attività è stata misurata con un contatore proporzionale di gas a multi-celle a flusso di gas Ar-CH_4, con un sistema ottimizzato per le letture a bassi valori di radioattività mediante schermatura passiva (piombo) e schermatura attiva costituita da rivelatore dello stesso tipo in anticoincidenza. La valutazione dell'attività di ^{90}Sr è stata effettuata con una serie ripetuta di misure per determinare la curva di decadimento del radionuclide figlio ^{90}Y. Dalla curva di interpolazione è stata calcolata la costante di decadimento, per verificare qualitativamente la reale presenza dello ^{90}Sr, e dal rateo di conteggio alla data della separazione Sr/Y siamo risaliti all'attività di ^{90}Sr presente nel campione. Questa tecnica radioanalitica è stata applicata a matrici sia biologiche (urine) sia alimentari (latte vaccino). I risultati conseguiti con gli interconfronti promossi nel 2008 dalla Rete ALMERA (Analytical Laboratories Monitoring Environmental Radioactivity) della IAEA sulla valutazione dell'attività di ^{90}Sr in una matrice di spinaci (Tabella 1) e dall'associazione PROCORAD (Association pour la Promotion du Contrôle de Qualité des Analyses de Biologie Médicale en Radiotoxicologie) su un campione di urina contaminata dallo stesso radionuclide (Tabella 2) ne hanno comprovato la validità.

Spinaci ALMERA 2008	
Attività ENEA – CR Saluggia (Bq/kg)	**Attività target (Bq/kg)**
18,8 ± 4,3	**20,1 ± 2,1**

Tabella 1: Valori di attività determinati sul campione di spinaci dell'interconfronto ALMERA 2008

Urine PROCORAD 2008		
Campione	**Attività ENEA – CR Saluggia (Bq/kg)**	**Attività target (Bq/kg)**
B	**6,06 ± 0,50**	**5,48 ± 0,16**
C	**6,56 ± 0,40**	**5,52 ± 0,17**

Tabella 2: Valori di attività determinati sui campioni di urina dell'interconfronto PROCORAD 2008

4. Conclusioni

La metodica radioanalitica da noi elaborata si è dimostra idonea per la determinazione della contaminazione nell'uomo e nell'ambiente da ^{90}Sr, come dimostrato dalla partecipazione all'interconfronto promosso dalla Rete ALMERA. I risultati conseguiti sulla misura dell'attività nei campioni di latte, prelevato da una cascina locale, ha confermato che la produzione agricola nell'area circostante il Centro Ricerche ENEA di Saluggia è sicuro dal punto di vista radiologico, nonostante la presenza dell'ex impianto EUREX (**E**nriched **UR**anium **EX**traction), nel cui combustile riprocessato sono contenuti molti prodotti di fissione tra cui lo ^{90}Sr.

ATTIVITÀ DI MISURA DI ATTINOIDI IN MATRICI BIOLOGICHE E AMBIENTALI

Sandro Ridone, Dolores Arginelli, Gianfranco Berton, Sandro Bortoluzzi, Giuseppe Canuto, Mario Montalto, Mauro Nocente
ENEA – BAS-ION-Istituto di Radioprotezione –Saluggia

1. Premessa

Le attività di misura di radionuclidi, che possono avere un impatto sulla salute dell'uomo, è da tempo di particolare interesse per l'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA e per il Centro Ricerche ENEA di Saluggia, per la presenza nel suo sito dell'ex impianto EUREX (**E**nriched **UR**anium **EX**traction) che aveva lavorato negli anni '70 e '80 nel campo del riprocessamento degli elementi di combustibile nucleare esausti. Di particolare interesse è il monitoraggio di quei radionuclidi, che possono essere introdotti nell'ambiente e nell'organismo umano tramite inalazione o ingestione. Infatti nei rifiuti liquidi si trovano anche quantità rilevanti di attinoidi quali $^{239+240}$Pu e ^{241}Am. Per mantenere un elevato livello di competenza è importante, quindi, al di là dei controlli analitici di routine, migliorare le proprie procedure attraverso attività di ricerca e qualificarle attraverso interconfronti internazionali.

2. Metodi e risultati

Le analisi sui campioni biologici hanno riguardato principalmente escreti (urine e feci) di dipendenti ENEA, ma anche di esterni, che hanno fatto richiesta del servizio. Per determinare l'attività degli attinoidi i campioni sono stati tracciati con standard interni di ^{242}Pu e di ^{243}Am per controllare la resa chimica della procedura, mineralizzati e solubilizzati per essere sottoposti a separazioni cromatografiche con cromatografia a scambio anionico con resina AG 1-X2™ e con cromatografia ad estrazione con colonna TRU™ della ditta TrisKem, prima dell'elettrodeposizione e della misura spettrometrica dell'attività. La validità delle tecniche adottate è stata riconosciuta dai risultati conseguiti in seguito all'interconfronto 2008 promosso dall'Association pour la Promotion du Contrôle de Qualité des Analyses de Biologie Médicale en Radiotoxicologie (PROCORAD) (Tabella 1).

Campione	Matrice	Radionuclide	Campione Procorad attività target Bq/campione	Campione Procorad attività ENEA Bq/campione
A	**Urine**	Pu-239	2,43 E-03 ± 7,02 E-05	1,80 E-03 ± 3,58 E-04
		Am-241	4,43 E-03 ± 6,25 E-05	5,58 E-03 ± 8,20 E-04
B	**Urine**	Pu-239	1,86 E-03 ± 7,02 E-05	1,77 E-03 ± 3,64 E-04
C	**Urine**	Bianco		≤ MDA
A	**Feci**	Pu-239	1,44 E-02 ± 9,10 E-04	1,46 E-02 ± 1,48 E-03
B	**Feci**	Am-241	2,22 E02 ± 1,09 E-03	2,36 E-02 ± 2,44 E-03
C		Bianco		≤ MDA

Tabella 1: Valori di attività determinati sui campioni dell'interconfronto PROCORAD 2008

Nella sorveglianza radiologica dell'ambiente sono stati effettuati campionamenti di varie matrici. Il fall-out è stato raccolto in contenitori di polietilene con un livello minimo di acqua deionizzata come trappola umida, mentre il particolato atmosferico è stato raccolto su filtri di carta mediante un sistema composto da un campionatore dotato di portafiltro e una centralina di aspirazione. Il campionamento del suolo è stato effettuato sullo strato superficiale del terreno, di cui sono state prelevate aliquote in 3 punti diversi, mentre quello relativo alle acque superficiali e sotterranee, tra cui acqua potabile dell'acquedotto del Monferrato, è stato effettuato secondo la normativa ISO. Tutti i campioni sono stati trattati con le modalità appropriate a seconda delle loro caratteristiche chimico-fisiche.

5. Conclusioni

Le analisi radioanalitiche effettuate su campioni di varia natura sono state condotte ottenendo un una resa chimica elevata e costante picchi ben risolti. Nel caso di $^{239+240}$Pu e ^{241}Am siamo riusciti a determinare i diversi radionuclidi dallo stesso campione, riducendo gli errori dovuti alla separazione in due aliquote. Inoltre l'accuratezza delle tecniche adottate è stata confermata dagli esiti positivi della partecipazione ad interconfronti internazionali.

COSTRUZIONE DI MODELLI VOXEL PER STUDI DOSIMETRICI E DI RADIOPROTEZIONE OTTENUTI DALLE SCANSIONI TC DI UN FANTOCCIO PLASTICO ANTROPOMORFO

Paolo Ferrari[1], Gianfranco Gualdrini[1], Luisa Pierotti[2]
1- ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna
2- Servizio di Fisica Sanitaria. Azienda Ospedaliera di Bologna – Policlinico S.Orsola Malpighi.

1. Premessa

Lo studio delle interazioni delle radiazioni con i tessuti umani, e delle conseguenti valutazioni di dose assorbita, richiede l'impiego di modelli antropomorfi in grado di riprodurre le variazioni di tessuto e di densità tipiche della struttura del corpo umano. Ciò è di particolare rilevanza per le applicazioni medicali delle radiazioni e, in maggior misura, per le più recenti applicazioni che vedono l'uso di fasci adronici. Per questo motivo si è deciso di intraprendere, in collaborazione con il Politecnico di Milano, uno studio che consenta con una serie di simulazioni, accoppiate a misure sperimentali per lo studio dei coefficienti di dose e dei campi di radiazione stessi, tipici di queste applicazioni. In tale ambito, che vedrà l'impiego di rivelatori adatti anche a idonei studi microdosimetrici, si è deciso di sviluppare un sistema completo per gli dosimetrici costituito da un modello plastico antropomorfo e dalla sua corrispettiva rappresentazione numerica da impiegarsi con il codice Monte Carlo MCNPX.

2. Modello voxel

Il modello plastico di proprietà dell'ENEA (figura 1), rappresentante un uomo adulto, costituito da materiale plastico, e riempibile d'acqua, è stato sottoposto a TC all'ospedale Sant'Orsola di Bologna. I dati della TC sono stati trattati con programmi in C, appositamente creati, per consentire la segmentazione del modello (identificazione nelle immagini e distinzione delle varie parti del fantoccio stesso). Questo pre-trattamento dei dati provenienti dalla TC ha consentito di generare un modello informatico voxel utilizzabile con il codice Monte Carlo MCNPX. Per ragioni operative il modello numerico, così come l'originale plastico, è stato suddiviso in più parti. Attualmente sono già disponibili i modelli MCNPX della testa e del torace del fantoccio plastico (figura 2 e figura 3).

Figura 1: posizionamento del modello plastico nella TC

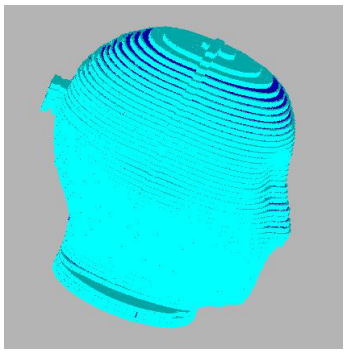


Figura 2: testa del modello voxel (superfici esterne)

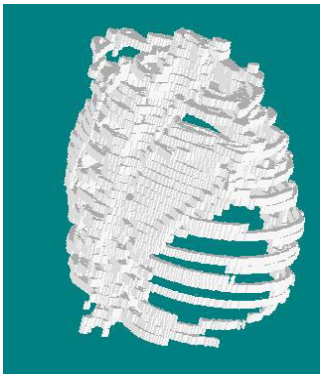


Figura 3: gabbia toracica (rendering a bassa risoluzione)

3. Sviluppi del lavoro in corso

Il modello plastico verrà sottoposto a campi di irraggiamento fotonici e neutronici. All'interno e sulle superfici esterne saranno collocati dosimetri e dispositivi per la valutazione della dose. Nello stesso tempo una serie di simulazioni verranno intraprese a scopo di validazione. I risultati delle simulazioni potranno essere confrontati anche con i dati dei modelli voxel di letteratura o già a disposizione di IRP (modello voxel NORMAN rappresentate un individuo adulto con caratteristiche prossime al reference man).

STUDIO DELLA RISPOSTA DI UN SISTEMA DI SFERE DI BONNER CON RIVELATORE PASSIVO DI DYSPROSIO

Paolo Ferrari[1], Gianfranco Gualdrini[1], Roberto Bedogni[2], Adolfo Esposito[2]
1-ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna
2-INFN- Laboratori Nazionali di Frascati

1. Premessa

L'attività di caratterizzazione di un sistema di sfere di Bonner equipaggiato con un rivelatore passivo costituito da lamine di Dysprosio è stata portata avanti in collaborazione con i laboratori INFN di Frascati. Essa è consisita nello studio e nell'ottimizzazione di un sistema di spettrometria per campi neutronici, migliorato rispetto a quello normalmente in uso nei suddetti laboratori, e impiegabile in vari scenari di misura (dal sito nucleare, all'acceleratore medicale, all'impianto di ricerca con acceleratori di alta energia).

2. Studio della funzione di risposta con il codice MCNPX

La definizione della funzione di risposta del sistema richiede l'impiego di metodi di simulazione che rendano possibile separare i contributi alla risposta delle varie componenti energetiche dello spettro neutronico caratteristici di un campo di radiazione, sempre misto, n-gamma. Nel nostro caso è stato impiegato il codice MCNPX, già precedentemente utilizzato in un simile scenario, per calcolare la funzione di risposta del sistema di proprietà dell'INFN. Il BSS che si è caratterizzato è composto di una serie canonica di sfere a cui sono state aggiunte due ulteriori contenenti, rispettivamente, uno strato di piombo e uno strato di rame. La presenza del rame e del piombo consente, ad elevate energie, di sfruttare le reazioni di tipo (n, 2n), (n, 3n) incrementando la funzione risposta per quel range energetico. Il Dysprosio, usato come rivelatore e di proprietà IRP, ha sezione di cattura per i neutroni, nel range termico ed epitermico, confrontabile con quella dell'oro (considerato il riferimento per questo tipo di metodiche). Le risposte per le singole sfere sono state simulate impiegando fasci neutronici monoenergetici e simulando le opportune reazioni di termalizzazione attraverso il polietilene e di assorbimento nel materiale ad attivazione (fig.1). La scansione energetica comprende una settantina di energie dal termico al GeV. Presso i laboratori di Montecuccolino sono state inoltre eseguite alcune sessioni di misura con sorgenti neutroniche convenzionali (Ambe , Cf252 e Cf moderato)

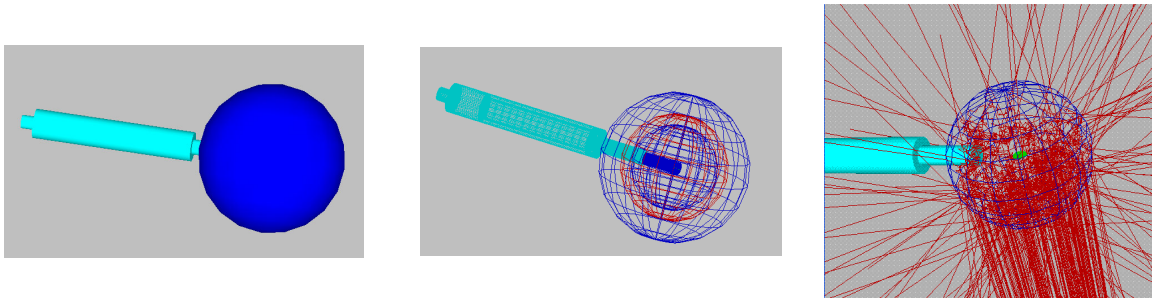


Figura 1: Sfera di Bonner simulata (sinistra), gusci di polietilene, Pb e polietilene, simulazione dell'irraggiamento con gusci in trasparenza e vista della lamina di Dy (destra)

3. Risultati

Le funzioni risposta delle varie sfere sono state analizzate ai laboratori di INFN di Frascati e inserite all'interno del programma di analisi FRUIT (FRascati Unfolding Interactive Tool) che consente di effettuare un unfolding dello spettro neutronico indagato.

4. Conclusioni

La collaborazione tra ENEA-IRP e INFN Frascati ha consentito di caratterizzare un sistema di sfere di Bonner efficace e in grado di rispondere alle esigenze proveniente da un ampio spettro di utenze. Nei prossimi mesi sono previste alcune sessioni di misura che consentiranno di verificarne meglio le potenzialità e le future applicazioni. Il lavoro verrà presentato alla prossima conferenza NEUDOS12 (Cape Town, Sud Africa) e documentato, più ampiamente, con articoli su rivista.

LABORATORIO NORM: ATTIVITA' DI STUDIO & RICERCA

Silvia Penzo, Massimo Calamosca
ENEA BAS–ION–Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Nel corso del 2008 nel laboratorio NORM ubicato nella Casamatta N. 1 del CR Montecuccolino sono stati portati avanti studi e ricerche relativi a:

- realizzazione di una camera in cui poter esporre i dispositivi ad una concentrazione nota di toron;
- completa operatività della catena di spettrometria gamma (HPGe) mediante acquisizione, documentazione e misura di sorgenti di calibrazione e partecipazione ad un interconfronto internazionale (IAEA) per il controllo di qualità delle misure.

2. Camera toron

Per poter utilizzare i dispositivi per la misurazione del toron [1, 2] è necessario calibrarli; sottoporli cioè ad un'esposizione nota di toron in apposite "camere toron". Poiché l'unico centro di taratura presente in Europa (PTB, Germania) ad offrire questo servizio non è stato in grado di effettuare tale taratura, è stato necessario realizzare nei ns. laboratori un sistema con il quale calibrare i ns. dispositivi. Nel corso del 2007 era stata realizzata una sorgente di toron (attività di 8,82±0,19 kBq di ^{232}Th e 355±18 Bq di ^{226}Ra), utilizzata all'interno di un circuito chiuso, in cui era presente una camera toron in cui esporre i dispositivi e una pompa di aspirazione per mantenere un flusso costante per far esalare il toron dalla sorgente. Era quindi necessario progettare, ottimizzare e realizzare ora uno strumento assoluto che misurasse la concentrazione di toron all'interno della camera toron. La descrizione di tale strumento e la sua caratterizzazione sono stati presentati al Congresso ICRM-LLRMT, Braunschweig (Germany) 22-26/09/2008 e pubblicati [3]. Quindi ora sono presenti tutti gli elementi: sorgente di toron, camera toron e strumento per la misurazione della concentrazione di toron per poter effettuare calibrazioni di toron nel ns. laboratorio.

3. Spettrometria gamma

Per effettuare misure che siano accurate e ripetibili, cioè in qualità, è necessario controllare periodicamente la qualità delle misure mediante partecipazione ad interconfronti. In quest'ottica abbiamo deciso di partecipare all'interconfronto promosso dalla IAEA che si terrà nel 2009 relativo alla spettrometria gamma nel campo dei NORM. A tal fine è stato necessario acquisire diverse sorgenti di calibrazione di diverse geometrie, mettere a punto un sistema di garanzia di qualità che comprende anche la stesura e la documentazione di procedure operative relative a tutte le fasi di analisi del campione (preparazione, conteggio, calibrazioni, correzioni per autoassorbimento, ecc) e studiare metodi per minimizzare il conteggio di fondo.

4. Conclusioni

Il laboratorio NORM è in grado di effettuare esposizioni al toron. La possibilità di avere camere in cui effettuare un'esposizione al toron è indispensabile per operare in tale campo a causa della mancanza di facilities di calibrazione (al momento nessuna in Europa).
Inoltre il laboratorio NORM sarà in grado di analizzare campioni di materiali di origine naturale secondo un metodo standard documentato.

[1] Penzo S. e Calamosca M. "La valutazione dell'esposizione al toron, un rischio spesso ignorato" Congresso Nazionale di Radioprotezione, AIRP, Pisa, 4-6-Giugno 2008, ISBN 88-88648-07-0.
[2] M. Calamosca and Penzo. S. "A new CR-39 nuclear track passive thoron measuring device", 24th International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Bologna 1-5/09/08.
[3] Calamosca M. and Penzo S., "How to assess the sensitivity and related uncertainty of a new solid state passive thoron measuring device", Appl. Radiat. Isotopes (2009), doi:10.1016/j.apradiso.2009.01.046.

SERVIZIO RADON: ATTIVITA' DI STUDIO & RICERCA PROPEDEUTICA ALL'OTTIMIZZAZIONE DEL SERVIZIO

Silvia Penzo, Massimo Calamosca
ENEA BAS-ION-Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Come negli anni precedenti, anche nel 2008 è stata portata avanti l'attività di studio e ricerca che affianca l'attività di servizio, con lo scopo di mantenere e migliorare lo standard qualitativo che il Servizio garantisce all'utenza e di ampliare la gamma delle misurazioni effettuate dal Servizio. In particolare nel 2008 l'attività di studio e ricerca ha avuto come tema principale la stima del rischio dovuto al toron e in particolare ai suoi prodotti di decadimento. E' questo un tema senz'altro innovativo in quanto si hanno ancora poche conoscenze rispetto al radon, non esiste un metodo di misurazione standard e non esistono sul mercato servizi che offrono tale misurazione, di conseguenza il rischio associato al toron generalmente non viene preso in considerazione; poiché è certa la maggior pericolosità del toron rispetto al radon, è assolutamente necessario affrontare tale tematica, soprattutto presenza di edifici costruiti con materiali da costruzione contenenti alte quantità di radionuclidi naturali (in particolare ^{232}Th), situazione molto diffusa ad esempio nel Lazio.

2. Le linee di ricerca del Servizio Radon

Alla fine del 2007 il Servizio Radon aveva completato la realizzazione del nuovo dispositivo passivo a tracce per la misurazione dell'esposizione al toron; nel corso del 2008 era quindi programmata la calibrazione e la successiva brevettazione del dispositivo. All'inizio dello scorso anno abbiamo quindi fatto esporre al toron tali dispositivi presso l'unico centro di taratura disponibile in Europa, il PTB tedesco, ma i risultati di tale calibrazione contrastavano con i dati ricavati da test da noi effettuati. Di conseguenza abbiamo realizzato un sistema per poter calibrare i dispositivi nei ns. laboratori [1] (vedi contributo: "Laboratorio NORM: attivita' di studio & ricerca", M. Calamosca, S. Penzo), prove che hanno dimostrato l'inacuratezza del PTB.
Sempre nell'ambito della misura del rischio associato ai prodotti di decadimento del toron, abbiamo elaborato una procedura per ricavare il valore della concentrazione dei prodotti di decadimento del toron da una misurazione del toron gas, attraverso l'utilizzo dei ns. dispositivi passivi [2]. Attraverso la conoscenza di alcuni parametri tipici del locale da monitorare (rapporto superficie-volume, ricambio d'aria, concentrazione aerosol ambiente, plate out, etc.) e della sorgente (rateo di esalazione di toron dal materiale da costruzione, porosità del materiale, etc.), si riesce infatti a modellare la risposta in termini d'inalazione dei prodotti di decadimento del toron in relazione alla concentrazione media di toron valutata sperimentalmente. In alternativa, l'unico metodo possibile per calcolare il rischio dovuto ai prodotti di decadimento del toron è la misura diretta di questi, mediante strumentazione attiva. Le misurazioni attive sono più complesse e generalmente più costose di quelle basate sulla tecnica passiva; inoltre possono essere effettuate solo su un numero limitato di locali.

Per dimostrare la validità di tale procedura, sarà necessario confrontare il valore di concentrazione dei prodotti di decadimento del toron calcolato da misurazione passive di toron gas con il valore misurato con strumentazione attiva in alcuni locali rappresentativi. Nel 2008 è iniziata l'installazione dei dispositivi passivi per la misurazione del toron nei 4 piani del Ministero delle Finanze; in base ai primi risultati si sceglieranno i locali rappresentativi suddetti.

3. Conclusioni

L'attività di studio e ricerca permette non solo di migliorare continuamente la qualità della misurazione del radon, ma anche di ampliare la gamma dei servizi offerti all'utenza; con l'introduzione del nuovo dispositivo passivo a tracce per la misurazione del toron e della verifica della procedura per la valutazione della concentrazione dei prodotti di decadimento del toron, il Servizio Radon dell'Istituto di Radioprotezione offre all'utenza un servizio completo per la valutazione di tutte le componenti di rischio causato da esposizione di origine naturale. Questo approccio è necessario in tutte le situazioni in cui gli edifici sono stati costruiti con materiali da costruzione contenenti alte quantità di radionuclidi naturali (in particolare ^{232}Th).

[1] M. Calamosca and Penzo. S. "A new CR-39 nuclear track passive thoron measuring device", 24th International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Bologna 1-5/09/08.
[2] Penzo S. e Calamosca M. "La valutazione dell'esposizione al toron, un rischio spesso ignorato" Congresso Nazionale di Radioprotezione, AIRP, Pisa, 4-6-Giugno 2008, ISBN 88-88648-07-0.

REVISIONE E VALIDAZIONE DELL'ALGORITMO ANALITICO PER IL CALCOLO DI HP(10) DALLE LETTURE DEI DOSIMETRI ENEA PER (NT + γ) CON RIVELATORI DI GR200 E GR207

Francesca Mariotti, Giancarlo Uleri, Bruna Morelli, Elena Fantuzzi
ENEA – BAS-ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Ai fini di una continua qualificazione del Servizio di Dosimetria è stata effettuata la revisione dell'algoritmo analitico per il calcolo dell'equivalente di dose personale dalle letture dei dosimetri ENEA per neutroni termici e gamma con rivelatori di GR200 e GR207[1].

2. Revisione del metodo, calibrazione e qualificazione

Le formule esplicitate per il calcolo della dose gamma (G) e della dose neutronica (N) (introducendo la sensibilità individuale sia per il GR200 (FS_B) che per il GR207(FS_A)) sono le seguenti:

$$N = \frac{\frac{FS_A}{FS_B} L_{GR200} - \frac{FT_A}{FT_B} L_{GR207}}{a(\frac{FS_A}{FS_B} - n)} \cdot \frac{FT_B}{0.536}$$

$$G = \frac{\frac{FT_A}{FT_B} L_{GR207} - nL_{GR200}}{(cFS_B) \cdot (\frac{FS_A}{FS_B} - n)} \cdot \frac{FT_B}{0.536}$$

dove:

N, G	*$H_p(10)$ neutronico e gamma*
a	*Sensibilit□del GR200 ai neutroni termici*
c	*Sensibilit□del GR200 ai gamma*
n	*Sensibilit□ai neutroni termici fra GR207/GR200*
FT_A, FT_B	*Fattori di sensibilit□dei Fototubi A e B (A-GR207, B-GR200)*
$FS_{A,B}$	*Sensibilit□individuale dei GR207 o GR200*
0.536 μGy/lettura	*Sensibilit□del Fototubo B al momento della calibrazione (riferimento)*

La revisione dell'intero sistema consiste nella:

- determinazione del coefficiente n relativo alla differenza di sensibilità ai neutroni termici dei rivelatori GR207/GR200 ottenuta mediante irraggiamento nella facilità termica del Centro di Taratura[2] nella cavità 1 su 50 cards scelte casualmente fra quelle attualmente in servizio;
- valutazione del coefficiente a (sensibilità ai neutroni termici del GR200) mediante irraggiamento nella cavità B di 50 cards su di un opportuno supporto triangolare (fig.1) per consentire ai rivelatori di posizionarsi al centro della cavità di irraggiamento.

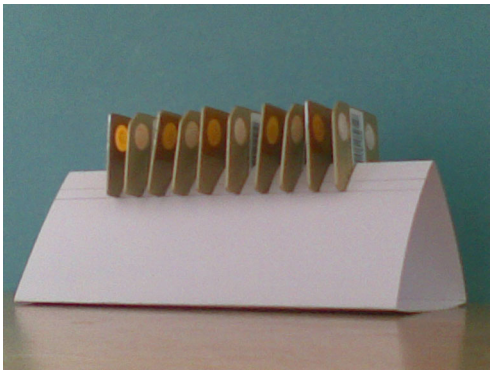


Figura 1: Irraggiamento cards all'interno della cavità B (cubo, sala neutroni) per la determinazione del coefficiente a.

3. Conclusioni

I valori riportati in tabella sono quelli attualmente in Servizio ottenuti a seguito della revisione dell'intero algoritmo di calcolo della dose.

	a ***(Sn200)***	***c*** ***(Sγ200)***	***g*** ***(Sγ207/ Sγ200)***	***n*** ***(Sn207/Sn200)***
Cards ENEA (nt+g)	9832	1763	0,86	0,04

[1]"*Dosimetri a TL per neutroni termici e gamma impiegati in ENEA: metodo, calibrazione e qualificazione*", Rapporto Tecnico ENEA RT/AMB/98/23.
[2] "*Characterizing a thermal neutron calibration assembly by solid state, nuclear track dosemeters and Monte Carlo technique*". Rapporto Tecnico ENEA RT/AMB/98/36

VERIFICA DELLA VALUTAZIONE DEL FONDO IN CONDIZIONE DI STOCCAGGIO DEI DOSIMETRI DEL SERVIZIO ENEA-IRP

Chiara Pellegrini, Giancarlo Uleri, Francesca Mariotti, Bruna Morelli
ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Ai fini di una sempre maggiore qualificazione del Servizio di Dosimetria è stato effettuato uno studio per la verifica della valutazione del fondo dovuto alla componente ambientale ed alla componente gamma presente all'interno di differenti "pozzetti a basso fondo" nei quali vengono stoccati i dosimetri in attesa di riutilizzo. Lo studio è stato eseguito utilizzando i dosimetri per estremità ENEA che supportano rivelatori di LiF(Mg,Cu,P) di diverso tipo: uno di GR200 prodotto da Solid Dosimetric Detector & Method Laboratory - SDDML (Cina) e uno di MCP-Ns prodotto da Newiadomski (Polonia).

2. Verifica della valutazione del fondo in condizioni di stoccaggio

I tre pozzetti oggetto di tale verifica, rispettivamente individuati con il numero 1, 2 e 3, sono 2 di identica forma cubica ed 1 di forma cilindrica. Il valore del fondo totale è dato dalla componente ambientale (fondo medio nazionale = 2,20 μGy/g) e dal fondo gamma (0,55 μGy/g) presente all'interno del pozzetto.
Per la verifica sono stati utilizzati 6 set di 10 dosimetri di cui 3 del tipo GR200 e 3 MCP-Ns. In ogni pozzetto sono stati conservati per un periodo pari a 149 gg 2 set rispettivamente di GR200 e di MCP-Ns. Per effettuare la valutazione del fondo ambientale è stato conservato in ambiente per 182 gg un set di 25 dosimetri del tipo MCP-Ns .

3. Risultati

In Tabella 1 sono riportati i valori di fondo pozzetto stimati e confrontati con il fondo pozzetto attualmente impiegato nell'algoritmo del calcolo della dose.

Tabella 1: Risultati del valore dei 3 fondi pozzetto e rispettivi confronti con il valore in uso nell'algoritmo di calcolo.

Pozzetto	**Fondo misurato** *(μGy/g)*		**Fondo algoritmo** *(μGy/g)*	**Fondo misurato/Fondo algoritmo**	
	GR200	MCP-Ns			
1	0,63	0,62		1,15	1,13
2	0,85	0,89	0,55	1,55	1,62
3	0,63	0,63		1,00	1,15

Tabella 2: Fondo ambiente stimato e confronto con quello medio nazionale utilizzato in routine.

Fondo ambiente misurato (MCP-Ns) *(μGy/g)*	**Fondo ambiente algoritmo** *(μGy/g)*	**Fondo misurato /Fondo algoritmo**
2,58	2,22	1,16

Come mostrato in tabella 1, i fondi del pozzetto n. 1 e 3 non presentano differenze significative sia rispetto a loro stessi sia rispetto al valore utilizzato in routine, confermato dalle stime ottenute. Si evidenzia invece una differenza del 35% tra i valori di fondo stimati per il pozzetto n. 1 e 2 di identiche forme e dimensioni da attribuirsi probabilmente ad una ulteriore schermatura dovuta alla presenza di card di alluminio stoccate nel medesimo pozzetto. In tabella 2 è riportata infine la valutazione del fondo ambientale, non significativamente differente rispetto al fondo medio nazionale utilizzato.

4. Conclusioni

Lo studio effettuato ha evidenziato l'importanza di stoccare i dosimetri per estremità nei pozzetti a più basso fondo e ha permesso di verificare e stimare il valore del rateo pozzetto da inserire nell'algoritmo di calcolo della dose impiegato nella routine del Servizio di Dosimetria.

IMPLEMENTAZIONE DELLE TECNICHE DI MISURA MEDIANTE SCINTILLAZIONE LIQUIDA PRESSO IL LABORATORIO ION-IRP RTX DELLA CASACCIA

Isabella Giardina, Sandro Bazzarri, Liliana Mancini, Leila Andreocci, Giulio Morelli
ENEA BAS – ION Istituto di Radioprotezione, Casaccia

1. Premessa

Dando seguito alle attività, iniziate lo scorso anno con l'arrivo del nuovo scintillatore liquido a bassofondo QUANTULUS 1220, sono state studiate ulteriori possibili applicazioni di interesse radioprotezionistico quali la determinazione dell'attività alfa e beta totale e la misura del radioisotopo ^{226}Ra nelle acque.

2. Descrizione del metodo e del sistema

Di fondamentale importanza per le suddette determinazioni è la capacità di discriminare in uno stesso campione gli impulsi generati da particelle alfa oppure beta. Il QUANTULUS è dotato di un circuito Pulse Shape Analyzer (PSA) che misura il tempo di decadimento dell'impulso generato nel liquido scintillante (più lungo per le particelle alfa e più corto per quelle beta) e, attraverso una linea di suddivisione regolabile dall'utente, permette di inviare tali impulsi in canali di conteggio separati. Poiché la durata dell'impulso è anche funzione delle condizioni sperimentali di misura (energia della radiazione, livello di spegnimento del campione, tipo di cocktail usato, ecc.) diventa indispensabile trovare il corretto valore della linea di separazione tra impulsi alfa e beta. La valutazione del valore ottimale viene effettuata, per ogni situazione sperimentale, misurando a diversi valori di PSA due campioni, uno tracciato con un radionuclide alfa emettitore puro e uno tracciato con un radionuclide beta emettitore puro e valutando per ciascuno di essi la percentuale di eventi registrati nel canale di conteggio "errato"; il valore ottimale è quello in corrispondenza del quale tale percentuale è minima.

Facendo riferimento ai protocolli di misura di ARPA Lombardia [1] abbiamo messo a punto le seguenti procedure:

- *determinazione dell'attività α/β totale nelle acque;*

Il valore ottimale di PSA è stato ottenuto utilizzando il ^{242}Pu per la curva α e il ^{40}K per la curva β e come cocktail scintillante l'OPTISAFE HISAFE 3 (Perkin Elmer).

Sono state effettuate, quindi, alcune prove su campioni di acqua nei quali era stata aggiunta un'attività nota di α e β emettitori per valutare l'accuratezza della procedura adottata. Inoltre, misure ripetute di fondo (acqua distillata) hanno permesso di stimare un valore di minima attività rivelabile (MDA) intorno a 150 mBq/L per β e di 15 mBq/L per α in 1000' di conteggio. A conferma della validità della procedura si attendono i risultati dell'interconfronto ALMERA 2008 sulla misura rapida (24 ore) dell'attività α/β in 3 campioni di acqua.

- *determinazione di ^{226}Ra in acqua:*

Il ^{226}Ra è stato misurato utilizzando un cocktail scintillante (OPTISCINT Perkin Elmer) immiscibile con acqua e nel quale passano solamente specie non ioniche; il radio presente nell'acqua genera il ^{222}Rn che essendo privo di carica e allo stato gassoso migra nel cocktail dove in un tempo di 20 giorni raggiunge l'equilibrio radioattivo con i figli, alfa e beta emettitori, a vita breve.

Per questo tipo di misura viene considerata soltanto la componente alfa (uso del discriminatore) in quanto il fondo molto basso e l'efficienza di conteggio elevata consentono di ottenere risultati ripetibili e valori di MDA ottimali (2 mBq/L per un tempo di conteggio di 1000').

3. Conclusioni

Il corretto utilizzo del discriminatore α/β insieme alle caratteristiche di basso fondo fanno dello scintillatore QUANTULUS uno strumento dalle grandi potenzialità utile per effettuare determinazioni rapide e accurate di un'ampia gamma di radionuclidi in differenti tipologie di matrici. Sono in corso prove per la messa a punto di procedure per la determinazione del ^{226}Ra in matrici solidi e in campioni biologici.

[1] Forte M. et altri. *Standardized methods for measuring radionuclides in drinking water* JOURNAL OF RADIOANALYTICAL AND NUCLEAR CHEMISTRY, Vol 269(2), August 2006 , pp. 397-401.

DETERMINAZIONE DI ^{241}Am CON DGA RESIN E VACUUM BOX

Isabella Giardina, Sandro Bazzarri, Liliana Mancini, Leila Andreocci, Giulio Morelli
ENEA BAS - ION Istituto di Radioprotezione, Casaccia

1. Premessa

Ultimamente il nostro laboratorio è stato coinvolto in un lavoro di caratterizzazione di soluzioni provenienti dalla dissoluzione di smear-test e fanghi con l'incarico di misurare il radioisotopo ^{241}Am mediante spettrometria alfa. Tali misure si sono aggiunte a quelle normalmente effettuate nei campioni biologici (urine e feci) per la sorveglianza del personale professionalmente esposto a rischio di contaminazione interna. La metodica con la TRU resin (EICHROM), precedentemente in uso, si è dimostrata scarsamente riproducibile e con rese chimiche non molto elevate (resa media 60% ± 30 %); inoltre, in presenza di matrici contenenti discrete quantità di ferro, è indispensabile la sua preventiva eliminazione per evitare interferenze nelle successive fasi di estrazione ed eluizione dell'americio. La recente introduzione sul mercato della DGA resin [1] (EICHROM) con un fattore di ritenzione dell'Americio da 30 a 500 volte più elevato rispetto alla TRU Resin ci ha consentito di mettere a punto una procedura veloce e maggiormente riproducibile anche in campioni con discrete quantità di ferro.

2. Descrizione del metodo e del sistema

La procedura prevede la separazione dell'Americio dalla soluzione di partenza per mezzo della coprecipitazione con ossalati di calcio. Dopo opportuni lavaggi e mineralizzazioni si procede alla dissoluzione del precipitato per la successiva fase di estrazione effettuata mediante una cartuccia contenente la resina DGA .Viene utilizzato un sistema da vuoto per assicurare un veloce e costante flusso delle soluzioni attraverso la cartuccia. (fig. 1)La migliore ritenzione dell'americio si ha in ambiente di acido nitrico 5M, mentre per la sua eluizione viene utilizzato acido cloridrico 0,5M.

Si effettua un'elettrodeposizione da solfato d'ammonio a pH 4-4,5 per 4 ore a 800 mA.

Quindi si procede al conteggio con spettrometro alfa per 600.000"

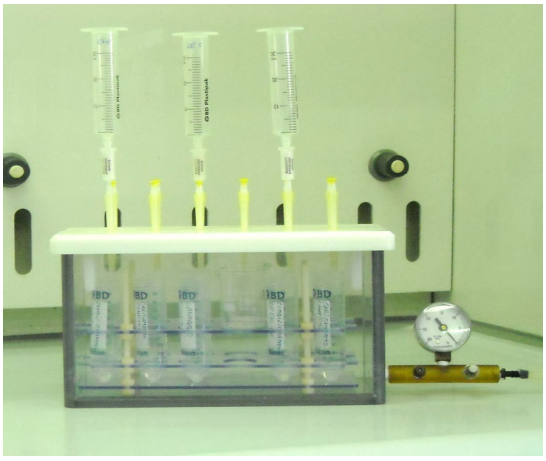


Fig. 1 Vacuum box

3. Conclusioni

A differenza della TRU la capacità di estrazione dell'americio da parte della DGA resin non viene compromessa dalla presenza di ferro nella matrice, pertanto non è necessario effettuare operazioni preliminari per la sua eliminazione. La procedura risulta più rapida con rese chimiche elevate e riproducibili (resa media 85% ± 10%). La minima attività rivelabile (MDA), intorno a 0,3 mBq/campione, consente di raggiungere ottime sensibilità di analisi.L'affidabilità e l'accuratezza della metodica sono state confermate anche dai buoni risultati ottenuti negli esercizi annuali di interconfronto PROCORAD.

[1] E.P.Horwitz, D.R. Mc Alister, A.H. Bond and R.E. Barrans. *Novel Extraction of Chromatographic Resins Based on Tetraalkyldiglycolamides: Characterization and Potential Applications*. SOLVENT EXTRACTION AND ION EXCHANGE, 23, 319-344, 2005

STUDIO PRELIMINARE DELLA RISPOSTA DI UN CONTATORE BETA A FLUSSO DI GAS

Paolo Ferrari, Paolo Battisti
ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

L'impiego di tecniche di simulazione numerica può consentire di stimare quantità che sarebbe difficile valutare altrimenti. Nel lavoro presente il codice Monte Carlo MCNPX è stato impiegato per studiare un modello di un contatore beta a flusso di gas impiegato comunemente nei laboratori di dosimetria ambientale dell'IRP. Lo scopo della simulazione era valutare l'efficienza di rivelazione relativa al variare delle condizioni di utilizzo, ovvero, al mutare della sorgente, ^{90}Sr-Y all'equilibrio o di ^{90}Sr e ^{90}Y, separate chimicamente, e al mutare del volume della sorgente (da 1 a 120 mg).

2. Costruzione del modello del contatore

Il modello numerico è stato costruito sulla base delle informazioni possedute dal laboratorio. Per la sorgente si è scelta una miscela di carbonato di stronzio con densità di 1 gcm^{-3} depositata sul piattello di acciaio posto sul porta piattello in PVC. Per semplicità, in questo studio preliminare si è supposta una sorgente di tipo cilindrico con emissione della radiazione beta isotropa su tutto l'angolo solido. Si sono simulate le pareti del rivelatore in rame e, trattandosi di un beta counter, si è assunta pari al 100% l'efficienza di conteggio per i beta, in grado di attraversare finestra di mylar di 0.21 mgcm^{-2}. Il rivelatore è costituito da gas P-10 (90% Ar e 10% CH_4). In figura 1, 2 e 3 si possono vedere uno schema molto semplificato e alcune immagini del modello numerico del rivelatore impiegato.

3. Risultati

In Tabella 1 sono riportati alcuni dei risultati ottenuti dalla simulazione per una sorgente di ^{90}Sr-Y all'equilibrio. Dai dati si evince come il maggior contributo al contatore derivi dal piattello di acciaio su cui è depositata la sorgente e come tale contributo diminuisca all'aumentare della quantità di sorgente depositata.

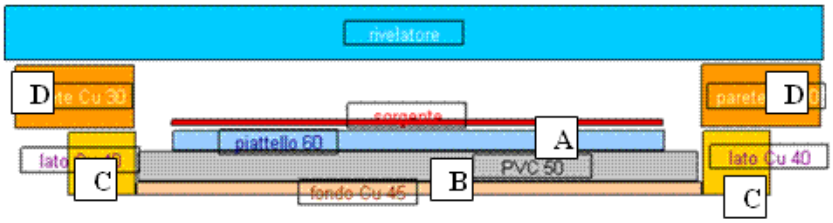


Figura 1: schema semplificato del rivelatore

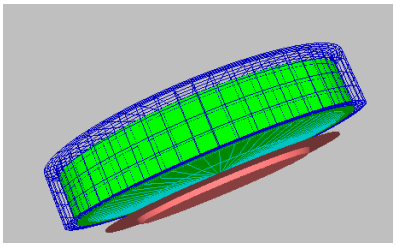


Figura 2: 3-D del modello numerico

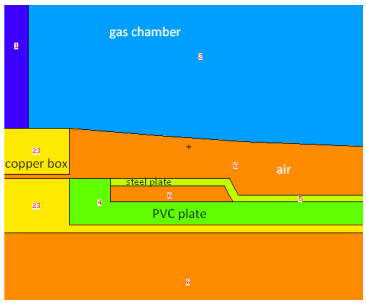


Figura 3: struttura interna (particolare)

Tabella 1: Risultati del contributo alla risposta per una sorgente ^{90}Sr-Y

Quantità depositata di Sr-Y (mg)	Dei beta rivelati hanno certamente interagito con il piattello di acciaio**(A)**
1	34.4%
10	32.3%
20	31.1%
50	28.7%
75	27.5%
100	26.2%
120	25.7%

4. Conclusioni

L'analisi ha dimostrato la validità dell'applicazione della simulazione numerica in tale campo, permettendo di quantificare la variazione dell'efficienza del rivelatore e il contributo delle pareti interne alla risposta del sistema di misura. Prossimamente si prevede di migliorare l'accuratezza del modello, in particolare, simulando una serie significativa di matrici ambientali campione. Questo dovrebbe permettere di stimare con maggior affidabilità le condizioni di auto-assorbimento della sorgente stessa migliorando la stima dell'efficienza di misura del sistema.

STUDIO DELLA STABILITÀ E DELLA BIOCINETICA DEL RADIOFARMACO OSTEOTROPO [^{153}Sm]Sm-EDTMP UTILIZZATO IN RADIOTERAPIA METABOLICA

Sandro Ridone[1], Dolores Arginelli[1], Anna Mirante[2], Mario Montalto[1], Mauro Nocente[1], Luca Vigna[2]
1- ENEA – BAS-ION – Istituto di Radioprotezione, Saluggia,
2- Università degli Studi di Torino-Dipartimento di Fisica Sperimentale

1. Premessa

Il radiofarmaco [^{153}Sm]Sm-EDTMP trova impiego nelle cure palliative delle metastasi ossee originate da diversi carcinomi primari, principalmente alla mammella e alla prostata. Dal momento che l'attività somministrata è stabilita soltanto in base al peso del paziente (37 MBq/kg), senza una valutazione delle caratteristiche individuali e una dosimetria previsionale, le dosi all'organo bersaglio (lo scheletro) e agli organi critici (in particolare il midollo rosso) possono essere sovra- o sottostimate rispetto al rapporto rischio/beneficio del trattamento. Per una migliore stima dosimetrica occorre conoscere la biocinetica del radiofarmaco (legato e slegato), valutandone la stabilità, la clearance ematica e l'escrezione.

2. Metodi e risultati

Per valutare la stabilità della molecola è stata adottata una tecnica di radiocromatografia su strato sottile impiegando un supporto di gel di silice su fibra di vetro e una miscela eluente composta da H_2O:CH_3OH:NH_4OH (4:2:0,2). Dopo aver valutato la stabilità *in vitro* del complesso in soluzione fisiologica (NaCl 0,9%, pH 7) e in sangue umano, mantenuto alla temperatura di 37 °C, successivamente è stata studiata la stabilità *in vivo* su una serie di prelievi ematici effettuati nell'arco delle 24 h. La misura dell'attività è stata determinata tramite spettrometria β con scintillazione liquida e con spettrometria γ con rivelatore a NaI. Le stesse misure effettuate su campioni di urina raccolti secondo le minzioni spontanee dei pazienti hanno consentito di determinare l'escrezione del radiofarmaco. Dal fit della curva plasma-tempo e dalle informazioni sull'escrezione abbiamo ricavato i principali parametri farmacocinetici ed elaborato un preliminare modello biocinetico a compartimenti: un compartimento centrale (sangue), un compartimento di trasferimento (tessuti moli) e due compartimenti di deposito, uno relativo all'organo bersaglio (osso) e uno relativo all'escrezione (urina). Attualmente stiamo elaborando i dati relativi alle biocinetiche distinte del radiofarmaco legato e del radionuclide dissociatisi ed è possibile l'introduzione nel modello di ulteriori compartimenti. Dal calcolo delle costanti di trasferimento e dell'attività cumulata negli organi bersaglio è emersa una notevole variabilità biologica nell'*uptake* del radiofarmaco e, di conseguenza, nel rilascio della dose agli organi bersaglio e agli organi critici, come si può notare in Fig. 1.

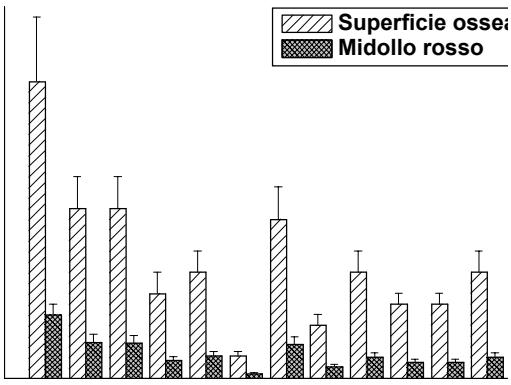


Fig.1: Dose alla superficie ossea e al midollo rosso dei pazienti presi in considerazione finora dallo studio

3. Conclusioni

Lo studio ha dimostrato l'importanza della variabilità biologica individuale nella somministrazione dell'attività del [^{153}Sm]Sm-EDTMP e la necessità di superare il protocollo standard basato unicamente su un rapporto ponderale per raggiungere una terapia personalizzata. Auspichiamo che l'aumento della statistica dei trattamenti presi in considerazione possa consentirci di raffinare il nostro modello biocinetico e di stabilire quei parametri fisio-patologici utili per una dosimetria previsionale.

IMPIEGO DI ZEOLITI PER SIMULARE LESIONI METASTATICHE CAPTANTI [^{18}F]FDG

Sandro Ridone[1], Dolores Arginelli[1], Mario Montalto[1], Luca Vigna[2]
1- ENEA – BAS-ION – Istituto di Radioprotezione , Saluggia,
2- Università degli Studi di Torino-Dipartimento di Fisica Sperimentale

1. Premessa

Un particolare tipo di zeolite, la Bowie chabazite, può essere impiegato come setaccio molecolare per intrappolare al suo interno molecole di [^{18}F]FDG e produrre sorgenti radioattive di differenti forma, dimensione e attività. Posti in un fantoccio antropomorfo, tali setacci simulano bene, per la loro morfologia irregolare, le lesioni tumorali individuate tramite PET e possono essere utilizzati per la misura sperimentale dei limiti di rilevabilità dell'apparecchiatura.

2. Metodi e risultati

Dodici zeoliti (tra i 120 e i 1520 mg) sono stati immerse in differenti concentrazioni di una soluzione di [^{18}F]FDG: 1, 7, 19, 29,5 e 37 MBq/mL e l'adsorbimento è stato studiato in funzione del peso del minerale e della concentrazione radioattiva del tracciante. Sono state effettuate prove sulla riproducibilità del fenomeno, immergendo 10 zeoliti in una soluzione di [^{18}F]FDG con una concentrazione radioattiva pari a 7 MBq/mL per tre volte e, riscaldando dopo ogni volta la zeolite a 200 °C per 60 min. per denaturare la molecola e favorire il rilascio del radionuclide dal setaccio. La stabilità dell'adsorbimento è stata invece valutata immergendo la zeolite marcata con [^{18}F]FDG in una soluzione salina (NaCl 0,9%, pH 7) e misurando l'attività della soluzione stessa, dopo aver estratto il minerale, a tempi differenti: 70, 210 e 280 min. E' stato verificato che il ^{18}F è rilasciato secondo un cinetica monocompartimentale con un'emivita effettiva pari a 53 min. Dopo aver ricoperto la zeolite con un film di materiale plastico impermeabile, una volta che aveva adsorbito [^{18}F]FDG, l'esperienza è stata ripetuta e, questa volta, l'emivita effettiva è risultata essere di 112 min., quindi in buon accordo con l'emivita fisica del radionuclide ($t_{1/2}$ = 110 min.), considerando gli errori sperimentali e il limite di accuratezza delle misure effettuate con un calibratore di dose. Allo scopo di comprendere meglio i meccanismi di interazione tra le molecole di [^{18}F]FDG e la superficie della zeolite, alcuni campioni sono stati sottoposti ad analisi volumetrica, sottoponendoli a flusso di N_2 a temperature prossime a quelle dell'azoto liquido (T = -196 °C) e a valori di pressione relativa (p/p_0) da 0,05 a 1, impiegando il metodo BET. Si riportano in Tabella 1 i valori relativi ad una zeolite tal quale (ma degasata a 200 °C per eliminare l'umidità), di una zeolite con adsorbimento di [^{18}F]FDG e di una zeolite scaldata di nuovo a 200 °C per eliminare il tracciante:

	Area superficiale (m^2/g)	Volume dei mesopori (cm^3/g)
Zeolite t.q.	616	0,47
Zeolite con adsorbimento di [^{18}F]FDG	425	0,37
Zeolite con desorbimento di [^{18}F]FDG	455	0,40

Tabella 1: area superficiale e volume dei mesopori delle zeoliti tal quale, con adsorbimento e con desorbimento di [^{18}F]FDG.

3. Conclusioni

I risultati ottenuto hanno dimostrato che le zeoliti, dopo aver adsorbito [^{18}F]FDG, rappresentano una sorgente ideale, in quanto a dimensioni e forme, per simulare lesioni tumorali captanti il radiotracciante PET in un fantoccio antropomorfo. In particolare è possibile preparare zeoliti con diverse concentrazioni radioattive e posizionarle in diversi punti del fantoccio in modo da poter verificare in maniera accurata il limite di rilevabilità dell'apparecchiatura. Occorrono ulteriori indagini per comprendere quale sia il meccanismo di *uptake* dell'[^{18}F]FDG da parte delle zeoliti, poiché gli assi polare ed equatoriale del glucosio, di cui l'[^{18}F]FDG è un analogo, sono rispettivamente di 7,6 Å e 7,5 Å. Potrebbe essere ipotizzabile una rottura della forma ciclica a motivo delle forze di interazione con la superficie del setaccio molecolare e ulteriori informazioni potrebbero essere ricavate da studi più approfonditi sulla purezza radiochimica della molecola nella soluzione salina dopo il desorbimento spontaneo.

DETERMINAZIONE DI CURVE DI CALIBRAZIONE PER RADIONUCLIDI MEDICALI IMPIEGATI IN INDAGINI SPECT IN PARTICOLARE NELLA RADIOTERAPIA METABOLICA DEL TUMORE TIROIDEO

Dolores Arginelli[1], Anna Miranti[2], Sandro Ridone[1], Luca Vigna[2]
1- ENEA – BAS-ION – Istituto di Radioprotezione, Saluggia,
2- Università degli Studi di Torino-Dipartimento di Fisica Sperimentale

1. Premessa

Da decenni lo ^{131}I è stato impiegato con successo nel trattamento dei tessuti tiroidei rimanenti dopo la tiroidectomia. Tuttavia, la dose esatta nei tessuti tiroidei è ancora sconosciuta. Utilizzando la formula di Maxon per calcolarla la maggior parte delle variabili di questa espressione sono note, mentre rimane incerta la stima della massa trattata. Tale parametro può essere valutato da informazioni chirurgiche o tramite indagine SPECT. Impiegando quest'ultima tecnica è necessario trovare, attraverso curve di calibrazione, una relazione tra volume visualizzato dalla gamma camera e volume reale, poiché le immagini appaiono più grandi delle dimensioni reali, soprattutto nel caso di piccoli volumi.

2. Metodi e risultati

Sono stati realizzati volumi reali tramite l'uso di siringhe da 1, 2, 5 e 10 mL, riempite con differenti volumi di alcuni radionuclidi di interesse medicale (^{99m}Tc, ^{117m}Sn, ^{111}In, ^{131}I) in soluzione acquosa. Le quantità prese in considerazione sono il diametro della siringa, uguale per le siringhe di uguale capienza, e la lunghezza occupata dal liquido al suo interno. Il volume reale è stato calcolato come quello di un cilindro di raggio pari al raggio della siringa e altezza uguale alla lunghezza di liquido radioattivo nella siringa. Questo dato è stato confrontato con il volume misurato attraverso l'indagine SPECT con gamma camera, impiegando due diversi metodi di calcolo del volume: l'uno basato sulla selezione automatica dei Volumes of Interest (VOI) e l'altro sulla selezione manuale delle dimensioni nelle immagini trasversale, sagittale e coronale (v. Fig. 1). Sono stati valutati, inoltre, diversi metodi di ricostruzione dell'immagine e il più appropriato è risultato essere il Flash 3D^{TM} della Siemens, poiché ricostruisce bene l'immagine con le dimensioni inferiori e più vicine a quelle reali. L'errore proveniente dalla stima dei volumi con le curve di calibrazione è risultato in genere comunque non inferiore al 30%. A partire da queste basi sperimentali è stata calcolata la dose con il metodo di Maxon su due pazienti ^{131}I, associando una stima dell'errore, che in studi precedenti era stata generalmente trascurata.

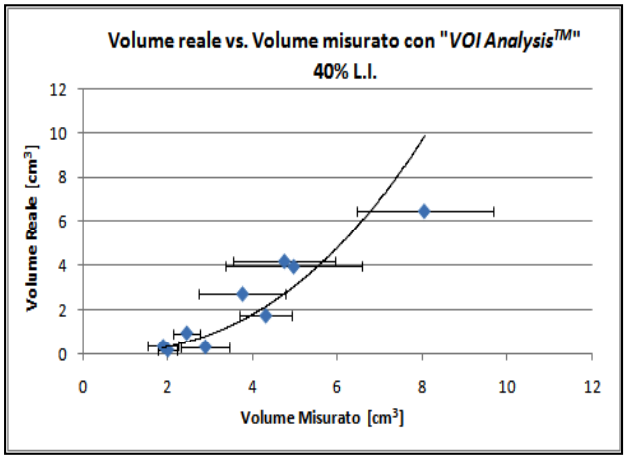


Fig. 1: Volume reale rappresentato in funzione del volume misurato con la gamma camera tramite programma *VOI Analysis*^{TM} e relativa curva di calibrazione. Per ciascuna percentuale di intensità corrisponde una diversa curva di calibrazione.

3. Conclusioni

La massa tiroidea è stata valutata dopo una settimana dalla somministrazione dell'attività terapica e i valori ottenuti non permettono una stima corretta della dose: infatti tale parametro si riduce della metà tra il momento della somministrazione dell'attività terapica dello ^{131}I e l'indagine SPECT sui volumi dei tessuti residui. Le dosi relative ai pazienti considerati, che sono state calcolate con questo approccio sono risultate, in ogni caso, diverse da quelle in letteratura. È necessario, pertanto, considerare gli errori associati alle misure, che sono notevoli, nonché il fatto che la dose calcolata ad una settimana dalla terapia non è corretta. Questi fattori potrebbero spiegare la differenza tra i valori della dose assorbita in pazienti simili, cui era stata somministrata la stessa attività, e la mancanza di correlazione tra dose calcolata e risultato della terapia.

INTERCONFRONTO "EURADOS 2008" PER DOSIMETRI PER CORPO INTERO PER FOTONI: PARTECIPAZIONE DEL SERVIZIO DOSIMETRICO BAS ION-IRP

Bruna Morelli, Francesca Mariotti, Giovanni Baldassarre, Giancarlo Uleri
ENEA – BAS ION - Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

L'EURADOS (European Radiation Dosimetry Group) promuove migliora e l'armonizza lo sviluppo della ricerca nel campo della dosimetria delle radiazioni ionizzanti all'interno della UE. Per coordinare le numerose attività, l'EURADOS si avvale di gruppi di lavoro. Il sottogruppo 2 (SG2-WG2) del Working Group 2 "Harmonization in Individual Monitorig in Europe" che ha il compito di realizzare e gestire interconfronti periodici su scala europea, ha promosso e organizzato "l'EURADOS Intercomparison 2008 for Whole body dosemeters" a cui il Servizio Dosimetrico dell'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA ha preso parte con il dosimetro personale per corpo intero per radiazione X e gamma.

2. Interconfronto

L'interconfronto "EURADOS 2008 for Whole body dosemeters" si pone l'obbiettivo di stimare l'Equivalente di dose personale Hp(10) e Hp(0,07) con dosimetri per corpo intero utilizzati per il monitoraggio di routine dei lavoratori esposti a radiazione fotonica. Hanno partecipato all'interconfronto 52 paesi europei per un totale di 62 sistemi dosimetrici. E' stato richiesto ai servizi dosimetrici partecipanti, il pagamento di una quota di iscrizione di 1250 Euro. L'interconfronto si è svolto in diverse fasi a partire da febbraio 2008 con la pubblicazione dell'annuncio, e terminate nel meeting di discussione dei risultati tra l'Organization Group e i partecipanti tenutosi al PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) a Braunschweig (Germania) il 27 gennaio 2009 in coincidenza dell' "EURADOS Annual Meeting 2009".
Le fasi dell'Interconfronto si sono articolate nel seguente modo:

- invio da parte del Servizio Dosimetrico di 26 dosimetri per corpo intero X e gamma richiesti, 20 per l'irraggiamento, 2 per la dose di transito e il controllo del background e 4 di scorta, entro il 1 luglio 2008;
- irraggiamento dei dosimetri inviati nelle "facility" di irraggiamento di laboratori Europei accreditati e incaricati dall''EURADOS, in termini di Hp(10) e di Hp(0,07), nel range di energia da 30 keV a 1,3 MeV con dosi da 0,2 mSv a 1 Sv e angoli di incidenza ± 60°;
- rispedizione dei dosimetri irraggiati al servizio per eseguito le letture dosimetriche e comunicazione delle stesse all' "Organization Group" entro il 30 settembre 2008;
- elaborazione dei risultati ricevuti dai partecipanti da parte dell'Organization Group e invio del report dei risultati preliminari ai partecipanti entro novembre 2008;
- consegna del "Certificato di Partecipazione" contenente le specifiche sugli irraggiamenti, le dosi impartite, e i valori delle risposte dosimetriche comunicate (gennaio 2009);

pubblicazione sul sito www.eurados.org del draft del report conclusivo dove sono presentati i risultati ottenuti dai servizi partecipanti in forma anonima e riportati in grafico con il criterio delle "trumpet curve" per fotoni ISO-14146. (Vedi Fig.1)

3. Conclusioni

Il Servizio Dosimetrico ENEA ha partecipato negli ultimi 10 anni a diversi interconfronti promossi da Eurados per dosimetria neutronica in campi misti e per radiazione fotonica e beta. Gli interconfronti promossi dall'EURADOS che conta tra i sui membri i massimi esperti europei in dosimetria individuale, costituisce un riferimento di altissima qualità nel campo della ricerca europea sulle metodiche di misura in dosimetria delle radiazioni ionizzanti. I risultati della prestazione del dosimetro per corpo intero X e γ del Servizio Dosimetrico ENEA-IRP nell'interconfronto Eurados 2008 saranno riportati e discussi in dettaglio in un lavoro presentato al XXXIV Congresso Nazionale di Radioprotezione AIRP che savrà luogo a Frascati dal 28-30 ottobre 2009.

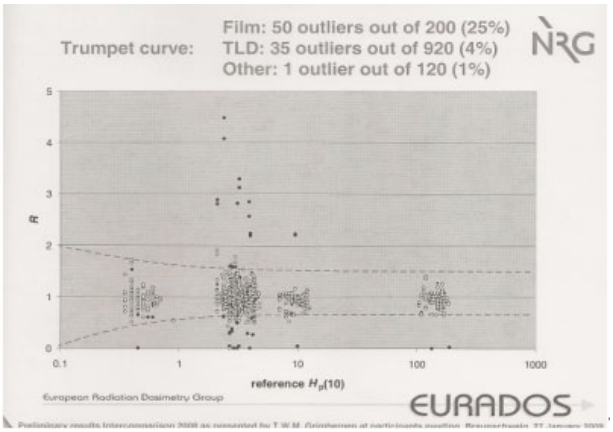


Figura 1: Risultati dell'Interconfronto Eurodos 2008 presentati nel draft del report conclusivo scaricabile dal sito dell'Eurados.

INTERCONTFRONTO DI MISURE RADIOTOSSICOLOGICHE "PROCORAD® 2008": PARTECIPAZIONE DEI LABORATORI BAS ION IRP

Paolo Battisti
ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

La partecipazione ad attività di intercalibrazione ed interconfronto è da anni una prassi regolarmente adottata dai Laboratori dell'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA, essendo pressoché unanimemente riconosciuta come una delle vie maestre per la qualificazione e la verifica nel tempo dell'affidabilità delle prestazioni fornite. Ciò è particolarmente vero per tipologie di misura, fra cui quelle effettuate ai fini di dosimetria interna, per le quali il disporre di idonei standard di calibrazione può risultare problematico, sia per gli elevati costi finanziari che ciò comporta, sia per la difficoltà stessa di reperire sul mercato campioni metrologicamente qualificati. Tali attività, in specie se a carattere internazionale, offrono peraltro l'opportunità di inserimento in un contesto tecnico scientifico più ampio, il che indubitabilmente favorisce lo scambio di informazioni, l'analisi critica e l'aggiornamento delle tecniche analitiche utilizzate e quindi la crescita delle competenze e delle capacità operative dei Laboratori stessi. Nell'ambito delle misure del contenuto di radionuclidi in campioni biologici finalizzate alla sorveglianza radioprotezionistica della contaminazione interna, le cosiddette misure Radiotossicologiche, una delle iniziative più accreditate a livello internazionale è sicuramente costituita dalle campagne di interconfronto organizzate dalla PROCORAD®, società privata francese istituita allo scopo da alcuni dei maggiori esperti della materia. Gli interconfronti PROCORAD si svolgono con scadenza annuale fin dalla metà degli anni '90 proponendo un set di prove che abbraccia le principali tipologie di misure utilizzate in radiotossicologia ed hanno registrato nel tempo una partecipazione sempre più ampia e qualificata da parte dei principali Laboratori europei ed extraeuropei operanti nel campo. L'Istituto di Radioprotezione ENEA partecipa continuativamente a PROCORAD fin dal 1996, dapprima con il solo Laboratorio di Radiotossicologia IRP Casaccia e successivamente anche con i Laboratori IRP di Frascati (dal 2000 anche se non ha patecipato nel 2008), Saluggia (dal 2003) e Trisaia (dal 2005), ciascuno per le tipologie di misura di interesse.

2. L'interconfronto PROCORAD 2008

Come nelle passate edizioni, anche nel 2008 l'interconfronto PROCORAD ha proposto una serie di esercizi diversificati inerenti la misura del contenuto di varie tipologie di radionuclidi in campioni di urina e feci, consentendo l'applicazione delle principali metodologie di analisi comunemente utilizzate in radiotossicologia. All'interconfronto hanno complessivamente aderito 70 laboratori di 20 Paesi, di cui 62 provenienti dall'Europa (6 dall'Italia, di cui 4 BAS ION IRP), 4 dall'America del Nord, 3 dall'America del Sud, 1 dall'Asia; in Tabella 1 vengono indicati per ogni esercizio proposto, descrizione della prova (tipologia e numero di campioni, determinazione prevista), numero complessivo di partecipanti e partecipanti BAS ION IRP.

Tabella 1 : Interconfronto PROCORAD 2008: descrizione sintetica degli esercizi proposti e partecipazione.

Ex.	Tipologia campione	N° campioni	Radionuclide/i di cui determinare il contenuto	Totale partecipanti adesione	risposte	Laboratori BAS ION IRP partecipanti
1	urina	5 1	trizio inorganico trizio organico	51 24	50 17	Casaccia, Casaccia,
2	urina	4	carbonio (^{14}C)	35	33	Casaccia
3	urina	3	gamma-emettitori stronzio (^{90}Sr)	45 40	44 34	Casaccia, Saluggia, Trisaia Casaccia, Trisaia
4	urina	3	uranio	36	32	Casaccia
5	urina	3	attinidi	37	35	Casaccia, Saluggia
6	feci	3	Plutonio Americio e Curio	36 34	33 29	Casaccia, Saluggia Casaccia, Saluggia
7	urina	1	non specificati ("surprise")	35	34	nessuno

3. Risultati ottenuti dai Laboratori dell'Istituto di Radioprotezione ENEA

Nelle Tabelle 2 -5 sono riportati in termini di BIAS (scarto relativo fra valore misurato e valore certificato) gli esiti forniti dai 4 Laboratori BAS ION IRP agli esercizi PROCORAD 2008 cui hanno partecipato.

Tabella 2. Esercizio 1 e 2 (determinazione contenuto di ^{3}H e ^{14}C rispettivamente in 5 e 4 campioni di urina): risultati ottenuti dai laboratori BAS ION IRP in termini di BIAS (%) rispetto al dato di attività "vero" dei radionuclidi presenti**.**

Laboratorio BAS ION IRP	^{3}H camp.A Blank(*)	^{3}H camp.B BIAS (%)	^{3}H camp.C BIAS (%)	^{3}H camp.D BIAS (%)	^{3}H camp.Fo BIAS (%)	^{3}H camp.Fi BIAS (%)	^{14}C camp.A Blank(*)	^{14}C camp.B BIAS (%)	^{14}C camp.C BIAS (%)	^{14}C camp.D BIAS (%)
Casaccia	NR	10	9.1	5.2	14	6.0	NR	0,0	-6,8	-2,4

NR = nessun radionuclide rivelato

Tabella 3. Esercizio 3 (determinazione contenuto di radionuclidi γ-emettitori e ^{90}Sr in 3 campioni di urina): risultati ottenuti dai laboratori BAS ION IRP in termini di BIAS (%) rispetto al dato di attività "vero" dei radionuclidi presenti**.**

Laboratorio BAS ION IRP	campione A BIAS (%)	campione B BIAS (%)				campione C BIAS (%)				
	^{40}K	^{113}Sn	^{133}Ba	^{57}Co	^{90}Sr	^{57}Co	^{113}Sn	^{152}Eu	^{134}Cs	^{90}Sr
Casaccia	NV	1,1	8,7	0,7	5,1	-2,3	0,5	6,4	0,3	7,1
Saluggia	NV	2,0	9.0	4,0	11	4,0	-2,0	6,0	2,0	19
Trisaia	NV	2,0	12,8	-1,9	26	2,0	3,8	-2,2	1,1	28

NE = determinazione non effettuata

Tabella 4. Esercizio 4 (determinazione contenuto di Uranio in 3 campioni di urina): risultati ottenuti dai laboratori BAS ION IRP in termini di BIAS (%) rispetto al dato di attività "vero" dei radionuclidi presenti**.**

Laboratorio BAS ION IRP	campione A BIAS (%)				campione B BIAS (%)				campione C BIAS (%)
	^{234}U	^{235}U	^{238}U	U_{totale}	^{234}U	^{235}U	^{238}U	U_{totale}	Blank(*)
Casaccia	-11.4	-11,1	-9,5	0,1	-1,3	-12,9	-1,3	28,1	NR

NR = nessun radionuclide rivelato

Tabella 5. Esercizi 5 e 6 (determinazione attinidi in 3 campioni di urina e feci e in soluzione standard di ^{238}Pu): risultati ottenuti dai laboratori BAS ION IRP in termini di BIAS (%) rispetto al dato di attività "vero" dei radionuclidi presenti

Laboratorio BAS ION IRP	Urine A BIAS (%)			Urine B BIAS (%)		Urine C	Feci B BIAS (%)		Feci C BIAS (%)		Feci A	Sol. Stnd.
	^{238}Pu	^{241}Am	^{244}Cm	^{238}Pu	^{244}Cm	blank(*)	^{239}Pu	^{244}Cm	^{241}Am	^{244}Cm	blank(*)	^{238}Pu
Casaccia	-3,6	26	11	-1,6	3,6	NR	-2,8	7,4	16	10	NR	-6,6
Saluggia	-3,0	26	2	-5,0	-10	NR	1,0	-20	6,0	-11	NR	1,0

NR = nessun radionuclide rivelato

Da un'analisi sintetica dei risultati effettuata sulla base del criterio di accettabilità del dato di misura proposto dall'ISO (BIAS compreso nell'intervallo [-25%,+50%]), si rileva la piena conformità degli esiti della totalità delle misure eseguite da tutti i Laboratori. Al di là di qualche risultato singolo (es: Uranio totale nelle urine campione B), sono da segnalare le ottime performance dimostrate dai Laboratori IRP nella misura di spettrometria gamma, nella determinazione degli isotopi del Plutonio in urine e feci e nella misura di trizio e di carbonio (^{14}C) nelle urine. Di converso si rileva, pur in un quadro di ampia accettabilità dei risultati, la necessità di affinamento dei metodi per la determinazione dell'Am-241 nelle urine mediante spettrometria alfa e dello Sr-90 nelle urine per il Laboratorio di Trisaia ed in parte anche di Saluggia. Si rileva infine un evidente, se pur limitato, errore sistematico nella determinazione degli isotopi dell'Uranio per attività, in specie per il Laboratorio Casaccia, molto probabilmente dovuto all'utilizzo di un tracciante di resa (^{236}U) non del tutto idoneo.

4. Conclusioni

I risultati ottenuti in questo interconfronto PROCORAD 2008 dai Laboratori BAS ION IRP sono da considerare ampiamente soddisfacenti. A testimonianza di ciò si sottolineano per altro le menzioni di merito, con richiesta di pubblicazione delle metodologie adottate, inviate da PROCORAD al Laboratorio di Casaccia per le determinazioni del Plutonio nelle feci, al Laboratorio di Trisaia per la determinazione dei radionuclidi gamma emettitori nelle urine ed a quello di Saluggia per la determinazione del plutonio nella soluzione standard.

PARTECIPAZIONE ENEA BAS ION IRP ALLA RETE IAEA "ALMERA": PROFICIENCY TEST 2008

Paolo Battisti
ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Introduzione

ALMERA (Analytical Laboratorirs for the Measurement of Environmental Radioactivity) è un network di Laboratori istituito nel 1995 dalla IAEA a livello internazionale come supporto alle attività dell'Agenzia stessa nel campo della radioprotezione e della valutazione di impatto radiologico in aree colpite da eventi incidentali o dolosi con rilascio di radioattività nell'ambiente .

Obiettivo primario di ALMERA è quello di avere a disposizione e mantenere efficiente un gruppo di laboratori di misura della radioattività in diverse tipologie di campioni, specialmente di tipo ambientale, in grado di:

- fornire la più estesa copertura in termini di assistenza e capacità di risposta al fine di mitigare gli effetti di una emergenza radiologica;
- sviluppare e definire metodi radiochimici e radioanalitici rapidi ed affidabili;
- compilare linee guida inerenti campionamento e metodi di analisi da utilizzarsi nei Laboratori degli Stati Membri;
- perseguire un livello adeguato di comparabilità dei risultati di misura espressi in accordo col sistema SI;
- costituire un riferimento affidabile per le Istituzioni governative dei diversi Paesi in termini di informazioni e consulenza;
- addestrare personale scientifico proveniente dai laboratori degli Stati Membri;
- partecipare alla certificazione dei materiali di riferimento IAEA ed ai progetti internazionali nel campo del monitoraggio della Radioattività

La partecipazione dell'Italia ad ALMERA inizia solo nel 2005 con l'adesione, su mandato del Governo, di 3 diverse Istituzione ed ENTI, fra cui l'ENEA attraverso i Laboratori dell'Istituto di Radioprotezione dislocati presso i Centri di Casaccia, Saluggia e Trisaia.

2. I Proficiency Test ALMERA

Uno dei punti qualificanti nell'adesione ad ALMERA è costituito dalla opportunità di poter partecipare a campagne di interconfronto appositamente organizzate per rendere effettivi gli obiettivi prima elencati inerenti affidabilità dei Laboratori, nonchè qualità e confrontabilità dei dati di misura da essi forniti. Tali interconfronti, organizzati con scadenza generalmente annuale, costituiscono dei veri e propri "proficiency test" per le diverse tipologie di analisi di volta in volta proposte ed i cui esiti determinano la "accettabilità" di ciascun membro nella particolare prestazione che può quindi essere chiamato, ovviamente in caso di superamento del test, ad effettuare quelle stesse tipologie di analisi per conto della IAEA in caso di necessità.

Fra la fine del 2007 e di primi mesi del 2008 ha avuto logo il Proficiency test IAEA-CU-2007-03 ALMERA con "dead line" per la presentazione dei risultati fissata al febbraio 2008. Il test consisteva nella determinazione di una serie di radionuclidi in 3 matrici differenti: acqua, suolo e vegetale (spinaci). Per ciascuna matrice erano statio formnito un singolo campione su l quale erano specificaste le tipologie di analisi da effettuare in relazione alle tipologie di radionuclidi presenti e specificatamente:

- spinaci: determinazione della concentrazione di attività di radionuclidi gamma emettitori (^{137}Cs e ^{40}K), dello ^{90}Sr, degli isotopi dell'uranio (^{234}U e ^{238}U) e degli attinidi via spettrometria alfa (^{238}Pu, $^{239/240}$Pu e ^{241}Am)
- Suolo e acqua: determinazione della concentrazione di attività di 8 radionuclidi gamma emettitori tutti mediante spettrometria gamma (^{241}Am incluso).

Nelle 3 tabelle seguenti sono riportati gli esiti ottenuti nel test dai Laboratori BAS ION IRP per le 3 matrici e per tutti i radionuclidi, fatta eccezione per le determinazioni degli attinidi nel campione di vegetale; per ^{238}Pu, $^{239/240}$Pu e ^{241}Am infatti, data la ridottissima attività presente, l'organizzazione ALMERA ha analizzato la risposta solo in riferimento ad valori limite di attività presente. Sono pertanto stati valutati accettabili

(valutazione finale "A") tutti i dati che indicavano o una concentrazione inferiore a tale valore limite o valori al di sotto di una minima attività rinvelabile (MDA) confrontabile con tale valore limite. I due Labotratori ENEA di Casaccia e Saluggia che hanno effettuato la determinazione degli attinidi sono risultati entrambi accettabili per tutte queste tre determinazioni richieste.

Tabella 1. Proficirency test IAEA–CU-2007-03: esiti delle determinazioni effettuate dai tre LABORATORI ENEA Istituto di Radioprotezione sul campione di spinaci (campione IAEA330). Il dato di incertezza assoluta associata a ciascun valore di attività è indicato fra parentesi accanto al valore di attività stesso.

IAEA		CASACCIA					SALUGGIA					TRISAIA				
R.N.	**Attività certificate (Bq/kg)**	**Attività Lab. (Bq/kg)**	**BIAS (%)**	**Valutazione**			**Attività Lab. (Bq/kg)**	**BIAS (%)**	**Valutazione**			**Attività Lab. (Bq/kg)**	**BIAS (%)**	**Valutazione**		
				T	**P**	**F**			**T**	**P**	**F**			**T**	**P**	**F**
^{90}Sr	20.1 (2.1)	17 (1.1)	-14	A	A	A	18.8 (4.3)	-6.5	A	N	W	22.3 (2.4)	10.9	A	A	A
^{234}U	1.02 (.07)	.07(.26)	-75	N	N	N	n.m	---	--	--	--	n.m	---	--	--	--
^{40}K	1188 (30)	1240 (85)	4.4	A	A	A	1173 (54)	-1.2	A	A	A	1276 (75)	7.4	A	A	A
^{137}Cs	1235 (35)	1220 (80)	-1.2	A	A	A	1168 (26)	-5.4	A	A	A	1140 (65)	-7.7	A	A	A
^{238}U	0.95 (.05)	.42 (.06)	-56	N	A	N	n.m	---	--	--	--	n.m	---	--	--	--

Abbreviazioni: T = trueness, P = precisione, F = valutazione finale, A = accettabile, W = warning, N = non accettabile, n.m. = misura non effettuata

Tabella 2. Proficirency test IAEA–CU-2007-03: esiti delle determinazioni effettuate dai tre LABORATORI ENEA Istituto di Radioprotezione sul campione di suolo (campione IAEA 444). Il dato di incertezza assoluta associata a ciascun valore di attività è indicato fra parentesi accanto al valore di attività stesso.

IAEA		CASACCIA					SALUGGIA					TRISAIA				
R.N.	**Attività certificate (Bq/kg)**	**Attività Lab. (Bq/kg)**	**BIAS (%)**	**Valutazione**			**Attività Lab. (Bq/kg)**	**BIAS (%)**	**Valutazione**			**Attività Lab. (Bq/kg)**	**BIAS (%)**	**Valutazione**		
				T	**P**	**F**			**T**	**P**	**F**			**T**	**P**	**F**
^{60}Co	82.6 (2.0)	81.7 (6.1)	-1.1	A	A	A	83.1 (2.3)	.61	A	A	A	79.7 (4.0)	-3.5	A	A	A
^{54}Mn	61.0 (1.2)	57.8 (5.6)	-5.3	A	A	A	61.2 (1.9)	.33	A	A	A	59.9 (4.0)	-1.8	A	A	A
^{65}Zn	29.9 (1.0)	30.5 (6.5)	2.0	A	N	W	27.9 (1.0)	-6.7	A	A	A	32.2 (3.2)	7.7	A	A	A
^{109}Cd	249 (5.1)	247 (40)	-.68	A	A	A	260 (10)	4.5	A	A	A	258 (25)	3.7.	A	A	A
^{134}Cs	59.4 (1.7)	55.8 (4.4)	-6.1	A	A	A	58.1 (1.4)	-2.2	A	A	A	52.8 (2.7)	-11.	A	A	A
^{137}Cs	68.5 (1.4)	67.5 (5.9)	-1.5	A	A	A	67.7 (1.9)	-1.2	A	A	A	66.1 (3.7)	-3.5	A	A	A
^{241}Am	55.6 (1.6)	48.0 (6.8)	-14.	A	A	A	54.2 (1.7)	-2.5	A	A	A	46.3 (4.8)	-17.	A	A	A
^{210}Pb	48.0 (1.5)	45.8 (9.5)	-4.6	A	N	W	45.1 (4.5)	-6.0	A	A	A	55.5 (11.)	16.	A	N	W

Abbreviazioni: T = trueness, P = precisione, F = valutazione finale, A = accettabile, W = warning, N = non accettabile, n.m. = misura non effettuata

Tabella 1. Proficirency test IAEA–CU-2007-03: esiti delle determinazioni effettuate dai tre LABORATORI ENEA Istituto di Radioprotezione sul campione di acqua (campione IAEA 445). Il dato di incertezza assoluta associata a ciascun valore di attività è indicato fra parentesi accanto al valore di attività stesso.

IAEA		CASACCIA					SALUGGIA					TRISAIA				
R.N.	**Attività certificate (Bq/kg)**	**Attività Lab. (Bq/kg)**	**BIAS (%)**	**Valutazione**			**Attività Lab. (Bq/kg)**	**BIAS (%)**	**Valutazione**			**Attività Lab. (Bq/kg)**	**BIAS (%)**	**Valutazione**		
				T	**P**	**F**			**T**	**P**	**F**			**T**	**P**	**F**
^{54}Mn	4.74 (.02)	4.9 (.37)	3.4	A	A	A	4.6 (.12)	0.3	A	A	A	4.9 (.30)	0.3	A	N	W
^{60}Co	7.52 (.06)	8.2 (.50)	9.0	A	A	A	7.2 (.23)	-2.9	A	A	A	7.3 (.40)	-2.9	A	A	A
^{65}Zn	13.1 (.15)	14.7 (1.0)	12.6	A	A	A	12.3 (.48)	12.6	A	A	A	13.1 (1.4)	12.6	A	A	A
^{134}Cs	7.65 (.10)	7.1 (.50)	-7.2	A	A	A	7.0 (.12)	-8.5	N	A	W	7.0 (.60)	-8.5	A	A	A
^{137}Cs	8.12 (.06)	7.8 (.60)	-3.9	A	A	A	7.9 (.15)	-1.5	A	A	A	8.0 (.40)	-1.5	A	A	A
^{241}Am	7.11 (.05)	7.9 (.70)	11.1	A	A	A	6.6 (.18)	11.	N	A	W	7.6 (.80)	11.	A	A	A
^{210}Pb	29.3 (.50)	26.2 (4.7)	-10.7	A	A	A	28.7 (3.2)	13.	A	A	A	33.3 (5.9)	13.	A	A	A
^{109}Cd	35.0 (.20)	32.0 (3.0)	-8.5	A	A	A	28.9 (1.0)	-2.8	N	A	N	34.0 (5.5)	-2.8	A	N	W

Abbreviazioni: T = trueness, P = precisione, F = valutazione finale, A = accettabile, W = warning, N = non accettabile, n.m. = misura non effettuata

3. Conclusioni

Dall'analisi dei dati risultano ottime performance complessive per tutti i 3 Laboratori nelle determinazioni mediante spettrometria gamma in tutte le matrici proposte, così come per la determinazione del ^{90}Sr nel campione di vegetale, se pure si evidenzia nel contempo la necessità di una migliore definizione del calcolo della precisione. Il vero punto di criticità, per altro sorprendente se confrontato con analoghe esperienze effettuate in precedenti occasioni utilizzando la stessa tecnica di misura mediante ICPMS, è emerso invece nella misura degli isotopi dell'Uranio, per il quale si rende evidentemente necessaria una attenta revisione della metodologia e l'eventuale individuazione di errori sistematici .

SORVEGLIANZA FISICA DI RADIOPROTEZIONE E VALUTAZIONI DI SICUREZZA RADIOLOGICA

PROCEDURE DI MISURE DI RADIONUCLIDI IN MATRICI AMBIENTALI PRESSO IL LABORATORIO DI SORVEGLIANZA AMBIENTALE DEL C.R. CASACCIA

Giorgia Iurlaro, Roberto Stefanoni, Elvio Soldano, Nadia Di Marco, Giuseppe Antonacci, Giuseppina Vanga
ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Casaccia

1. Premessa

Nel corso del 2008 l'Istituto di Radioprotezione ha concordato un lavoro di riorganizzazione in un unico documento delle metodiche impiegate nell'attuazione del programma di Sorveglianza Ambientale nel Centro Casaccia; lo scopo principale è la raccolta in un unico rapporto tecnico di tutte le procedure di misura di radionuclidi nelle matrici ambientali, integrando e aggiornando con opportuni riferimenti alle norme di buona tecnica e alle pubblicazioni internazionali le note procedure operative [1].
Il documento si articolerà in quattro parti fondamentali: procedure di campionamento, preparazione dei campioni, analisi chimica e della modalità di misura delle matrici ambientali di interesse per il Centro Casaccia. Il quadro metodologico sarà completato con una breve descrizione della strumentazione di cui il laboratorio è dotato e delle tecniche di taratura impiegate.

2. Brevi riferimenti normativi

Il controllo del grado di radioattività ambientale, allo scopo di determinare l'esposizione dell'insieme della popolazione, è trattato nella Raccomandazione della Commissione Europea dell'8 giugno 2000, n. 2000/473/Euratom che regolamenta l'applicazione dell'articolo 36 del Trattato Euratom. Ogni stato membro della Comunità Europea che disponga di impianti è tenuto a effettuare un controllo permanente del grado di radioattività dell'atmosfera, delle acque e del suolo e tutte le informazioni relative ai controlli devono essere regolarmente comunicate alle autorità competenti della Commissione. Per completezza ogni stato predispone anche misure di campioni biologici e derrate alimentari specifiche oltre all'intensità di dose ambientale. I programmi di controllo possono cambiare in funzione dell'evoluzione dei livelli di radioattività , della tecnologia di misurazione e delle esigenze poste da misure di emergenza.
E' previsto che i controlli siano effettuati per le particelle in sospensione, ratei di dose esterni, le acque superficiali, le acque destinate al consumo umano (potabili), il latte e la dieta mista, secondo quanto previsto nella Raccomandazione n. 2000/473/Euratom [2].
La rete di sorveglianza locale del Centro ENEA Casaccia ha lo scopo di controllare la radioattività ambientale in prossimità degli impianti Reattore TRIGA RC-1, Reattore RSV TAPIRO e Impianto Plutonio ed è stata progettata in funzione delle tipologie di impianto e dei possibili scenari di incidente. In accordo con quanto definito dalla legislazione, i dati sono inviati all'APAT che svolge altresì attività di vigilanza sugli impianti stessi.
Tutte le misure previste per il monitoraggio ambientale sono svolte dal Laboratorio per la Sorveglianza della Radioattività Ambientale presente nel Centro ENEA Casaccia. Una rete di sorveglianza locale ha come obiettivi principali:

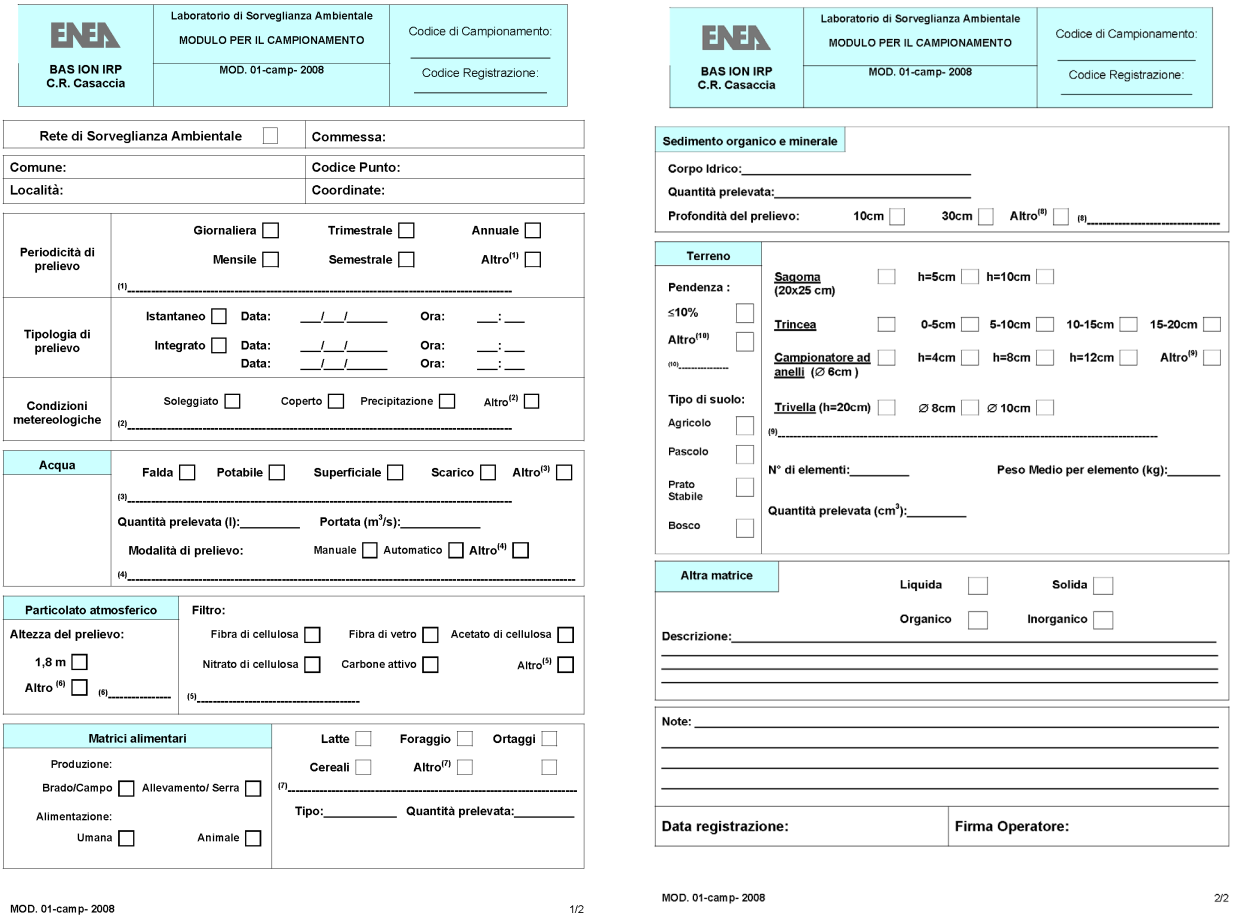
- seguire l'andamento spazio temporale delle concentrazioni di radioelementi nelle matrici ambientali, evidenziando eventuali fenomeni di accumulo;
- individuare in modo rapido e monitorare nel tempo contaminazioni a seguito di incidenti nucleari e radiologici coinvolgenti gli impianti di riferimento senza escludere la possibilità di eseguire opportune valutazioni in caso di incidente di vaste porzioni nel territorio nazionale;
- fornire le misure necessarie per la valutazione della dose alla popolazione derivante da radionuclidi presenti in matrici ambientali e alimentari;
- costituire la base di dati per una corretta informazione alle istituzioni e alla popolazione.

3. Esempio: Procedura per il campionamento

Le procedure di campionamento descrivono i criteri di selezione, il piano di campionamento, di ritiro e di preparazione di uno o di più campioni a partire da una sostanza, da un materiale o da un prodotto per ottenere l'informazione richiesta.
A titolo di esempio si riportano di seguito i campi di informazione necessari per ogni procedura, con riferimento al campionamento dell'acqua, e una prima schematizzazione del modulo di registrazione dei dati pertinenti al campionamento.

Tabella 1: Procedura per il campionamento dell'acqua

1	Scopo	**7**	Modalità operative per la Rete di Sorveglianza Ambientale: Campionamento di acqua di falda Campionamento di acqua potabile Campionamento di acqua superficiale (fiumi) Campionamento di acqua di scarico
2	Normativa di Riferimento		
3	Definizioni		
4	Precauzioni di sicurezza generali	**8**	Preparazione della strumentazione per il campionamento
5	Materiali e apparecchiature per il campionamento	**9**	Trasporto e deposito presso il laboratorio
6	Caratteristiche e condizioni del campionamento	**10**	Identificazione del campione e registrazione


ENEA
BAS ION IRP
C.R. Casaccia

Laboratorio di Sorveglianza Ambientale
MODULO PER IL CAMPIONAMENTO
MOD. 01-camp- 2008

Codice di Campionamento: _____
Codice Registrazione: _____

Rete di Sorveglianza Ambientale ☐ | Commessa:

Comune: | Codice Punto:
Località: | Coordinate:

Periodicità di prelievo: Giornaliera ☐ Trimestrale ☐ Annuale ☐ Mensile ☐ Semestrale ☐ Altro[1] ☐ (1)_____

Tipologia di prelievo: Istantaneo ☐ Data: __/__/____ Ora: __:__ Integrato ☐ Data: __/__/____ Ora: __:__ Data: __/__/____ Ora: __:__

Condizioni metereologiche: Soleggiato ☐ Coperto ☐ Precipitazione ☐ Altro[2] ☐ (2)_____

Acqua: Falda ☐ Potabile ☐ Superficiale ☐ Scarico ☐ Altro[3] ☐ (3)_____
Quantità prelevata (l):_____ Portata (m^3/s):_____
Modalità di prelievo: Manuale ☐ Automatico ☐ Altro[4] ☐ (4)_____

Particolato atmosferico
Altezza del prelievo: 1,8 m ☐ Altro [6] ☐ (6)_____
Filtro: Fibra di cellulosa ☐ Fibra di vetro ☐ Acetato di cellulosa ☐ Nitrato di cellulosa ☐ Carbone attivo ☐ Altro[5] ☐ (5)_____

Matrici alimentari
Produzione: Brado/Campo ☐ Allevamento/ Serra ☐
Alimentazione: Umana ☐ Animale ☐
Latte ☐ Foraggio ☐ Ortaggi ☐ Cereali ☐ Altro[7] ☐ (7)_____
Tipo:_____ Quantità prelevata:_____

MOD. 01-camp- 2008 1/2

ENEA
BAS ION IRP
C.R. Casaccia

Laboratorio di Sorveglianza Ambientale
MODULO PER IL CAMPIONAMENTO
MOD. 01-camp- 2008

Codice di Campionamento: _____
Codice Registrazione: _____

Sedimento organico e minerale
Corpo Idrico:_____
Quantità prelevata:_____
Profondità del prelievo: 10cm ☐ 30cm ☐ Altro[8] ☐ (8)_____

Terreno
Pendenza : ≤10% ☐ Altro[10] ☐ (10)_____
Tipo di suolo: Agricolo ☐ Pascolo ☐ Prato Stabile ☐ Bosco ☐
Sagoma (20x25 cm) ☐ h=5cm ☐ h=10cm ☐
Trincea ☐ 0-5cm ☐ 5-10cm ☐ 10-15cm ☐ 15-20cm ☐
Campionatore ad anelli (∅ 6cm) ☐ h=4cm ☐ h=8cm ☐ h=12cm ☐ Altro[9] ☐
Trivella (h=20cm) ☐ ∅ 8cm ☐ ∅ 10cm ☐
(9)_____
N° di elementi:_____ Peso Medio per elemento (kg):_____
Quantità prelevata (cm^3):_____

Altra matrice
Liquida ☐ Solida ☐ Organico ☐ Inorganico ☐
Descrizione:_____

Note: _____

Data registrazione: | Firma Operatore:

MOD. 01-camp- 2008 2/2

Figura 1: Modulo per il Campionamento MOD. 01- camp-2008 .

4. Conclusioni

La struttura della rete di Sorveglianza Ambientale è stata revisionata, aggiornata e concordata l'ultima volta nel 1985 dalla Direzione Sicurezza Nucleare e Protezione Sanitaria [3], sulla base di considerazioni tecniche riguardanti le caratteristiche e la posizione degli impianti nucleari, le condizioni meteorologiche medie, la distribuzione della popolazione residente nelle vicinanze del Centro, i relativi gruppi critici di popolazione, le caratteristiche idrogeologiche e gli altri parametri che regolano la recettività dell'ambiente. Nel documento in preparazione si considera l'attuale situazione di monitoraggio con la descrizione pratica e aggiornata delle varie misure eseguite nel Laboratorio di Sorveglianza Ambientale.

[1] Procedure Operative della Rete di Sorveglianza Ambientale del C.R.E. Casaccia (Ottobre 1983)
[2] Raccomandazione n. 2000/473/Euratom – Allegati I e II
[3] Rapporto Annuale 1985 – Centro Ricerche Energia della Casaccia –Direzione Sicurezza Nucleare e Protezione Sanitaria

BONIFICA DEI LABORATORI : RACCOLTA RIFIUTI E SORGENTI OBSOLETE, CONTROLLI SUI MATERIALI, INTERVENTI DI MANUTENZIONE

Giorgia Iurlaro, Giuliano Cicoli , Roberto Stefanoni, Elvio Soldano, Giuseppe Antonacci, Nadia Di Marco, Giuseppina Vanga, Sandro Bazzarri, Isabella Giardina, Roberto Napoleone, Angelo Baiano
ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Casaccia

1. Premessa

In seguito alla riorganizzazione delle attività dell'Istituto di Radioprotezione è stata effettuata una bonifica del laboratorio di radiochimica dell'edificio T-II-17 e l'avvio delle operazioni di manutenzione nel laboratorio di radiochimica dell'edificio T-II-1 (Sorveglianza Ambientale) presenti nel C.R. Casaccia.

2. Bonifica dei laboratori : edificio T-II-17 e T-II-1

Le attività di ricerca svolte nel laboratorio di radiochimica dell'edificio T-II-17 sono state curate negli anni da più gruppi di ricerca ENEA (AMB-METR) che hanno impiegato molteplici tipologie radionuclidi che variano dai prodotti d'attivazione ai prodotti di fissione, a cui si sommano numerosi campioni di matrici ambientali. Al concludersi delle attività non tutto il materiale da lavoro (vetreria, campioni e sorgenti) era stato smaltito. In seguito alla variazione di competenza dei locali, divenuti IRP, sono stati eseguiti controlli radiometrici su tutti i campioni rinvenuti nel laboratorio dalla Radioprotezione Operativa, dal Servizio di Sorveglianza Ambientale e dai Laboratori di Radiotossicologia e in seguito alle valutazioni dell'Esperto Qualificato tutti i materiali sono stati predisposti allo smaltimento in accordo alle norme di buona tecnica [1-2-3]. Contemporaneamente è stata avviata una necessaria manutenzione dei locali 011-011° del Laboratorio di Sorveglianza Ambientale (Edificio T-II-1) coinvolgendo il personale nella ulteriore bonifica e nell'esecuzione degli opportuni controlli radiometrici sull'arredo da laboratorio e sulle cappe di aspirazione per consentire la rimozione di materiale obsoleto.

Figura 1: Flaconi con soluzioni radioattive impiegate nelle attività di ricerca .

Figura 2: Contenitori di matrici ambientali.

Figura 3: Fusti di rifiuti provenienti dai laboratori.

Per poter valutare lo smaltimento dei materiali rinvenuti in conformità alle procedure di buona tecnica [2] e delle norme di radioprotezione si sono eseguite prima della dismissione dei materiali misure di rateo di dose ambientale - per valutare il fondo nel laboratorio ed eventuali rischi per il personale operante – e, in seguito alla bonifica, misure di contaminazione superficiale diretta e indiretta su tavoli da lavoro, armadi, pavimenti e superfici delle cappe. Tutta la mobilia presente nei due laboratori è stata monitorata e classificata ai fini della dismissione e riutilizzo.

3. Conclusioni

Tutte le operazioni di bonifica e manutenzione avviate nei due edifici hanno come obiettivo primario rendere più agevoli le attività di routine nei laboratori garantendo ai lavoratori requisiti adeguati alle operazioni chimiche da svolgere e alle manipolazioni di sorgenti.

[1] D. Legislativo 17 marzo 1995, n.230 - art. 30
[2] Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material" Safety Standards Series No. ST-1 - IAEA - Vienna, 1996
[3] IAEA Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, Safety Guide No. WS-G-2.2

LABORATORIO PER LA SORVEGLIANZA DELLA RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE

Roberto Stefanoni, Nadia di Marco, Elvio Soldano, Carlo Bruschi, Marco Cerro
ENEA – BAS-ION Istituto di Radioprotezione, Casaccia

1. Premessa

Presso il C.R. Casaccia l'Istituto di Radioprotezione svolge l'attività di sorveglianza ambientale in attuazione agli obblighi di legge formulati nel D.Lgs 230/95 e successive integrazioni. I risultati del programma sono raccolti ogni anno a cura dell'Istituto di Radioprotezione e pubblicati nel Rapporto Annuale di Radioattività Ambientale [1].Il programma di campionamento delle diverse matrici ambientali per il 2008 è stato regolarmente completato.

2. Attività del Laboratorio nel corso dell'anno 2008

Il monitoraggio della radioattività ambientale comporta il campionamento sistematico di matrici ambientali ed alimentari e la loro misura in 34 punti di controllo previsti all'interno ed all'esterno del C.R. Casaccia con specifiche apparecchiature dopo trattamenti chimico fisici. I campioni raccolti si riassumono in:

Tabella 1 : Riepilogo dei campioni registrati e catalogati al 31 Dicembre 2008

Matrici ambientali: aria, acqua, latte vaccino fresco, terreno, sedimento, foraggio, ortaggio, cereale	1178
Campioni da Impianti e/o da utenti esterni	121
Campioni che integrano la rete di sorveglianza e misure di monitoraggio per il Centro Casaccia [2]	473

Sui detti campioni vengono effettuate determinazioni di radionuclidi alfa, beta e beta-gamma emettitori in base al programma di sorveglianza ambientale concordato con APAT. Inoltre si effettua la separazione chimica per la determinazione degli isotopi del Plutonio e dello Sr-90.

Ulteriori attività svolte nel corso dell'anno:

Partecipazione al "proficiency test of laboratories on the determination of natural radionuclides in phosphogypsum and spiked water" IAEA, progetto ALMERA-CU-2008-04;

- Preparazione di standard radioattivi con Pb-210 in diverse geometrie sotto forma di gel di acrilammide per taratura dei rivelatori a finestra di Berillio tipo GammaX-HpGe per l'intercomparazione tra i diversi laboratori dell'Istituto.
- Misure radiometriche di campioni assimilati a rifiuto radioattivo per la determinazione dello Sr-90 e degli isotopi del Plutonio.

Campagna di prelievi e misure per la determinazione del Cs-137 e del suo grado di penetrazione in terreni indisturbati del Sito della Casaccia.

Nel corso del 2008 sono stati effettuati 75 prelievi per 25 punti di controllo previsti nella rete di sorveglianza. L'andamento tipico della contaminazione da Cs-137 in funzione della profondità di prelievo è riportato in (fig.1).

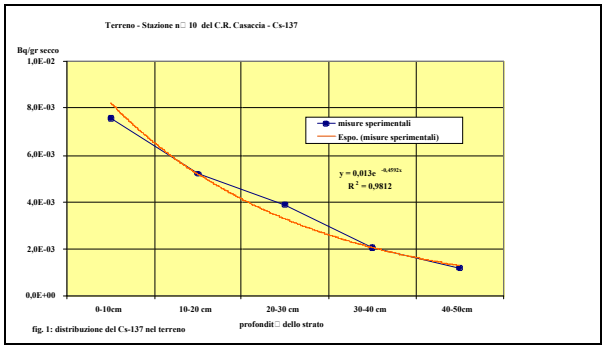


fig. 1: distribuzione del Cs-137 nel terreno

3. Conclusioni

L'attività di sorveglianza ambientale svolta da circa 40 anni comporta una routine di campionamento e di misure di laboratorio intensa e costante. I dati del monitoraggio costituiscono la documentazione sperimentale dell'impatto dell'esercizio degli impianti e delle installazioni/laboratori del C.R. ENEA della Casaccia sul territorio circostante.

[1] E.Borra, R.Stefanoni: *Rapporto annuale sulla radioattività ambientale del Centro ricerche della Casaccia. Anno di riferimento 2007; ENEA RTI/BAS-ION_IRP(2008) 5;*

[2] R. Stefanoni, N. di Marco, E. Soldano, M. Cerro(*), C. Bruschi(*): Annuario dei dati radiometrici ambientali per il sito C.R. Casaccia. Criteri e funzioni accessorie al programma di sorveglianza ambientale. Anno di riferimento 2007; ENEA RTI/BAS-ION_IRP(2008) 6

GESTIONE DI SORGENTI RADIOATTIVE SIGILLATE AD ALTA ATTIVITA' E SORGENTI ORFANE – APPLICAZIONE PRATICA NEL C.R. CASACCIA

Giorgia Iurlaro[1], Giuseppe Liccione[2], Daniele Baiano[1], Giuliano Cicoli[1]
1-ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Casaccia
2- ENEA – ACS PROT STP,Trisaia

1. Premessa

I responsabili del dipartimento BAS hanno manifestato l'esigenza di sospendere le attività di ricerca svolte in due laboratori del Centro Ricerche ENEA Casaccia: cella panoramica dell'edificio T-II-06 e bunker Cella 2 dell'edificio T-II-07. Nei due locali erano presenti due sorgenti di Alta Attività: una sorgente sigillata di ^{60}Co da 3,7 10^{11} Bq e un irraggiatore gamma con sorgente di Cs^{137} di cui era andata dispersa la documentazione tecnica. In applicazione al D.Lgs. 52/2007 [1] sono state svolte tutte le operazioni per garantire i livelli di sicurezza necessari, nonché sono stati formalizzati gli adempimenti di legge ed è stata avviata la successiva fase di dismissione.

2. Gestione delle sorgenti radioattive e conferimento a ditta autorizzata

L'Istituto di Radioprotezione, ad opera degli esperti qualificati incaricati, ha garantito l'opportuna assistenza al direttore di dipartimento BAS per comunicare alle autorità competenti la detenzione delle sorgenti orfane di ^{60}Co e ^{137}Cs, in ottemperanza all'art.13 del D.Lgs. 52 del 06/02/2007 , esprimendo la volontà di dismetterle. A supporto della fase di conferimento a ditta autorizzata gli esperti qualificati hanno compilato una Relazione di Radioprotezione in cui sono riassunte tutte le informazioni necessarie alla dismissione delle sorgenti. La stesura della documentazione ha richiesto un competente impegno degli esperti qualificati per l'identificazione dei dati relativi alla sorgente di ^{137}Cs poiché ogni traccia di documentazione tecnica era andata dispersa. Misure di equivalente di dose ambientale non erano in grado di fornire informazioni utili sull'attività della sorgente, essendo l'irraggiatore munito di una opportuna schermatura – di cui non erano note le caratteristiche tecniche - in grado di impedire l'esposizione a radiazioni del personale operante. Inoltre misure con dosimetri elettronici a lettura diretta rivelavano la presenza di un forte campo di radiazione all'interno del vano portacampioni nella posizione predisposta all'irraggiamento. Attraverso accurate indagini, avvalendosi di codici di calcolo e della collaborazione dei colleghi dell'Istituto di Metrologia che in passato avevano eseguito controlli e tarature sull'irraggiatore, è stato possibile stimare l'attività della sorgente pari a 5,6 10^{12} Bq. La ditta Nucleco ha quindi provveduto al ritiro delle sorgenti stesse.

Tabella 1: Schema riassuntivo delle informazioni necessarie alla dismissione della sorgente [2]

Fase di messa in sicurezza delle sorgenti di Alta Attività
Caratteristiche delle Sorgenti Orfane rinvenute
Sospensione delle attività con Sorgenti di Radiazioni Ionizzanti
Descrizione dei locali e delle aree in cui sono presenti le Sorgenti di Alta Attività: Classificazione e Sorveglianza Fisica
Valutazione delle dosi al personale e classificazione
Misure di radioprotezione 1 : Raccomandazioni e prescrizioni per la conservazione dell'integrità delle strutture e l'efficienza dei sistemi operanti
Misure di radioprotezione 2: Sorveglianza Fisica della Radioprotezione

Tabella 2: Schema riassuntivo delle informazioni necessarie per la declassificazione delle aree [3]

Fase di declassificazione
Informazioni riguardo la nuova destinazione d'uso dei locali
Dismissione delle sorgenti
Descrizione dei locali e delle aree interessate alla declassificazione
Misure di Equivalente di Dose Ambientale e Misure dirette e indirette della concentrazione superficiale dei radionuclidi contaminanti
Classificazione dell'area: area libera

Figura 1: Co60-Teletherapy source Capsule .

Figura 2: Gammator Irradiator Modello GAMMAMED

3. Declassificazione delle aree

La classificazione delle aree è stata infine modificata in seguito alla variazione di attività all'interno dei locali, alla rimozione delle sorgenti di Alta Attività e ai risultati delle misure radiometriche eseguite in collaborazione con la Radioprotezione Operativa. I locali sono stati declassificati ad aree libere senza rischi di radiazioni ionizzanti, sospendendo la sorveglianza fisica e consentendo al personale non classificato il libero accesso a tali ambienti ora destinati ad attività lavorative di tipo convenzionale.

[1] Decreto Legislativo 6 febbraio 2007, n. 52, "Attuazione della direttiva 2003/122/CE Euratom sul controllo delle sorgenti radioattive sigillate ad alta attività e delle sorgenti orfane" (G.U. n. 95 del 24-04-2007)

[2] UNI 9498 – Disattivazione di Impianti nucleari – Conservazione con Sorveglianza (Dicembre 1991)

[3] IAEA Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, SAFETY GUIDE No. WS-G-2.2

VALUTAZIONE DI DOSE A TUTTE LE CLASSI DI ETÀ DELLA POPOLAZIONE INTORNO AL SITO TRISAIA DALL'ANNO 2005 ALL'ANNO 2007

Salvatore Zicari[1], Nicola Silvestri[1], Antonio E. Montemurro[1], Rosetta Pentivolpe[1], Giuseppe Liccione[2]
1 ENEA – BAS – ION – Istituto di Radioprotezione Trisaia
2 ENEA – ACS PROT STP Trisaia

1. Premesa

Dai risultati delle misure di radioattività su campioni ambientali ed alimentari prelevati nell'intorno del C.R. Trisaia, è possibile effettuare una stima della dose efficace di un individuo della popolazione che vive e consuma prodotti locali. Il presente lavoro vuole essere un'estensione del lavoro presentato per il libretto dell'anno 2007; infatti, sono messi insieme i dati che consentono di effettuare una valutazione di dose alla popolazione appartenente a tutte le classi di età per gli anni 2005, 2006 e 2007.

2. La valutazione di dose alla popolazione

La Legislazione Italiana pone dei valori limite sul valore di *Dose efficace (E)*, costituita dalla somma dei termini derivanti dall'*esposizione* esterna alle radiazioni e dall'*introduzione* di radionuclidi nel corpo umano (inalazione e ingestione). I limiti fanno riferimento ai valori di *Dose efficace* accumulati a seguito di attività antropiche e non, derivanti dalla radioattività naturale (radionuclidi presenti nel corpo umano, nella crosta terrestre, radiazione cosmica) e dall'*esposizione* derivante da scopi medici. Il limite di *Dose efficace* per gli individui della popolazione è fissato a 1 mSv per anno solare, mentre si considera come valore di non rilevanza radiologica, cioè del tutto trascurabile in termini di rischio, un valore pari a 10 μSv per anno solare (1% del limite di dose annuale per la popolazione).
Dal momento che i valori, o i limiti di sensibilità, delle misure di attività eseguite sulle principali *vie critiche* non sono direttamente confrontabili con i valori di soglia di *Dose efficace*, allora è necessario fare una valutazione particolare per ciascuna *via critica* sulla base delle considerazioni di seguito riportate.
Per l'***inalazione diretta*** si considerano i valori di riferimento dei volumi di aria inspirata giornalmente dalla popolazione, suddivisa per classi di età. I valori presenti in tabella sono quelli forniti dall'ICRP [1].
Per l'***ingestione*** di alimenti da parte della popolazione, analogamente, si dovrà partire dai valori medi dei consumi alimentari della popolazione, sempre suddivisa per classi di età. I dati, estrapolati dal documento in bibliografia [2], sono riportati nella stessa Tabella 1; per le classi di età non citate dal documento in bibliografia, i valori sono ricavati come valore mediano tra le due classi di età adiacenti. Questi sono i valori che assume il termine $\boldsymbol{Q_k}$, nell'equazione sottoriportata.

$$A_{i,k} = \frac{E_L}{e_{i,k} \cdot Q_k}$$

I valori di concentrazione d'attività nelle varie matrici, che determinano uno specifico valore di *Dose efficace*, sono quindi calcolati partendo dai coefficienti di *Dose efficace per unità di attività*, ($\boldsymbol{e_{i,k}}$), riportati nel D.Lgs. 241/2000 [3], scelti per ciascun radionuclide e per ciascuna classe di età, in maniera conservativa, che tengono conto della natura del radionuclide. In questo modo sono stati calcolati i valori di soglia, cioè i valori delle Attività di non rilevanza radiologica in termini di attività specifica.

Tabella 1: Valori medi dei consumi per classi di età della popolazione italiana ($\boldsymbol{Q_k}$)

	< 1 anno	**1-2 anni**	**2-7 anni**	**7-12 anni**	**12-17 anni**	**> 17 anni**
Aria inspirata (m^3/giorno)	2.8	5.1	8.8	15.2	20.1	22
Latte Vaccino (Litri/anno)	180	120	115	110	100	90
Cereali (kg/anno)	6	34	51	67	84	100
Vegetali (kg/anno)	4	50	75	100	125	150
Acqua Potabile (Litri/anno)	100	150	250	350	425	500

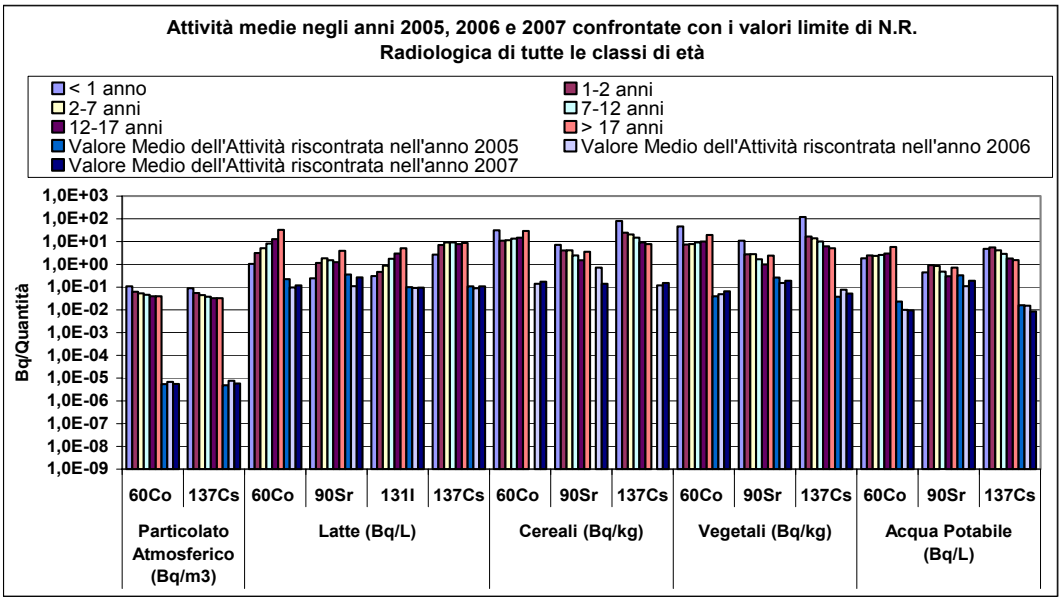
Sostituendo nell'equazione soprariportata il valore di 10 μSv al termine E_L, il valore riportato dal D.Lgs. 241/2000 al termine $\boldsymbol{e_{i,k}}$, il valore riportato nella tabella 2 al termine $\boldsymbol{Q_k}$, si ottengono per ciascuna matrice e per ciascuna classe di età i valori di $\boldsymbol{A_{i,k}}$, ; in altre parole, si ottengono i valori delle Attività corrispondenti al valore di soglia di non rilevanza radiologica (10 microSv) per inalazione o ingestione dei singoli

radionuclidi. Tali valori sono riportati in Tabella 2 per ciascuna *matrice* e per ciascuna classe di età: essi rappresentano i valori di attività che se incorporate, comportano un valore di dose annuo pari al valore di soglia di non rilevanza radiologica (E_L) alla popolazione (10 μSv). Nelle ultime tre colonne sono riportate le attività medie relative alle matrici facenti parte della Rete di Monitoraggio della Radioattività Ambientale del C.R. Trisaia, matrici campionate nel triennio 2005, 2006, 2007. Le attività medie relative ai cereali sono state analizzate a partire dall'anno 2006.

Tabella 2: Attività corrispondenti al valore di soglia di non rilevanza radiologica (10μSv) per inalazione o ingestione dei singoli radionuclidi per classi di età (***Aik***) confrontate con i valori medi riscontrati nell'anno 2006 nelle matrici riportate.

Matrice	Radionuclide	<1 anno	1-2 anni	2-7 anni	7-12 anni	12-17 anni	> 17 anni	Attività media 2005	Attività media 2006	Attività media 2007
ARIA (Bq/m^3)	^{60}Co	1.1E-01	6.2E-02	5.3E-02	4.5E-02	4.0E-02	4.0E-02	≤ 5.4E-06	≤ 5.6E-06	≤ 6.8E-06
	^{137}Cs	8.9E-02	5.4E-02	4.4E-02	3.8E-02	3.2E-02	3.2E-02	≤ 4.9E-06	≤ 5.9E-06	≤ 7.5E-06
LATTE (Bq/L)	^{60}Co	1.0E+00	3.1E+00	5.1E+00	8.3E+00	1.3E+01	3.3E+01	≤ 2.2E-01	≤ 1.2E-01	≤ 9.7E-02
	^{90}Sr	2.4E-01	1.1E+00	1.9E+00	1.5E+00	1.3E+00	4.0E+00	3.6E-01	≤ 2.7E-01	≤ 1.1E-01
	^{131}I	3.1E-01	4.6E-01	8.7E-01	1.7E+00	2.9E+00	5.1E+00	≤ 9.9E-02	≤ 9.3E-02	≤ 9.1E-02
	^{137}Cs	2.6E+00	6.9E+00	9.1E+00	9.1E+00	7.7E+00	8.5E+00	≤ 1.1E-01	≤ 1.1E-01	≤ 8.9E-02
CEREALI (Bq/kg)	^{60}Co	3.1E+01	1.1E+01	1.2E+01	1.4E+01	1.5E+01	2.9E+01		≤ 1.4E-01	≤ 1.4E-01
	^{90}Sr	7.2E+00	4.0E+00	4.2E+00	2.5E+00	1.5E+00	3.6E+00		1.4E-01	7.2E-01
	^{137}Cs	7.9E+01	2.5E+01	2.0E+01	1.5E+01	9.2E+00	7.7E+00		≤ 1.1E-01	≤ 1.2E-01
VEGETALI (Bq/kg)	^{60}Co	4.6E+01	7.4E+00	7.8E+00	9.1E+00	1.0E+01	2.0E+01	≤ 4.0E-02	≤ 6.3E-02	≤ 4.9E-02
	^{90}Sr	1.1E+01	2.7E+00	2.8E+00	1.7E+00	1.0E+00	2.4E+00	≤ 2.6E-01	≤ 1.6E-01	≤ 1.5E-01
	^{137}Cs	1.2E+02	1.7E+01	1.4E+01	1.0E+01	6.2E+00	5.1E+00	≤ 3.8E-02	≤ 5.1E-02	≤ 7.7E-02
ACQUA POTABILE (Bq/L)	^{60}Co	1.9E+00	2.5E+00	2.4E+00	2.6E+00	3.0E+00	5.9E+00	≤ 2.3E-02	≤ 9.5E-03	≤ 1.0E-02
	^{90}Sr	4.3E-01	9.1E-01	8.5E-01	4.8E-01	2.9E-01	7.1E-01	3.3E-01	≤ 1.9E-01	≤ 1.1E-01
	^{137}Cs	4.8E+00	5.6E+00	4.2E+00	2.9E+00	1.8E+00	1.5E+00	≤ 1.6E-02	≤ 8.6E-03	≤ 1.5E-02

Figura 1: Attività relative ai valori di soglia di non rilevanza radiologica (10μSv) confrontate con i valori medi riscontrati negli anni 2005, 2006 e 2007 nelle matrici previste dalla Rete di Sorveglianza Radiologica per tutte le classi di età.



3. Conclusioni

La valutazione della dose di un individuo medio della popolazione, nelle immediate vicinanze del sito, che consuma cibo di produzione locale, si può effettuare con i dati delle Tabelle 2 e 3 e della Figura 1, e risulta per tutti i radionuclidi di valore trascurabile.

[1] ICRP 89 Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values.

[2] UNSCEAR Report 2000 vol. I (annex B).

[3] D.Lgs. 26 Maggio 2000, n. 241. – *"Attuazione della direttiva 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti"*.

IL PUNTO DI VISTA DELL'ESPERTO QUALIFICATO SUL PROBLEMA DELLA QUALITÀ NELLA MISURA IN RADIOPROTEZIONE NEL SETTORE DELLA RICERCA.

Lorenzo Florita
ENEA – BAS-ION-IRP Istituto di Radioprotezione, Casaccia

Breve riassunto per Giornata su:INDICAZIONI OPERATIVE PER LA QUALITA' DELLA MISURA IN RADIOPROTEZIONE ISPESL - 11 Dicembre 2008 - Aula Grande del Dipartimento di Chimica dell'Università La Sapienza di Roma

L'ENEA ha una tradizione consolidata, e un posto di preminenza nel quadro nazionale, nello studio e sviluppo delle sorgenti di fasci di particelle e di radiazioni e delle tecnologie ad esse relative.
Questo ruolo, che viene mantenuto e sviluppato attraverso un progetto dedicato alle Radiazioni ionizzanti, permette di ottenere risultati, in attività che trovano applicazione in uno spettro molto ampio di settori, quali: studio della materia, sensoristica, analisi ambientali, settore biomedicale, diagnostica avanzata, innovazione dei processi industriali e settore dei beni culturali. La Radioprotezione ha caratteristica di trasversalità rispetto alle direttrici tematiche e agli obiettivi strategici dell'Ente, esistenti o in divenire. Infatti, l'insieme di competenze multidisciplinari e di prestazioni tecniche di radioprotezione dell'ENEA, unico in Italia per completezza, permette di rispondere alle quotidiane esigenze di radioprotezione derivanti dall'utilizzo delle radiazioni ionizzanti nelle varie attività di ricerca ed applicazioni tecnologiche dell'Ente, delle PA e di utenti privati, non solo necessariamente alle attività "nucleari", ma anche nell'applicazione delle radiazioni ionizzanti in ambito sanitario. La legislazione nazionale vigente in tema, costituente la attuazione delle Direttive Europee EURATOM per la radioprotezione dei lavoratori, è prevalentemente racchiusa nel D.Lgs. 230/95 e s.m.i.. Alle attività "istituzionali" si affianca un costante impegno sul versante della ricerca e della qualificazione, quale elemento fondamentale per poter mantenere servizi di radioprotezione e di dosimetria adeguati e idonei ad affrontare le attuali necessità e le nuove problematiche. Al fine di perseguire l'opportuno obiettivo di qualità della misura in radioprotezione, si è chiesto di esprimere il punto di vista dell'esperto qualificato sul tema in oggetto.La necessità di creare linee guida per quanto attiene il settore operativo della "sorveglianza fisica della radioprotezione", ha portato il gruppo di lavoro costituito da Organismi quali ISPESL, AIRP, ANPEQ e ENEA, alla creazione di un documento [1] inteso come strumento operativo e procedurale, per la presentazione dei risultati delle misure di radioprotezione.
Nell'uso di questo strumento operativo applicato al settore specifico della ricerca, si deve tenere conto delle particolarità e delle difficoltà operative nello svolgimento delle misure considerando, alla luce di tali problematiche, che si possono proporre opportune variazioni o suggerimenti in merito. Fra le attribuzioni assegnate all'esperto qualificato vi è quella di verificare che il personale incaricato, che opera secondo le direttive e sotto la responsabilità dell'esperto qualificato stesso, abbia una formazione appropriata alle mansioni da svolgere e utilizzi strumentazione, debitamente e periodicamente tarata presso i centri autorizzati e, sempre in maniera periodica, ne controlli il buon funzionamento [2] [3].

Pertanto nello svolgimento delle attribuzioni previste dalla legge per l'esperto qualificato, l'adozione di un metodo unificato riconosciuto e validato dai più importanti organismi competenti in materia di radioprotezione, permette di ottenere risultati affidabili ed intellegibili.

[1] Autori, F. Campanella, A. Ceccatelli, C. Bergamini, E. Calenda, F. Malgeri, V. Klamert, S. Sandri, M. Bovi, "*Indicazioni Operative per la Qualità della Misura in Radioprotezione",* Convegno Nazionale di Radioprotezione , Vasto Marina, 1-3 Ottobre 2007.
[2] UNI 8143 - Controlli periodici della strumentazione di radioprotezione (Ottobre 1980)
[3] UNI 9105 – Sorgenti per il controllo di corretto funzionamento degli strumenti di radioprotezione (Gennaio 1988)

ATTIVITA' DI SERVIZIO

ATTIVITA' DI SERVIZIO

Elena Fantuzzi
ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Laboratori, strumentazione e potenzialità di misura

Le dotazioni strumentali e le competenze di IRP nei diversi centri (Bologna, Casaccia, Frascati, Saluggia e Trisaia) sono differenti e con diverse potenzialità.

Nella sede di *Bologna* sono dislocati: un centro di tarature per radiazioni ionizzanti con laboratori di irraggiamento dotati di strumentazione per fasci di radiazione (standard ISO) beta, X, gamma e neutroni; un laboratorio Whole Body Counter (WBC) per misure di contaminazione *in vivo*; un laboratorio NORM (Naturally Occurring Radioactive Material) per lo sviluppo di tecniche di misura per la valutazione della dose da inalazione di aerosol radioattivi ed uno per misure di radioattività su campioni ambientali e/o biologici. A Bologna hanno, inoltre, sede il servizio di dosimetria, che fornisce di dosimetri personali e ambientali per fotoni, neutroni e beta, ed il servizio Radon, che fornisce dosimetri per misure di concentraione di radon in aria e valutazioni dosimetriche a riguardo.

Nella sede di *Casaccia, Saluggia e Trisaia* vi sono laboratori per misure di radioattività in campioni ambientali, alimentari e/o biologici per scopi di valutazioni di contaminazioni ambientali o individuali. Tutte le sedi sono anche dotate di un laboratorio Whole Body Counter (WBC) per misure *in vivo* di contaminazione interna. Considerata la maggiore utenza, la sede di *Casaccia* è dotata di un numero maggiore di laboratori con dotazioni strumentali potenziate; i laboratori per misure di contaminazione individuale e di sorveglianza ambientale sono pertanto "divisi", mentre nelle sedi di *Saluggia e Trisaia* tutto il personale addetto ed i laboratori esistenti sono dedicati ad entrambe le attività. In *Casaccia*, ad esempio, il laboratorio WBC, oltre alla cella per misure gamma (fotoni di alta energia), è dotato di una cella per rivelare radiazione sotto i 100 keV utilizzata per misure in vivo su organi specifici (i.e. polmoni, tiroide) e per radionuclidi specifici considerati "spia" per contaminazioni da transuranici (e.g. Americio-241). In forza della competenza e della pluri-decennale esperienza nel campo, nonché della completa dotazione strumentale, i laboratori di radiotossicologia possono effettuare tutti i tipi di analisi e misure: spettrometria alfa per transuranici, spettrometria gamma, conteggi beta ed alfa totale, misure in scintillazione liquida, misure di Stronzio, misure di Uranio, Torio, Radio ed altri radionuclidi con tecniche di spettrometria di massa (ICPMS), così come ogni altro tipo di misura (es: Po-210 e Ni-63) anche non previsto dalla normale attività di routine. Le sedi di Saluggia e Trisaia, in condizioni di routine, svolgono tutte le misure necessarie di radiotossicologia e di sorveglianza ambientale richieste sia per il personale esposto in loco, sia per la rete di monitoraggio del sito; in entrambe le sedi i laboratori sono poi "specializzati" in misure specifiche: per esempio, i laboratori di *Saluggia* nelle misure di radiotossicologia per transuranici ed i laboratori di Trisaria nella determinazione di Sr-90 in campioni ambientali.

Nella sede di *Frascati*, invece, è possibile effettuare misure per la determinazione di trizio, radon in campioni liquidi oltre che misure di esposizione esterna con dosimetri a termolumiscenza, in particolare per campi misti neutroni e gamma.

2. Potenzialità di misure radiometriche , ambientali ed individuali

In tabella 1 sono riportate le tipologie di misura su campioni ambientali, alimentari o assimilabili a rifiuto radioattivo, così come quella della concentrazione del Radon in aria, che IRP è in grado di eseguire; in tabella 2 quelle per scopi di dosimetria individuale, sia per contaminazione interna (i.e. misure in vio o su campioni biologici) che per esposizione esterna (i.e. fornitura dosimetri personali e/o ambientali), mentre in tabella 3 l'elenco degli irraggiamenti che è possibile effettuare presso il Centro di taratura della sede di Bologna.

3. Conclusioni

Il complesso delle misure elencate per il monitoraggio della radioattività ambientale, il monitoraggio individuale per esposizione esterna e contaminazione interna, nonché per la determinazione di contenuto radioattivo in campioni assimilabili a rifiuti radioattivi, rendono IRP un istituto unico in Italia per tipologia dei servizi offerti e completezza della fornitura. Inoltre le attività di verifica a cui IRP si sottopone attraverso la partecipazione ad interconfronti nazionali ed internazionali, insieme alle attività di ricerca svolte per la ottimizzazione delle tecniche di misura, garantiscono un elevato livello della qualità dei servizi forniti.

Tabella 1. Misure radiometriche su campioni ambientali o assimilabili e su campioni vari

N.	MISURE
1	Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore in matrice abiotica ambientale o campione assimilabile
2	Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore in matrice biotica ambientale o campione assimilabile
3	Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore in un campione metallico assimilabile a rifiuto radioattivo
4	Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore in un campione non metallico assimilabile a rifiuto radioattivo
5	Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore su campione ottenuto da smear test o da raccolta su filtro ed assimilabile a rifiuto radioattivo
6	Determinazione dell'attività alfa totale o beta totale in matrice abiotica ambientale o campione assimilabile
7	Determinazione dell'attività alfa totale o beta totale in matrice biotica ambientale o campione assimilabile
8	Determinazione dell'attività alfa totale o beta totale in campione di acqua, fall-out, o campione assimilabile
9	Determinazione dell'attività alfa totale o beta totale in campione metallico assimilabile a rifiuto radioattivo
10	Determinazione dell'attività alfa totale o beta totale in campione non metallico assimilabile a rifiuto radioattivo
11	Determinazione dell'attività alfa totale o beta totale in campione ottenuto da smear test o da raccolta su filtro ed assimilabile a rifiuto radioattivo
12	Determinazione dell'attività alfa totale e beta totale in matrice abiotica ambientale o campione assimilabile
13	Determinazione dell'attività alfa totale e beta totale in matrice biotica ambientale o campione assimilabile
14	Determinazione dell'attività alfa totale e beta totale in campione di acqua, fall-out, o campione assimilabile
15	Determinazione dell'attività alfa totale e beta totale in campione metallico assimilabile a rifiuto radioattivo
16	Determinazione dell'attività alfa totale e beta totale in campione non metallico assimilabile a rifiuto radioattivo
17	Determinazione dell'attività alfa totale e beta totale in campione ottenuto da smear test o da raccolta su filtro ed assimilabile a rifiuto radioattivo
18	Spettrometria gamma tal quale su matrice ambientale o campione assimilabile
19	Spettrometria gamma tal quale su campione assimilabile a rifiuto radioattivo
20	Spettrometria gamma tal quale su campione assimilabile a rifiuto radioattivo
21	Spettrometria gamma con trattamento chimico-fisico, su campione assimilabile a rifiuto radioattivo
22	Spettrometria gamma per elementi in traccia
23	Determinazione mediante scintillazione liquida dell'attività di un radionuclide beta emettitore in un campione liquido senza pretrattamento
24	Determinazione mediante scintillazione liquida dell'attività di un radionuclide beta emettitore in un campione liquido con pretrattamento chimico-fisico
25	Determinazione dell'attività di Sr-90 in matrice abiotica ambientale o campione assimilabile
26	Determinazione dell'attività di Sr-90 in matrice biotica ambientale o campione assimilabile
27	Determinazione dell'attività di Sr-90 in un campione metallico assimilabile a rifiuto radioattivo
28	Determinazione dell'attività di Sr-90 in un campione non metallico assimilabile a rifiuto radioattivo
29	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di Uranio (U-238 e U-235) o Torio (Th-232) in un campione ambientale liquido
30	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di Uranio (U-238 e U-235) o Torio (Th-232), in un campione ambientale solido
31	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di Uranio (U-238 e U-235) o Torio (Th-232) in un campione ottenuto da smear test o da raccolta su filtro
32	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di isotopi del Plutonio in un campione ambientale liquido
33	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di isotopi del Plutonio in un campione ambientale solido
34	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di isotopi del Plutonio in un campione ottenuto da smear test o da raccolta su filtro
35	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di elementi con peso atomico non inferiore a 150 in un campione ambientale
36	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di elementi con peso atomico non inferiore a 150 in un campione assimilabile a rifiuto radioattivo
37	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di elementi con peso atomico inferiore a 150 in un campione ambientale
38	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di elementi con peso atomico inferiore a 150 in un campione assimilabile a rifiuto radioattivo
39	Determinazione mediante scintillazione liquida senza pretrattamento del contenuto di Radon (Rn-222) in un campione di acqua
40	Noleggio e lettura dosimetro per la determinazione del Radon in aria

Tabella 2. Misure di dosimetria individuale

N.	MISURE
	Misure per rivelazione di contaminazione interna
1	Misura in vivo al polmone (o altro organo) di radionuclidi con emissione fotonica da 10 keV a 100 keV
2	Misura in vivo al corpo intero (WBC) o ad un organo di radionuclidi con emissione fotonica da 100 keV a 2 MeV
3	Misura in vivo di I-125 in tiroide
4	Misura in vivo dell'attività di I-131/Tc-99m in tiroide
5	Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore in un campione di urina
6	Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore in un campione di feci
7	Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore in un campione di muco nasale
8	Determinazione dell'attività del Po210 in un campione di urine
9	Determinazione mediante spettrometria gamma dell'attività dei radionuclidi gamma emettitori in un campione di urina
10	Determinazione mediante spettrometria gamma dell'attività dei radionuclidi gamma emettitori in un campione di urina
11	Determinazione mediante scintillazione liquida dell'attività di un radionuclide beta emettitore in un campione di urina senza pretrattamento
12	Determinazione mediante scintillazione liquida dell'attività di un radionuclide beta emettitore in un campione di urina con pretrattamento chimico
13	Determinazione mediante scintillazione liquida dell'attività alfa totale o beta totale in un campione di muco nasale
14	Determinazione mediante scintillazione liquida dell'attività alfa totale e beta totale in un campione di muco nasale
15	Determinazione dell'attività beta totale in un campione di urina
16	Determinazione dell'attività di Sr-90 in un campione di urina
17	Determinazione dell'attività di Radio (totale) in un campione di urina
18	Determinazione mediante metodo fluorimetrico della massa di Uranio totale in un campione di urina
19	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di Uranio (U-238 e U-235) o Torio (Th-232) in un campione di liquidi biologici
20	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di Uranio (U-238 e U-235) o Torio (Th-232) in un campione di feci
21	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di isotopi del Plutonio in un campione di liquidi biologici
22	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di isotopi del Plutonio in un campione di feci
23	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di elementi con peso atomico non inferiore a 150 in un campione biologico
24	Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di elementi con peso atomico inferiore a 150 in un campione biologico
	Misure per rivelazione di esposizione esterna
25	Noleggio e lettura dosimetro individuale per corpo intero per radiazioni x e gamma
26	Noleggio e lettura dosimetro individuale CR-39 per corpo intero per neutroni veloci
27	Noleggio e lettura dosimetro individuale per corpo intero per neutroni termici e gamma
28	Noleggio e lettura dosimetro individuale per estremità per radiazione x, gamma e beta di alta energia
29	Noleggio e lettura dosimetro individuale per estremità per radiazione x, gamma e beta con rilevatore sottile
30	Noleggio e lettura dosimetro individuale per estremità per radiazione x, gamma e beta di alta energia, sterilizzabile
31	Noleggio e lettura dosimetro individuale per estremità per radiazione x, gamma e beta con rilevatore sottile, sterilizzabile
32	Noleggio e lettura dosimetro individuale per incidente di criticità
33	Noleggio e lettura dosimetro ambientale per incidente di criticità

Tabella 3. Tipologia irraggiamenti per taratura strumentazione e/o dosimetri

N.	TIPO IRRAGGIAMENTI
1	Taratura di complessi di misura con ratei di dose medi e alti dovuti a radiazioni X o gamma
2	Taratura di complessi di misura per radioprotezione ambientale od individuale - con radiazione X o gamma - con radiazione beta - con sorgenti di neutroni
3	Irraggiamenti in aria a valori di dose prefissati - con radiazione X o gamma - con radiazione beta - con sorgenti di neutroni
4	Irraggiamenti su fantoccio a valori di dose prefissati - con radiazione X o gamma - con radiazione beta - con sorgenti di neutroni
5	Irraggiamenti a tempo con operaratore - con radiazione X o gamma - con radiazione beta - con sorgenti di neutroni
6	Verifica della risposta in tensione di kilovoltmetri con fasci di radiazione X

SVILUPPI DELLA PROCEDURA DI INFORMATIZZAZIONE DELL'ARCHIVIO DOSIMETRICO ENEA

Stefano Polenta
ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Casaccia

1. Premessa

L'attività di sviluppo software, interrotta alla fine del 2007, è ripresa ad aprile 2008 con la stipulazione di un contratto con una società di produzione software. L'applicazione della dosimetria acquisisce i dati da archivi esterni, mediante opportune procedure, senza ricorrere, tranne che in casi limitati, a funzioni di immissione manuale. Le sorgenti di dati sono l'archivio dosimetrico di Bologna, l'archivio schede posto di lavoro e gli archivi dei referti RTX e WBC. Nel corso del 2008 è stata realizzata l'applicazione di collegamento con l'archivio referti. E' stata inoltre realizzata la definizione HTTPS del server dell'archivio dosimetrico e la funzione di attribuzione delle aree di competenza agli esperti qualificati.

2. Importazione dati da archivi ibridi

Le applicazioni di importazioni dati da archivi esterni utilizzano una procedura in due passi,nel primo dei quali si genera un file in un computer locale, nel secondo si trasferisce il file al server per eseguire l'analisi e l'inserimento in archivio. Sia le schede posto di lavoro che i dati dosimetrici sono strutturati in modo tale da consentire facilmente l'acquisizione nel server. I dati RTX e WBC presenti negli archivi Filemaker, destinati alla stampa dei referti, sono meno strutturati dei precedenti e non si prestano ad importazione diretta. Si utilizza pertanto la conversione da archivi Filemaker a file XML (Extended markup language). XML è un linguaggio strutturato che permette di generare documenti contenenti al loro interno la semantica delle informazioni presenti. I documenti XML verificano i requisiti DOM (Document object model) del W3C Consortium implementati nel software di vari linguaggi di programmazione. L'utilizzo delle libreria JAXP permette ad un modulo java di acquisire il documento XML nella sua interezza e di effettuarne l'analisi. All'interno del documento XML le informazioni sono contenute negli elementi <DATA>, mentre la definizione delle stesse sono contenute nell'elemento <METADATA>. Le classi della libreria JAXP permettono l'analisi del documento e il riconoscimento delle stesse ai fini dell'inserimento in archivio.

3. Realizzazione di una connessione sicura

Nel server applicativo della dosimetria è stato installato il protocollo https, basato su SSL (Secure socket layer) che consente la connessione sicura tra il server ed i clienti. I dati trasmessi nel corso della transazione vengono criptati da entrambe le parti prima di essere inviati. Le operazioni di cifratura-decifratura vengono attivate mediante un sistema di crittografia a chiave pubblica. Nel server è registrata una chiave privata cui è associato un certificato contenente la chiave pubblica corrispondente. Ogni transazione, che avviene sulla porta 8443 del server, prevede lo scambio della chiave pubblica, la generazione casuale di una chiave simmetrica con cui si effettua la cifratura e la decifrazione della chiave simmetrica mediante la coppia asimmetrica pubblica - privata.

4. Conclusioni

Lo sviluppo del software relativo alla sicurezza delle transazioni ed alla riservatezza dei dat , che sarà completato nel corso del 2009, riguarda la procedura di gestione delle password, con funzione automatica di scadenza, e la procedura di assegnazione dei privilegi di accesso agli utenti del sistema.

SERVIZIO RADON: ATTIVITA' DI ROUTINE

Massimo Calamosca, Silvia Penzo
ENEA BAS–ION–Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Come nell'anno precedente, anche per il 2008 il Servizio Radon ha messo a disposizione dell'utenza il dispositivo passivo a tracce per la misurazione del radon brevettato nel 2006 con le stesse tariffe del 2007. All'attività di base del servizio si accompagnano le azioni previste dalla commessa in corso (in particolare la 3° commessa con il Ministero delle Finanze), che prevedono accanto alle misurazioni di routine della concentrazione di radon, le valutazioni di dose efficace e di tutte le componenti che concorrono al rischio da radionuclidi naturali.

2. Descrizione sintetica delle attività del Servizio Radon ENEA

Come negli anni precedenti le attività del Servizio si dividono tra attività di routine (vedi tabella 1), attività finalizzate al mantenimento di un alto livello di qualità della misura ed attività legate alle commesse in corso.

Tabella 1: Dimensionamento dell'attività di servizio per il 2008

Periodo	N° ordini	N° dosimetri	N° rivelatori
2008	27	222	798

La commessa del Ministero delle Finanze nel 2008 ha come oggetto la valutazione del rischio per i lavoratori presenti ai piani non interrati (dal piano terra al 4° piano), soggetti ad un'esposizione di origine naturale. In particolare è stato predisposto e iniziato il monitoraggio del radon e del toron ai piani superiori del Palazzo del Ministero delle Finanze: con un criterio di scelta basato su parametri geometrici tipici dei locali (in particolare il rapporto superficie-volume), su misure di spettrometria gamma su campioni di materiale strutturale dell'edificio, su misure di esposizione esterna, sull'analisi dello stato delle pareti, sono stati individuati i locali in cui misurare per un anno la concentrazione di radon e di toron. Alla fine del 2008 erano pronte le prime misure che confermavano gli alti valori di dose efficace e che quindi giustificavano il monitoraggio. Nell'ambito delle azioni previste dal sistema di assicurazione di qualità, il Servizio ha partecipato all'annuale interconfronto internazionale sui rivelatori passivi a tracce c/o l'HPA, i cui risultati saranno disponibili nel 2009. I risultati arrivati nel 2008, che si riferiscono all'interconfronto effettuato nel 2007, confermano l'alta qualità del Servizio (vedi tabella 2).

Tabella 2: Risultati interconfronto c/o HPA del 2007

Interconfronto	Precisione(*)	Accuratezza(*)	Classe di merito(**)
HPA 2007	6,5%	-3,6%	A

(*) Media sui tre valori di esposizione al radon usati per l'interconfronto
(**) Dalla A (precisione e accuratezza < 10%) alla E

3. Conclusioni

Nel 2008 il Servizio Radon continua la sua attività nazionale conn gli stessi costi dell'anno precedente. Accanto al monitoraggio del radon, il Servizio si sta attrezzando per offrire all'utenza anche la possibilità di valutare il rischio dovuto al toron e ai suoi prodotti di decadimento tramite l'utilizzo di due dispositivi passivi accoppiati [1, 2].

[1] Penzo S. e Calamosca M. "La valutazione dell'esposizione al toron, un rischio spesso ignorato" Congresso Nazionale di Radioprotezione, AIRP, Pisa, 4-6-Giugno 2008, ISBN 88-88648-07-0.
[2] M. Calamosca and Penzo. S. "A new CR-39 nuclear track passive thoron measuring device", 24th International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Bologna 1-5/09/08.

IL SERVIZIO DI DOSIMETRIA ESTERNA PERSONALE ED AMBIENTALE: ATTIVITÀ DI ROUTINE

Bruna Morelli, Francesca Mariotti, Giovanni Baldassarre, Giorgio Falangi, Giancarlo Uleri
ENEA – BAS ION - Istituto di Radioprotezione, Bologna

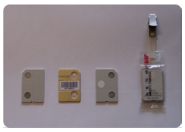
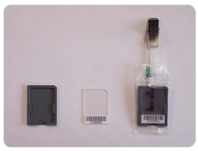
1. Premessa

Il servizio di dosimetria esterna personale ed ambientale dell'ENEA è nato 40 anni fa come laboratorio di fisica sanitaria nel C.R. ENEA di Bologna per soddisfare ad esigenze di radioprotezione all'interno dell'ente. Nel corso degli anni si è poi sviluppato sia qualitativamente con l'evolversi delle tecniche disponibili in campo dosimetrico sia dal punto di vista gestionale proponendosi anche ad un'utenza esterna su tutto il territorio nazionale. Attualmente, la sua attività, che consiste nel "noleggio e lettura di dosimetri personali ed ambientali per il monitoraggio della radiazione esterna" per tutti i tipi di radiazione, fornisce una clientela di 200 utenti esterni operando sulla base economica del recente tariffario approvato con Determinazione n.63/2007/DG del 19.03.2007.

1. Attività

Il Servizio Dosimetrico dispone di 5 tipi di dosimetri [1], idonei alla misura di $H_p(d)$ Equivalente di Dose Personale ed H*(d) Equivalente di Dose Ambientale per tutti i tipi di radiazione, 3 tipi a corpo intero per radiazione fotonica e neutronica per componente termica e veloce, e due tipi di dosimetri per estremità per radiazione fotonica e beta. Inoltre dispone di 2 tipi di dosimetri di criticità ambientale e personale [2] che fornisce con periodicità annuale all'impianto EUREX (Enriched URanium EXraction) situato presso il C.R. ENEA di Saluggia e all'impianto ex ENEA FN-Fabbricazioni Nucleari di Bosco Marengo. In Tabella 1 sono riportate le caratteristiche principali di ciascuna tipologia di dosimetro.

Tabella 1: Prospetto delle caratteristiche principali di ciascuna tipologia di dosimetro.

Dosimetro	Grandezze Misurate	Rivelatore	Intervallo risposta in energia Soglia di misura	Periodicità	Foto
Fotoni X e γ	Hp(10) e Hp(0,07)H*(10)	**TLD** GR200A	fotoni da 13 keV a 1,25 MeV 0,05 mSv	45 gg	
Neutroni termici e γ	Hp(10) o H*(10)	**TLD** GR200A GR2007A	n termici fino a 0,4 eV fotoni: 1,25MeV ql MeV D_neutroni = 0.02 mSv D_fotoni = 0.05 mSv	45 gg	
Neutroni veloci	Hp(10) o H*(10)	**CR39 - PADC**	200 keV - 14 MeV 0,10 mSv	90 gg	
Estremità X-β H.E.	Hp(0,07)	**TLD** GR200A	Fotoni da 20 keV a 202 keV =>β ^{90}Sr (E_m=0.8 MeV) Sm= 0,05 mSv	90 gg	
Estremità X-β sottili	Hp(0,07)	**TLD** Mcp_Ns	Fotoni da 20 keV a 202 keV =>β^{90}Sr (E_m=0.8 MeV) 0,05 mSv	90 gg	

Il Servizio Dosimetrico ha effettuato nell'anno 2008, 70.000 letture dosimetriche di cui il 70% relativo ai dosimetri per fotoni X e γ, il 14% relativo alle letture dei dosimetri per neutroni termici e γ, l'8,5% ai dosimetri per neutroni veloci, il 10% ai dosimetri per estremità anello o bracciale X, γ, β di alta energia, e infine l'1,5% relativo ai dosimetri per estremità per radiazione X, γ, β di media energia con rivelatore sottile. I quantitativi richiesti sono rimasti sostanzialmente invariati negli ultimi 3 anni, si nota comunque

attualmente una tendenza all'aumento delle richieste di dosimetri per estremità con rivelatore sottile dovuto principalmente allo sviluppo e utilizzo di indagini PET nelle Aziende Ospedaliere.

2. Procedura Controllo Rientri.

Sperimentata dagli ultimi 2 periodi di fornitura del 2007, a partire dal primo periodo di fornitura 2008 (1 gennaio – 15 febbraio) è stata introdotta a regime l'attuale procedura di controllo rientri, sviluppata al fine di evitare e/o almeno ridurre l'inconveniente delle contestazioni dei clienti esterni in sede di fatturazione, dei dosimetri "non rientrati" al servizio per la lettura. La procedura consiste nel fornire al cliente un modulo "Modulo Rientri" nel quale indicare al momento della restituzione dei dosimetri al servizio, il quantitativo di dosimetri riconsegnati per tipologia, introdotti nel pacco. Il modulo compilato deve essere inviato in accompagnamento ai dosimetri per ogni riconsegna, con indicato il riferimento della persona a cui rivolgersi in caso di riscontro di mancata conformità con quanto dichiarato nel modulo. Il servizio si impegna a segnalare la non corrispondenza dei quantitativi nel più breve tempo possibile. È stato inoltre istituito un registro al fine di monitorare la clientela su l'utilizzo di tale procedura. I risultati dell'analisi effettuata a fine anno 2008 sono mostrati in Fig. 3. da cui si può dedurre che l'80% ha risposto positivamente all'introduzione di tale procedura inviando il "Modulo Rientri ENEA" mentre un 12% continua a non inviare nessun modulo di accompagnamento benché esplicitamente richiesto. Il 18% dei clienti che già segnalavano meticolosamente i quantitativi e il codice dei dosimetri consegnati con una loro lettera di accompagnamento ha accolto con soddisfazione l'introduzione della nuova procedura.

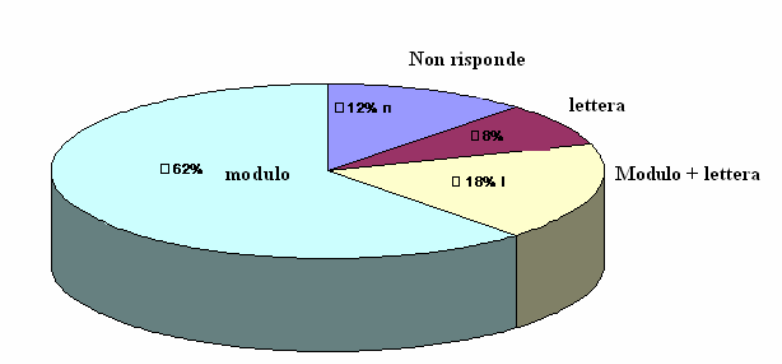


Figura 1: Modalità di risposta dei clienti alla procedura controllo rientri. .

3. Conclusioni

Il Servizio Dosimetrico ENEA nell'anno 2008 in seguito ad un'analisi di revisione delle procedure gestionali ha realizzato l'ottimizzazione e l'integrazione di alcune di esse tra le quali della procedura "controllo rientri" come precedentemente illustrato. E' stato inoltre ultimato l'archivio di tutti gli indirizzi e-mail dei clienti attivi del Servizio ai quali su richiesta vengono inviati in allegato i file contenenti le risposte dosimetriche in formato .dbf (apribili con normali software tipo excel) e i file in formato .pdf (come anticipo del report cartacei). Altre procedure gestionali sono in corso di revisione allo scopo di ottimizzare l'affidabilità e l'efficienza anche nella gestione del rapporto servizio dosimetrico-cliente.

[1] Atti Giornata di Studio "Dosimetria personale esterna in termini di equivalente di dose personale, Hp(d)" - 28 Febbraio 2001 - Rapporto Tecnico ENEA - RT/AMB/2001/19 – ISSN/1120/5555.
[2] G. Gualdrini, R. Bedogni, E. Fantuzzi, F. Mariotti. "Dosimetria di Criticità" Rapoorto Tecnico ENEA RT/ION/2004/26.

ATTIVITA' DI FORMAZIONE PROFESSIONALE

ATTIVITA' NEL 2008 DEL GRUPPO DI LAVORO AIRP "LA COMUNICAZIONE IN RADIOPROTEZIONE".

Anna Giovanetti[1], Sandro Sandri[2]
1- ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Casaccia
2- ENEA – BAS- ION- Istituto di Radioprotezione, Frascati

L' Associazione Italiana di Radioprotezione (AIRP) nel 2006 ha dato vita al Gruppo di Lavoro "La Comunicazione in Radioprotezione", che in seguito è diventato una sezione dell'associazione. Le finalità, gli eventi organizzati, i links e documentazione sono disponibili sul sito web: http://www.airpcomunica.it/.
Tra i promotori vi sono due ricercatori dell'ENEA, Anna Giovanetti e Sandro Sandri, gli altri sono: Marie Claire Cantone (Università degli Studi di Milano, Facoltà di Medicina, Dipartimento di Fisica e INFN), Daniela de Bartolo (ARPA Lombardia, Settore Aria e Agenti Fisici U.O. Agenti Fisici ed Energia), Mauro Magnoni (ARPA Piemonte, Centro Regionale Radiazioni Ionizzanti e Non-Ionizzanti), Celso Osimani (Commissione delle Comunità Europee C.C.R.), e Giancarlo Sturloni (Innovation in Communication of Science SISSA).

Gli obiettivi del gruppo di lavoro sono:

- Favorire il dialogo fra esperti in radioprotezione (RP), esperti in altre discipline, autorità, decisori e pubblico su temi socialmente sensibili nell'ambito delle radiazioni ionizzanti e non ionizzanti.
- Promuovere la riflessione sui rapporti fra Radioprotezione e Società.
- Contribuire allo sviluppo e divulgazione della cultura del coinvolgimento delle parti interessate nei processi decisionali all'interno della comunità di RP.

Le modalità di lavoro sono:

- Discutere i principi del coinvolgimento del pubblico non trascurando la necessità di ottenere
    - una rappresentazione democratica,
    - un consenso informato,
    - un rischio accettabile.
- Far crescere la cultura di RP nella Società.
- Sviluppare processi che sostengano la continuità di dialogo nella comunità AIRP, nella comunità RP e in tutta la comunità interessata.
- Riflettere sui mezzi di comunicazione a disposizione e sull'accesso alle informazioni.
- Procedere ad una raccolta di proposte, suggerimenti e istanze di membri AIRP e attivare esperimenti di comunicazione con altri soggetti interessati (associazioni, scuole etc..).

E' stata presentata al 12 Congresso IRPA, Buenos Aires Ottobre 2008, la relazione: M.C. Cantone, D. De Bartolo, A. Giovanetti, M. Magnoni , C. Osimani, S. Sandri, G. Sturloni: "Integration of social aspects in Radiation Protection: The AIRP Work Group on communication".

Il 10 Novembre è stata organizzata presso l' Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Fisica, la Giornata di Studio: "Le basi per una discussione pubblica su radiazioni e nucleare: aspetti della formazione e dell'informazione" con l'obiettivo di affrontare con sguardo multidisciplinare le problematiche della *formazione* e della *informazione* di esperti, insegnanti, cittadini e operatori della comunicazione che possono contribuire a orientare le *scelte* individuali e la *partecipazione* pubblica ai processi decisionali in materia di nucleare e radiazioni ionizzanti.

MODULO DI FORMAZIONE A DISTANZA SULLA VALUTAZIONE DI DOSE IN MEDICINA NUCLEARE

Dolores Arginelli[1], Luca Vigna[2], Sandro Ridone[1], Anna Miranti[2]
1- ENEA – BAS-ION- Istituto di Radioprotezione, Saluggia,
2- Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Fisica Sperimentale

1. Premessa

Nel giugno 2008 la RSNA (Radiological Society of North America), in collaborazione con la AAPM (American Association of Physicists in Medicine) sollecitò l'invio di proposte per lo sviluppo di 32 moduli di formazione a distanza, destinati alla preparazione di medici specialisti operanti in strutture ospedaliere americane (radiologi, radioterapisti e medici nucleari), nel campo della fisica che sta alla base dell' imaging medico. La scadenza per l'invio delle proposte era fissata per il 18 luglio 2008 e noi abbiamo partecipato all'iniziativa proponendo un modulo di formazione nel campo della Medicina Nucleare, che è stato selezionato fra i 32 moduli ufficialmente accettati: DOSE EVALUATION IN NUCLEAR MEDICINE (Dose Estimates/Internal dosimetry/Safety/QC/Regulations).

2. Struttura del modulo

In ogni proposta doveva essere indicato espressamente il nome di un fisico di riferimento (lead physicist) e di un medico specialista (collaborating radiologist) che avrebbero costituito il gruppo base dei potenziali autori, che potevano proporre fino a un massimo di 3 moduli. Il nostro gruppo è costituito da una componente ENEA, che ha sviluppato tecnicamente i capitoli del modulo, da una componente universitaria (Dipartimento di Fisica Sperimentale dell'Università degli Studi di Torino e Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Milano), che ha curato per lo più l'aspetto didattico, e da una componente ospedaliera (S.C. di Fisica Sanitaria e S.C. di Medicina Nucleare dell'A.O. Ospedale di Circolo di Busto Arsizio) che, fornendoci informazioni e materiale scintigrafico, ci ha garantito un continuo contatto e una stretta collaborazione con la realtà sanitaria, destinataria del modulo formativo si trovano ad operare. Le tematiche di interesse, in cui si snodano più in dettaglio gli argomenti richiesti dagli organizzatori dell'iniziativa, comprendono la radiologia (11 moduli), gli ultrasuoni (4 moduli), la risonanza magnetica nucleare (8 moduli), la medicina nucleare (6 moduli) e infine la radiobiologia (3 moduli). In maniera sintetica sono mostrati nella tabella 1 gli argomenti trattati nel nostro modulo.

Tab.1: Indice degli argomenti trattati nel *web based module* per l'associazione RSNA/AAPM

DOSE EVALUATION IN NUCLEAR MEDICINE (Dose Estimates/Internal dosimetry/Safety/QC/Regulations)	
1. Introduction	
2. Internal Radiation Dosimetry	2.1 Dosimetric quantities: definitions and units
	2.2 Dose calculation: MIRD MEthod
	3.1 The ALARA Concept in Safe Handling of Radioactive Materials
	3.2 Reduction of Radiation Doses from External Sources
	3.3 Reduction of Radiation Doses from Internal Sources
3. Safety in Nuclear Medicine	3.4 Laboratory design
	3.5 Procedures for Handling Spills
	3.6Disposal of radioactive waste
	3.7 Radiation Monitoring
4. Quality Control of Radiopharmaceuticals	4.1 Physicochemical Tests
	4.2 Biological Tests
5. Regulations	5.1 Nuclear Regulatory Commission(NRC)
	5.2 Regulations for Nuclear Medicine
	5.3 Regulations in Development of a New Radipharmaceutical
6. Summary of Key Teaching Points	
7. References	
8. Post-Test	

3. Conclusioni

Attualmente il lavoro è ancora in corso e il materiale fin qui prodotto è stato sviluppato utilizzando i programmi basilari del pacchetto OFFICE (Word, Excel, Power Point). Successivamente, dopo revisione da parte dell'RSNA/AAPM, il modulo sarà tradotto nel formato idoneo per il suo inserimento sul sito web dell'RSNA da suoi esperti informatici e sarà disponibile su tale sito esclusivamente da parte dei soci AAPM ed RSNA. E' previsto un compenso per la consegna di tutto il lavoro, nella sua forma finale, entro i limiti di tempo fissati per il 31 agosto 2009, alla RSNA e AAPM che deterranno il copyright. Tuttavia gli autori potranno utilizzare il modulo nei loro programmi di insegnamento.

IL COORDINAMENTO NAZIONALE SULLE ATTIVITÀ DI MODELLISTICA MONTE CARLO: MARS (Metodi numerici Applicati in Radioprotezione e Sanità)

Gianfranco Gualdrini, Paolo Ferrari
ENEA – BAS - ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Nel 2007 e' stata lanciata l'idea di creare un coordinamento aperto per tutti i ricercatori ed operatori (specialmente fisici ospedalieri) che fanno uso di tecniche Monte Carlo nel campo dosimetrico o per la radioprotezione o per la fisica medica. Il coordinamento MARS attualmente coordinato da G. Gualdrini di ENEA-IRP è supportato da FIRR, AIRP AIFM con il patrocinio di ENEA, INFN e ISS ed ha visto lo svolgimento di alcune manifestazioni fra cui un workshop esclusivamente di dosimetria numerica tenutosi a Bologna dal 3 al 4 dicembre 2008.

2. Obiettivi della manifestazione

Scopo del Workshop è stato quello di riunire il maggior numero possibile di fisici ed ingegneri nucleari impegnati in attività scientifiche con metodiche Monte Carlo. Ne e' nata una due giorni molto piena di presentazioni e dibattiti che, anche grazie al buon numero di partecipanti (oltre 60), ha dimostrato l'utilità di poter disporre di un ambito di questo genere anche in Italia (ad esempio nel Regno Unito esiste già da anni un coordinamento MCNEG con analoghi scopi. Per fornire una idea delle tematiche trattate, riportiamo qui di seguito l'elenco delle relazioni con i rispettivi relatori. Le presentazioni saranno raccolte in un CD, di imminente pubblicazione, che potra' essere richiesto alla Segreteria AIRP.

3. Elenco delle relazioni presentate

SIMULAZIONE MONTE CARLO DI UNA UNITA' CONE BEAM CT
E. Spezi

APPLICAZIONI MONTE CARLO PER ACCELERATORI DI ALTA ENERGIA
M. Silari

STUDI MONTE CARLO PER IL TRATTAMENTO DI TUMORI DIFFUSI CON CAMPI NEUTRONICI (BNCT)
S. Altieri

IMPIEGO DEL CODICE MONTE CARLO NELLA DOSIMETRIA DEI CAMPI PICCOLI
P. Francescon

DISTRIBUZIONE DELLA DOSE ASSORBITA PER SORGENTI SFERICHE DI 90Y, 177LU, 131I VALUTATA MEDIANTE SIMULAZIONE MONTE CARLO
M. Cremonesi

SPETTRI MICRODOSIMETRICI IN CAMPI DI RADIAZIONE COMPLESSI
S. Rollet

IL RUOLO DEGLI ELETTRONI DI BASSA ENERGIA NELLE SIMULAZIONI MONTE CARLO A LIVELLO MICROMETRICO E NANOMETRICO
E. Gargioni, S. Rollet, B. Grosswendt

APPLICAZIONI DI CODICI DI CALCOLO NUMERICO NELLE ESPOSIZIONI SPAZIALI
G. De Angelis

RIVELATORI AL SILICIO PER FASCI ADROTERAPICI: STUDI NUMERICI E RISULATTI SPERIMENTALI
S.Agosteo, A. Fazzi, M.V. Introini, A. Pola

IMPIEGO DEL MONTE CARLO NELLA DOSIMETRIA DEI TRATTAMENTI IORT DELLA MAMMELLA
A. Valentini, L. Menegotti, A. Martignano

THE ROLE OF THE MC SIMULATION IN THE EVEALUATION OF EARLY DAMAGES TO THE DNA FOLLOWING EXPOSURE TO IONIZING RADIATIONS
B. Grosswendt

IL METODO MONTE CARLO IN ADROTERAPIA
P.Cirrone

VALUTAZIONI DELLE DIFFERENZE DEL CALCOLO DI DOSE CON DIVERSI CODICI MC PER APPLICAZIONI DI VOXEL DOSIMETRY
M. Pacilio

IL PROGETTO TRASCO-BNCT DEL LABORATORI NAZIONALI DI LEGNARO (LNL) DELL'INFN
J. Esposito

VALIDAZIONE DELL'ALGORITMO AAA DI ECLIPSE CON IL CODICE MONTE CARLO PENELOPE: APPLICAZIONI NELLE PATOLOGIE POLMONARI
V. Panettieri

IL CALCOLO MONTE CARLO NELLA METROLOGIA DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI PER RADIOTERAPIA
M. Pimpinella

PROGETTAZIONE DI SCHERMATURE PER UN CENTRO DI ADROTERAPIA
M. Ferrarini

OTTIMIZZAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE DI DOSE IN TRATTAMENTI IORT DELLA MAMMELLA IN PRESENZA DI SCHERMI POLMONARI: SIMULAZIONI MONTE CARLO E VERIFICHE SPERIMENTALI CON PELLICOLE GAF-CHROMIC
S. Andreoli

APPLICAZIONI MONTE CARLO IN STUDI DI BNCT AL REATTORE NUCLEARE TAPIRO (ENEA)
E. Nava, K.W. Burn, L. Casalini, P. Ferrari, G, Gualdrini

4. Conclusioni

IL coordinamento MARS sta dimostrando la sua utilità nell'ambiente scientifico dei modellisti Monte Carlo e nel futuro presenterà nuove iniziative quali la Scuola Monte Carlo in programma a Roma dal 21 al 23 maggio 2009, organizzata di concerto con AIFM.

http://www.iss.it/mars/

APPENDICI

ELENCO DEGLI AUTORI

Andreocci	Leila	CR - Casaccia	Leila.andreocci@enea.it	*p.*	*36, 37*
Antonacci	Giuseppe	CR - Casaccia	Giuseppe.antonacci@enea.it	*p.*	*49, 51*
Arginelli	Dolores	CR - Saluggia	dolores.arginelli@enea.it	*p.*	*26, 27, 28, 29, 39, 40, 41, 72*
Baiano	Angelo	CR - Casaccia	Angelo.baiano@ enea.it	*p.*	*51*
Baiano	Daniele	CR - Casaccia	daniele.baiano@ enea.it	*p.*	*53*
Baldassarre	Giovanni	CR - Bologna	Giovanni.Baldassarre@enea.it	*p.*	*42, 66*
Battisti	Paolo	CR - Bologna	paolo.battisti@enea.it	*p.*	*38, 43, 45*
Bazzarri	Sandro	CR - Casaccia	Sandro.bazzarri@enea.it	*p.*	*36, 37, 51*
Berton	Gianfranco	CR - Saluggia	Gianfranco.berton@enea.it	*p.*	*29*
Bortoluzzi	Sandro	CR - Saluggia	sandro.bortoluzzi@enea.it	*p.*	*28, 29*
Bruschi	Carlo	CR - Casaccia	Carlo.bruschi@enea.it	*p.*	*52*
Calamosca	Massimo	CR - Bologna	massimo.calamosca@enea.it	*p.*	*32, 33, 65*
Canuto	Giuseppe	CR - Saluggia	giuseppe.canuto@enea.it	*p.*	*29*
Castellani	Carlo Maria	CR - Bologna	carlomaria.castellani@enea.it	*p.*	*9, 13*
Cerro	Marco	CR - Casaccia	Marco.cerro@enea.it	*p.*	*52*
Cicoli	Giuliano	CR - Casaccia	Giuliano.cicoli@ enea.it	*p.*	*51, 53*
Cozzella	Maria Letizia	CR - Casaccia	letizia.cozzella@enea.it	*p.*	*25, 27*
Di Marco	Nadia	CR - Casaccia	nadia.dimarco@enea.it	*p.*	*49, 51, 52*
Falangi	Giorgio	CR - Bologna	giorgio.falangi@ enea.it	*p.*	*66*
Fantuzzi	Elena	CR - Bologna	elena.fantuzzi@enea.it	*p.*	*IX, 3, 6, 8, 34, 61*
Ferrari	Paolo	CR - Bologna	paolo.ferrari@enea.it	*p.*	*18, 30, 31, 38, 73*
Florita	Lorenzo	CR - Casaccia	Lorenzo.florita@ enea.it	*p.*	*57*
Giardina	Isabella	CR - Casaccia	Isabella.giardina@enea.it	*p.*	*36, 37, 51*
Giovanetti	Anna	CR - Casaccia	anna.giovanetti@enea.it	*p.*	*23, 24, 25, 71*
Gualdrini	Gianfranco	CR - Bologna	gianfranco.gualdrini@enea.it	*p.*	*IX, 15, 16, 18, 19, 30, 31, 73*
Iurlaro	Giorgia	CR - Casaccia	Giorgia.iurlaro@enea.it	*p.*	*14, 49, 51, 53*
Liccione	Giuseppe	CR - Trisaia	Giuseppe.liccione@ enea.it	*p.*	*53, 55*
Luciani	Andrea	CR - Bologna	andrea.luciani@enea.it	*p.*	*9, 11, 12, 13, 14, 81*
Mancini	Liliana	CR - Casaccia	Liliana.mancini@enea.it	*p.*	*36, 37*
Mariotti	Francesca	CR - Bologna	Francesca.mariotti@enea.it	*p.*	*19, 34, 35, 42, 66*
Montalto	Mario	CR - Saluggia	mario.montalto@enea.it	*p.*	*27, 28, 29, 39, 40*
Montemurro	Eustachio	CR - Trisaia	Eustachio.montemurro@ enea.it	*p.*	*55*
Morelli	Bruna	CR - Bologna	bruna.morelli@ enea.it	*p.*	*34, 35, 42, 66*
Morelli	Giulio	CR - Casaccia	Giulio.morelli@ enea.it	*p.*	*36, 37*
Napoleone	Roberto	CR - Casaccia	Roberto.napoleone@.enea.it	*p.*	*51*
Nocente	Mauro	CR - Saluggia	mauro.nocente@ enea.it	*p.*	*27, 28. 29, 39*
Pellegrini	Chiara	CR - Bologna	Chiara.pellegrini@bologna.enea.it	*p.*	*35*
Pentivolpe	Rosetta	CR - Trisaia	Rosetta.pentivolpe@ enea.it	*p.*	*55*
Penzo	Silvia	CR - Bologna	silvia.penzo@ enea.it	*p.*	*32, 33, 65*
Polenta	Stefano	CR - Frascati	stefano.polenta@enea.it	*p.*	*64*
Ridone	Sandro	CR - Saluggia	sandro.ridone@ enea.it	*p.*	*26, 27, 28, 29, 39, 40, 41, 72*
Sandri	Sandro	CR - Frascati	sandro.sandri@enea.it	*p.*	*71*
Silvestri	Nicola	CR - Trisaia	nicola.silvestri@enea.it	*p.*	*55*
Soldano	Elvio	CR - Casaccia	elvio.soldano@enea.it	*p.*	*49, 51, 52*
Stefanoni	Roberto	CR - Casaccia	roberto.stefanoni@enea.it	*p.*	*49, 51, 52*
Uleri	Giancarlo	CR - Bologna	giancarlo.uleri@enea.it	*p.*	*34, 35, 42, 66*
Vanga	Giuseppina	CR - Casaccia	Giuseppina.vanga@enea.it	*p.*	*49, 51*
Zicari	Salvatore	CR - Trisaia	salvatore.zicari@enea.it	*p.*	*55*

PARTECIPAZIONE A GRUPPI DI LAVORO E/O A COMITATI NAZIONALI E INTERNAZIONALI

Dolores Arginelli

- Membro **PROCORAD** (Association pour la Promotion du Controle de Qualitè des Analyses de Biologie Medicale en Radiotoxicologie).
- Membro Permanente del Gruppo di lavoro 24: Metodi di misura della contaminazione interna da radionuclidi **UNI/CEN/SC2** (Radiation Protection).
- Tutor per una tesi di Laurea Specialistica in Fisica Ambientale e Biomedica (indirizzo biomedico) della Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali dell'Università degli Studi di Torino dal titolo "Controllo di qualità e studi biocinetici sul radiofarmaco osteotropo [153Sm]Sm-EDTMP", anno accademico 2007-2008.
- Membro del Consiglio Direttivo del Gruppo Interdivisionale di Radiochimica e Chimica delle Radiazioni applicate all'Ambiente alla Salute e all'Industria, della Società Chimica Italiana.
- Membro di WG3: dosimetry and radiobiology, nell'ambito di **COST Action BM0607** "Targeted Radionuclide Therapy (TRNT)".
- Membro permanente della Sottocommissione 4 *"Radioecologia e Radioisotopi"* della **UNI/CEN** (Commissione UNI Energia Nucleare).

Mario Basta

Membro permanente della Sottocommissione 1 *"Terminologia nucleare"* della **UNI/CEN** (Commissione UNI Energia Nucleare).

Paolo Battisti

- Membro permanente della Sottocommissione 1 *"Terminologia nucleare"* della **UNI/CEN** (Commissione UNI Energia Nucleare).
- Membro permanente della Sottocommissione 4 *"Radioecologia e Radioisotopi"* della **UNI/CEN** (Commissione UNI Energia Nucleare).
- Rappresentante ENEA presso il Comitato Operativo della **Protezione Civile** per la panificazione degli interventi in cso di emergenza radiologica.
- Membro associato di **EURADOS** (European Dosimetry Group).

Sandro Bazzarri

- Membro **PROCORAD** (Association pour la Promotion du Controle de Qualitè des Analyses de Biologie Medicale en Radiotoxicologie).

Massimo Calamosca

- Membro Permanente del Gruppo di lavoro 11, Sottocommissione 4 (SC4) **UNI/CEN**: Determinazione di radon nell'ambiente
- Rappresentante del Min.per lo Sviluppo Economico nella sezione Speciale della Commissione tecnico-consultiva per la sicurezza nucleare e la protezione sanitaria, di cui all'art. 10 septies del D.Lgs. 230/95 e s.m.i.

Carlo-Maria Castellani

- Corresponding member del Task Group **INDOS** (Internal Dosimetry) del Committee 2 (C2) dell'**ICRP**
- Coordinatore del del Work Plan Task 5.1 "*Internal dosimetry: Assessment of Internal exposures: uncertainty study and guidelines"* **CONRAD** *A coordinated Network for radiation Dosimetry*
- Membro Permanente del Gruppo di lavoro 24: Metodi di misura della contaminazione interna da radionuclidi **UNI/CEN/SC2** (Radiation Protection).
- Membro associato **EURADOS** –European Dosimetry Group.

Maria Letizia Cozzella

- Collabora con **IAEA** (International Atomic Energy Association) per uno studio di ecoradiotossicologia: *Comparison of the biological effects and bioaccumulation induced by exposure to natural or depleted uranium utilizing the earthworm Eisenia foetida*
- Coordinatrice del Gruppo di Lavoro 29: *Metodi non radiometrici per la determinazione di radionuclidi a vita lunga* **UNI / CEN** / Sc4.

Nadia di Marco

- Membro del Network **ALMERA** (Analytical Laboratories for Measuring Environmental Radioactivity) dell'IAEA.

Elena Fantuzzi

- Vice-Chairman e membro del Council di **EURADOS** (EUropean RADiation DOSimetry Group).
- Membro del Working Group (WG2) di EURADOS "Harmonisation In Individual Monitoring".
- Membro ENEA nella Commissione Tecnica per la sicurezza nucleare e la protezione sanitaria dalle radiazioni ionizzanti di cui all'art.9 D.Lgs.230/95, istituita dalla Presidenza del Consiglio e che opera presso APAT.
- Esperto Italiano presso la Radiation Safety Standards Committee (RSSC) della IAEA
- Rappresentante per il tavolo tecnico P.E.E. ITREC presso la prefettura di Matera.
- Membro ENEA nel comitato di coordinamento scientifico ENEA-Università di Bologna per il sito di Montecuccolino.
- Membro permanente gruppo di lavoro WG19: Passive dosemeters for external dosimetry della **ISO/TC85** (Nuclear Energy)/SC2 (Radiation Protection)
- Membro permanente del gruppo di lavoro **IEC/SC 45B** Radiation Protection Instrumentation
- Membro dell'**ISSDO** (International Solid State Dosimetry Organization)
- Membro dell'Editorial Board della rivista **Radiation Protection Dosimetry**
- Membro permanente della Sottocommissione 2: "Protezione dalle Radiazioni " dell'**UNICEN**
- Membro permanente del Gruppo di Lavoro 23: Controlli di conformità e controlli periodici di buon funzionamento dei dosimetri individuali, della **UNICEN/SC2**
- Membro permanente del Comitato Tecnico **CT45/345** "Strumentazione Nucleare" del **CEI** (Comitato Elettrotecnico Italiano)

Anna Giovanetti

- Collabora con **IAEA** (International Atomic Energy Association) per uno studio di ecoradiotossicologia: *Comparison of the biological effects and bioaccumulation induced by exposure to natural or depleted uranium utilizing the earthworm Eisenia foetida*
- Collabora con l'Università di Tor Vergata (Roma) per una ricerca sul bystander effect : *Radiation-induced bystander effect*
- Membro del gruppo di lavoro **AIRP** – Associazione Italiana di Radioprotezione "La comunicazione in radioprotezione"

Gianfranco Gualdrini

- Membro associato di **EURADOS** – Europead Dosimetry Group
- Membro dell'Editorial Board della rivista **Radiation Measurements**
- Membro dell'Editorial Board della rivista **Radiation Protection Dosimetry**
- Segretario del comitato di coordinamento scientifico ENEA-Università di Bologna per il sito di Montecuccolino.
- Membro del direttivo **AIRP** – Associazione Italiana di Radioprotezione 2006-2009.

Andrea Luciani

- Membro permanente del Working Group 13 : *Monitoring and dosimetry for internal exposure* **ISO / TC 85** (Nuclear Energy) / SC2 (Radiation Protection)
- Corresponding member del Task Group **INDOS** (Internal Dosimetry) del Committee 2 (C2) dell'**ICRP**
- Membro permanente del Gruppo di Lavoro 24: *Metodi di misura della contaminazione interna da radionuclidi* **UNI / CEN** / Sc2 (Radiation Protection)
- Membro associato di **EURADOS** – European Dosimetry Group.
- Referente italiano e rappresentante ENEA in **EUTERP** platform (European Training and Education in Radiation Protection).

Liliana Mancini

- Membro **PROCORAD** (Association pour la Promotion du Controle de Qualitè des Analyses de Biologie Medicale en Radiotoxicologie).

Mario Montalto

- Membro **PROCORAD** (Association pour la Promotion du Controle de Qualitè des Analyses de Biologie Medicale en Radiotoxicologie).
- Membro del Network **ALMERA** (Analytical Laboratories for Measuring Environmental Radioactivity) dell'IAEA.
- Membro permanente della Sottocommissione 4 *"Radioecologia e Radioisotopi"* della **UNI/CEN** (Commissione UNI Energia Nucleare).

Sandro Sandri

- Membro permanente del gruppo **IEC/SC 45B** *Radiation Protection Instrumentation*
- Membro permanente del *Committee on Radiation Protection and Public Health (CRPPH)* della **NEA** – Nuclear Energy Agency
- Membro permanente del Gruppo di lavoro 28: - *Metodi radiometrici di misura su acque destinate al consumo umano* **UNI / CEN** / Sc4
- Membro permanente del Comitato tecnico CT 345 del **CEI** – Comitato elettrotecnico Italiano
- Membro del direttivo **AIRP** – Associazione Italiana di Radioprotezione 2006 - 2009
- Principal investigator dal 1992 nel progetto **ITER** per sviluppi e analisi di radioprotezione nel campo della fusione nucleare, con assegnazione task Euratom.
- Membro **PROCORAD** (Association pour la Promotion du Controle de Qualitè des Analyses de Biologie Medicale en Radiotoxicologie).
- Docente a titolo gratuito sulla radioprotezione in diagnostica, medicina nucleare e radioterapia per la scuola di specializzazione in Fisica Sanitaria dell'Università "Federico II" di Napoli.
- Docente a titolo gratuito sulla radioprotezione intorno agli acceleratori per uso medico per la scuola di specializzazione in Fisica Sanitaria dell'Università Tor Vergata di Roma.

Nicola Silvestri

- Membro **PROCORAD** (Association pour la Promotion du Controle de Qualitè des Analyses de Biologie Medicale en Radiotoxicologie).
- Membro del Network **ALMERA** (Analytical Laboratories for Measuring Environmental Radioactivity) dell'IAEA.

Elvio Soldano

- Membro del Network **ALMERA** (Analytical Laboratories for Measuring Environmental Radioactivity) dell'IAEA.

Roberto Stefanoni

- Membro del Network **ALMERA** (Analytical Laboratories for Measuring Environmental Radioactivity) dell'IAEA.

Salvatore Zicari

- Membro **PROCORAD** (Association pour la Promotion du Controle de Qualitè des Analyses de Biologie Medicale en Radiotoxicologie).
- Membro del Network **ALMERA** (Analytical Laboratories for Measuring Environmental Radioactivity) dell'IAEA.

TRADUZIONE DELL'EDITORIALE PUBBLICATO SU RADIATION PROTECTION DOSIMETRY: "THE LION'S MANE AND THE OCCAM'S RAZOR" , A.Luciani, APRIL 2007; 124: 65 - 67.

LA CRINERIA DEL LEONE ED IL RASOIO DI OCCAM

di

Andrea Luciani

Hic sunt leones è un'antica locuzione latina che letteralmente significa 'qui sono i leoni'. Essa veniva riportata sulle mappe di territori i cui dettagli geografici non erano disponibili ed era usata dagli antichi geografi per identificare terre sconosciute o inesplorate che loro immaginavano popolate da selvaggi, animali feroci e altri pericoli. Poiché tale espressione era generalmente riferita agli estremi del loro mondo conosciuto, oggi è utilizzata in altri campi del sapere umano per indicarne, allegoricamente, quegli aspetti non ancora sufficientemente studiati. La dosimetria interna, disciplina della radioprotezione che negli ultimi anni si è caratterizzata da un crescente fermento di ricerche e studi, appare oggi ai nostri occhi come un'antica mappa dove, ad aree per cui è disponibile una dettagliata e soddisfacente informazione, si alternano aree di cui ancora non si ha una chiara conoscenza e comprensione.

La dosimetria interna ha come oggetto la valutazione della dose in seguito all'introduzione di una sostanza radioattiva all'interno dell'organismo umano. Questa disciplina si basa sull'utilizzo di modelli biocinetici di tipo compartimentale che descrivono la distribuzione delle sostanze radioattive dal punto di ingresso nell'organismo ai vari organi e tessuti, fino alla loro successiva eliminazione attraverso le vie di escrezione. I modelli biocinetici attualmente utilizzati in dosimetria interna sono sviluppati sulla base di due differenti approcci concettuali [1]. Il primo, detto empirico, si basa sui dati relativi alla biocinetica di una sostanza radioattiva (valori escreti, attività accumulata in un dato organo, ecc.) e determina, solo sulla base di questi dati, le caratteristiche del modello che al meglio descrive la relazione che intercorre fra input (attività introdotta) ed output (attività misurata nel corpo o escreta): il modello ha in questo caso un valore prettamente *descrittivo* dato che può essere utilizzato solamente nell'ambito per cui è stato sviluppato (ad esempio solo nell'intervallo temporale per cui i dati erano disponibili o solo per gli osservabili misurati). Il secondo approccio, detto teoretico, è basato sulla conoscenza *a priori* di un determinato processo fisiologico. Tale conoscenza fornisce quindi gli elementi essenziali per costruire il modello biocinetico, che quindi di tale processo risulta essere una schematizzazione: tale modello acquista un valore *predittivo* e può quindi essere utilizzato per calcolare osservabili in circostanze per cui il modello stesso non è stato direttamente sviluppato o testato.

Nella pratica, oggi, entrambi gli approcci sono correntemente utilizzati in dosimetria interna. Per quanto riguarda l'approccio empirico, i dati comunemente disponibili per lo sviluppo di modelli biocinetici non sono frutto di sperimentazioni realizzate ad hoc, ma derivano da studi condotti su altre specie e/o con altri radionuclidi. Ancor più spesso, i dati disponibili derivano da banche dati relative a casi di contaminazione di lavoratori: tali dati sono necessariamente soggetti ad ampie incertezze a causa delle imprecisate quantità introdotte dal lavoratore nella situazione incidentale, alla via di contaminazione, al tempo di esposizione, alla forma chimica e fisica del radionuclide contaminante. Per quanto riguarda l'approccio teoretico, i processi fisiologici che sono alla base della biocinetica di un radionuclide sono così complessi e numerosi, che oggi solo una parte di essi può essere adeguatamente rappresentata con un dettagliato e realistico modello fisiologico (come avviene ad esempio per la cinetica dei transuranici nello scheletro)

In questo quadro, i modelli biocinetici utilizzati oggi sono caratterizzati da diversi livelli di affidabilità. Alcuni modelli (o parti di essi) sono ben determinati nella struttura (compartimenti e loro interconnessioni) e nei valori del parametri (ratei di trasferimento da un compartimento ad un altro). In altri casi, i modelli sono sviluppati solo in modo empirico per garantire una generale descrizione matematica di un determinato insieme di dati. In quest'ultimo caso, la funzione descrittiva del modello è spesso accettabile per alcune

applicazioni di dosimetria interna. Ad esempio, le misure di escrezione urinaria di un determinato radionuclide in seguito ad un'introduzione istantanea possono permettere di sviluppare un modello empirico di escrezione senza una chiara conoscenza dei processi fisiologici alla base dell'escrezione: questo modello sarà correttamente utilizzato per stimare l'escrezione urinaria, ad esempio, nello stesso intervallo di tempo per cui le misure erano disponibili o per diverse ipotesi di introduzione (non solo istantanea ma anche cronica). Tuttavia, in dosimetria interna, i modelli biocinetici sono ampiamente utilizzati in modo predittivo, ad esempio per valutare l'output del modello per intervalli di tempo differenti da quelli per i quali il modello era stato sviluppato, o per calcolare grandezze non direttamente osservabili (ad esempio il numero di decadimenti di un radionuclide, in un determinato tessuto, al fine del calcolo della dose). In questo quadro, quando un modello è utilizzato in maniera predittiva, le ipotesi empiriche presenti nel modello rappresentano quei 'territori' che gli antichi geografi nelle loro mappe immaginavano popolati da fiere selvagge, poiché non ne avevano una chiara conoscenza: queste parti, nei modelli biocinetici della dosimetria interna, devono essere considerate come un modo contingente e temporaneo di fornire un'intera descrizione del'mondo' studiato e dovrebbero essere utilizzate nel loro valore euristico, ossia come stimolo per future indagini e ricerche.

Gli strumenti che permettono di limitare le ipotesi empiriche nei modelli biocinetici sono in parte già disponibili in altre discipline e campi del sapere. I principi della modellistica hanno infatti oggi raggiunto un elevato livello di maturità in campi quali la farmacocinetica, la fisiologia e gli studi nutrizionali e possono essere particolarmente utili per migliorare l'affidabilità e il valore predittivo dei modelli utilizzati in dosimetria interna. In tali discipline è ormai assodato che lo sviluppo di un modello trae grande vantaggio dalla contemporanea pianificazione delle sperimentazioni volte a raccogliere i dati: le simulazioni col modello possono indicare a quali tempi i campionamenti debbano essere effettuati e che tipo di campioni debbano essere raccolti al fine di ottenere le più ampie e dettagliate informazioni su un determinato processo che il modello deve simulare. Sebbene, come abbiamo precedentemente ricordato, i dati disponibili in dosimetria interna provengano essenzialmente da situazioni di esposizione professionale occasionale, nel corso del tempo sono state effettuate diverse sperimentazioni con somministrazione diretta e controllata di radionuclidi a volontari. Uno dei primi esempi è dato dalle sperimentazioni condotte da Lagham nei primi anni '50 su pazienti in fase terminale [2]. In anni più recenti sono stati ampiamente utilizzati traccianti isotopici stabili [3] o radioisotopi con radiotossicità inferiore a quella del radionuclide di interesse [4, 5]. In futuro, sperimentazioni di questo tipo saranno sempre più diffuse; è quindi auspicabile che si consideri sempre più la possibilità di sviluppare i modelli biocinetici contemporaneamente alla pianificazione e all'esecuzione di dette sperimentazioni, in un continuo processo di reciproca interazione fra lo sviluppatore dei modelli e lo sperimentatore.

Nel caso di utilizzo di dati ottenuti da precedenti sperimentazioni non supportate dalle contemporanee simulazioni effettuate col modello, sono oggi disponibili importanti strumenti concettuali e metodologici per lo sviluppo di un modello su tale tipo di dati. Primo fra tutti va ricordato il concetto dell'identificabilità. In base ad esso, lo sviluppatore di modelli deve verificare preliminarmente se i dati contengono sufficienti informazioni per la stima di tutti i parametri ignoti: questo significa che dato un modello, supposto corretto, e una serie di misure continue non affette da rumore (dati ideali), tutti i parametri del modello sono univocamente determinati. Questa è nota come identificabilità *a priori* del modello ed è un aspetto fondamentale: intatti, poiché considerazioni di carattere fisiologico possono essere derivate da un certo modello e dai valori dei suoi parametri, qualora i parametri non siano univocamente determinati, diversi valori dei parametri comportano diverse interpretazioni e conclusioni. Accanto a questo primo tipo di identificabilità, esiste anche un secondo tipo, detto identificabilità *a posteriori*. Infatti, i dati realisticamente disponibili per lo sviluppo di un modello sono limitati nel tempo e affetti da rumore. Ne consegue che i parametri del modello, che possono essere stimati sulla base di tali dati (mediante la minimizzazione di una funzione obiettivo che misura la deviazione della previsioni del modello dai dati), sono affetti da un'incertezza statistica. Nel corso dello sviluppo di un modello, un'incertezza dei parametri significativamente grande indicherà quindi in genere la presenza di un problema di identificabilità *a posteriori*, generato dal numero limitato di dati disponibili e dal rumore che li caratterizza.

In dosimetria interna, particolarmente per i complessi modelli biocinetici sviluppati negli ultimi anni per i radionuclidi transuranici (ad esempio il plutonio e l'americio), l'applicazione completa e formale dei precedenti principi di identificabilità può essere spesso irrealizzabile. Tuttavia, se ad esempio consideriamo l'identificabilità *a priori*, alcune procedure come la semplificazione del modello (per aggregazione di alcuni compartimenti) o la sua decomposizione (eliminando i sottosistemi che risultano essere chiaramente identificabili) possono essere di particolare utilità. Anche l'analisi di sensibilità, che raramente viene effettuata sui modelli della dosimetria interna, può essere uno strumento utile dal momento che, evidenziando

quali parametri del modello non sono significativi per un certo output, permette di escludere questi parametri dall'analisi di identificabilità rendendo quest'ultima applicabile anche a modelli inizialmente molto complessi [6].

Anche l'identificabilità *a posteriori* può non sempre essere applicata in dosimetria interna in modo formalmente completo, ossia minimizzando un'opportuna funzione obiettivo per stimare il valore dei parametri del modello. Infatti, i valori di alcuni parametri sono spesso assunti sulla base di studi condotti su animali o, altre volte, su volontari umani anche utilizzando altri radionuclidi dal comportamento biocinetico simile, ma dalla minore radiotossicità. Tuttavia, anche quando le tecniche di minimizzazione possono essere formalmente applicate, la precisione dei valori dei parametri stimati non viene sempre considerata, in dosimetria interna, con tutto il suo valore informativo. Infatti, la precisione dei parametri stimati è strettamente connessa alla bontà del 'fit' dei dati da parte del modello (*goodness-of-fit*) [7]. Un modello che non descrive appropriatamente i dati può essere migliorato aumentandone la complessità (cioè il numero di compartimenti e le vie di trasferimento da un compartimento all'altro), ma a scapito della precisione dei parametri stimati se il modello diventa troppo complesso per il set di dati disponibili. Di conseguenza, si deve trovare un compromesso ragionevole tra la bontà con cui il modello descrive i dati e la precisione dei parametri stimati del modello. Questo è un tipico caso di applicazione del 'principio di parsimonia', noto anche come principio del rasoio di Occam (religioso, teologo, filosofo e francescano inglese del XIV secolo). L'idea fondamentale è di scegliere la più semplice ipotesi capace di spiegare un determinato fenomeno o, in altre parole, modificare un modello quanto meno possibile per raggiungere le prestazioni desiderate. Nella teoria dello sviluppo dei modelli, il principio di parsimonia si traduce nel test di verifica delle informazioni di Akaike (Akaike's information criterion, AIC [8]) e Schwarz-Bayesian (Schwarz-Bayesian Information Criterion, BIC [9]).

L'applicazione del principio di parsimonia è diretta e immediata durante lo sviluppo di un modello empirico derivato da una serie di dati (ad esempio, da una serie di dati relativi ad una curva monoesponenziale solamente due parametri potranno chiaramente essere derivati). In dosimetria interna, lo sviluppo di modelli fisiologicamente orientati rende il principio di parsimonia meno facilmente applicabile: la conoscenza dei diversi processi fisiologici che sottostanno ad un modello e la necessità di sviluppare modelli con un certo livello di accuratezza e realismo accresce, per forza, la complessità del modello stesso [10]. Tuttavia, un attento ricercatore che sviluppa modelli per la dosimetria interna deve comunque tenere il rasoio fornitogli da Occam sempre bel saldo nella propria mano. Infatti, ipotesi empiriche che non sono derivate da considerazioni fisiologiche, ma che sono necessarie per una corretta descrizione dei dati esistenti, dovrebbero essere sempre limitate e, se necessario, implementate nel modello con estrema attenzione. Infatti, tali ipotesi condizioneranno le prestazioni predittive generali del modello, ossia la sua capacità di fornire previsioni in circostanze (come ad esempio in intervalli di tempo) e per output (come ad esempio il calcolo delle dosi) che non sono o non possono essere testati in fase di sviluppo del modello stesso. In questo caso il principio di parsimonia gioca un ruolo particolare in dosimetria interna: poiché i modelli sono necessariamente sviluppati utilizzando un insieme di diversi approcci (teoretico ed empirico, quindi, rispettivamente, basato su assunzioni fisiologiche o guidato solamente dai dati disponibili), il principio di parsimonia servirà a limitare quei concetti e quelle ipotesi che, sebbene necessari per assicurare che il modello descriva correttamente i dati disponibili, non possono essere completamente giustificati dalle conoscenze fisiologiche relative al processo di cui si vuol produrre una modellizzazione matematica.

Lo sviluppo di modelli ben ancorati a conoscenze di tipo fisiologico è oggi una delle sfide maggiori che la dosimetria interna si trova ad affrontare. L'applicazione di complete e corrette procedure matematiche, oggi ampiamente utilizzate in altre discipline similari (come i concetti di indentificabilità *a priori* e *a posteriori*) può essere spesso di difficile realizzazione a causa, da una parte, della peculiarità del tipo di dati disponibili, dall'altra dalla complessità stessa dei modelli utilizzati in dosimetria interna. Nonostante ciò, è auspicabile che in futuro, sia la consapevolezza circa le ipotesi empiriche presenti nel modello con il loro valore meramente descrittivo (i territori sconosciuti popolati da fiere selvagge degli antichi geografi) che la necessità di limitare tale ipotesi al fine di accrescere le proprietà predittive dei modelli (il rasoio che Occam ci ha dato) possano permettere lo sviluppo di modelli sempre più affidabili e realistici per tutte le applicazioni della dosimetria interna.

[1] Carson, E. R., Cobelli, C. and Finkelstein, L. *The Mathematical Modeling of Metabolic an Endocrine Systems*. New York, Wiley, 1983.

[2] Langham, W. H., Bassett, S. H., Harris, P. S. and Carter, R. E. Distribution and excretion of plutonium administered intraveneously to man. LASL Report LA 1151, Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos, NM, 20 September (1950). Reprinted in Health Phys. 38, 1031–1060 (1980).

[3] Crews, H. M., Ducros, V., Eagles, J., Mellon, F. A., Kastenmayer, P., Luten, J. B. and McGaw, B. A. Mass Spectrometric Methods for studying nutrient mineral and trace-element absorption and metabolism in humans using stable isotopes–a review. Analyst 119(11), 2491–2514 (1994).
[4] Giussani, A., Cantone, M. C., De Bartolo, D., Roth, W. and Werner, E. A revised model of molybdenum biokinetics in humans for application in radiation protection. Health Phys. 75(5), 479–486 (1998).
[5] Etherington, G., Fifield, L. K., Ham, G. H., Harrison, J. D. and Newton, D. Human biokinetics of plutonium: a compilation of experimental data. HPA Report HPA-RPD-017. (Chilton: Health Protection Agency) (2006).
[6] Cobelli, C., Carson, E. R., Finkelstein, L. and Leaning, M. S. Validation of simple and complex models in physiology and medicine. Am. J. Physiol. 246, R259–R266 (1984).
[7] Cobelli, C. and Caumo, A. Using what is accessible to measure that which is not: necessity of model of system. Metabolism 47(8), 1009–1035 (1998).
[8] Akaike, H. A new look at the statistical model identification. IEEE Trans. Aut. Contr. 19(6), 716–723 (1974).
[9] Schwarz, G. Estimating dimension of a model. Ann. Stat. 6(2), 461–464 (1978).
[10] Rowland, M., Balant, L. and Peck, C. Physiologically Based Pharmacokinetics in Drug Development and Regulatory Science: A Workshop Report (Georgetown University, Washington, DC, May 29–30, 2002). AAPS PharmSci. [serial online] 2004; 6(1): doi: 10.1208/ps060106.