

Istituto di Radioprotezione Anno 2005

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

ENEA RTI ION-IRP (2006)1

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 2005, 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.

Grande Servizio Paese: Protezione dalle Radiazioni Ionizzanti. Istituto di Radioprotezione.	
<i>E. Fantuzzi</i>	VII
 COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI E PARTECIPAZIONE A PROGETTI EUROPEI	
<i>E. Fantuzzi</i>	3
 Progetto IDEAS: linee guida generali per la stima della dose efficace impegnata da dati di monitoraggio della incorporazione.	
<i>C.M. Castellani</i>	7
CONRAD Work Package 5.1 E 5.2: Dosimetria Interna.	
<i>C.M. Castellani, A. Luciani</i>	8
WP4-Computational Dosimetry: proposte nell'ambito del progetto europeo CONRAD.	
<i>G. Gualdrini</i>	9
Sviluppo di standard ISO per le applicazioni di dosimetria interna.	
<i>A. Luciani</i>	10
Progetto europeo ENETRAP: European NETwork on Education and Training in Radiological Protection.	
<i>A. Luciani</i>	11
 ATTIVITA' DI RICERCA, SVILUPPO E QUALIFICAZIONE	
 Nuove analisi molecolari per individuare espressioni genetiche indotte dalle radiazioni ionizzanti.	
<i>R. Amendola, E. Piras</i>	15
Determinazione di attinidi in matrici biologiche.	
<i>E. Barberis, S. Bortoluzzi, G.Canuto, M. Montalto, M. Nocente</i>	16
Studio del danno indiretto indotto da basse dosi di radiazioni ionizzanti: <i>bystander effect</i>.	
<i>E. Basso, P. Ninova, A. Giovanetti</i>	17
Studio parametrico della valutazione della dose alla popolazione per uno scarico radioattivo dal CR Casaccia.	
<i>M. Basta</i>	18
Attività di intercalibrazione dei laboratori di sorveglianza ambientale.	
<i>P. Battisti</i>	19
Analisi di ⁹⁰Stronzio in campioni biologici.	
<i>P. Battisti</i>	21
Automazione delle operazioni di estrazione chimica dei transuranici negli escreti.	
<i>S. Bortoluzzi, M. Montalto, M. Nocente</i>	23
Valutazione di estraenti per la determinazione di attinidi.	
<i>S. Bortoluzzi, G.Canuto, M. Montalto, M. Nocente</i>	24
Servizio radon: attività di studio & ricerca propedeutica all'ottimizzazione del servizio..	
<i>M. Calamosca, S. Penzo</i>	25
Laboratorio NORM: attività di studio e ricerca.	
<i>M. Calamosca, S. Penzo</i>	26
Analisi di radionuclidi in tracce in matrici antropiche e ambientali via spettrometria di massa a plasma induttivamente accoppiato.	
<i>M.L. Cozzella, R. Pettirossi</i>	27
Dosimetria personale di termini di H_p(3): valutazioni Monte Carlo.	
<i>P. Ferrari, G. Gualdrini</i>	28
Valutazioni preliminari della dose indebita al paziente sottoposto a trattamento radioterapico di tipo BNCT su reattore TAPIRO.	
<i>P. Ferrari, G. Gualdrini</i>	29

Confronto di differenti metodi radiochimici per la determinazione degli isotopi del plutonio nella matrice urina mediante spettrometria alfa.	
<i>I. Giardina, L. Andreocci, S. Bazzari, L. Mancini, P. Battisti</i>	30
Instabilità genomica e utilizzazione del test <i>in vitro</i> per la dosimetria biologica retrospettiva in topi trattati con raggi X.	
<i>A. Giovanetti, T. Deshpande E. Basso, P. Ninova</i>	32
Uso dell'organismo di riferimento <i>eisenia foetida</i> per determinare la bioaccumulazione e gli effetti biologici indotti dalla presenza nel terreno di differenti concentrazioni di uranio o uranio depleto. I Parte: cenni generali ed effetti biologici	
<i>A. Giovanetti, M.L. Cozzella, E. Basso, P. Ninova, S. Fesenko, U. Sansone</i>	33
Uso dell'organismo di riferimento <i>eisenia foetida</i> per determinare la bioaccumulazione e gli effetti biologici indotti dalla presenza nel terreno di differenti concentrazioni di uranio o uranio depleto. II Parte: analisi chimiche	
<i>A. Giovanetti, M.L. Cozzella, E. Basso, P. Ninova, S. Fesenko, U. Sansone</i>	34
Costruzione di fantocci voxel per valutazioni dosimetriche mediante il codice Monte Carlo MCNP.	
<i>G. Gualdrini, P. Ferrari</i>	35
Modello biocinetico e dosimetrico dell'americio nel cane <i>beagle</i>.	
<i>A. Lucani</i>	36
Metrologia dei campi di radiazione di bassa energia.	
<i>F. Mariotti, F. Monteventi</i>	37
Caratterizzazione di rivelatori per dosimetria personale per neutroni veloci.	
<i>S. Pittera, B. Morelli, E. Fantuzzi</i>	38
La radioprotezione dei lavoratori presso un iniettore di neutri.	
<i>S. Sandri, A. Coniglio, M. Pillon</i>	39
Performance di differenti sistemi di preconcentrazione nell'analisi di ²³²Torio mediante ICP-MS in matrici antropiche e ambientali.	
<i>S. Zicari, N. Silvestri, P. Battisti, M.L. Cozzella</i>	40

SORVEGLIANZA FISICA DI RADIOPROTEZIONE E ATTIVITA' DI SERVIZIO

Il servizio di dosimetria personale.	
<i>B. Morelli, G. Baldassarre, T. Bonarelli, G. Falangi, G. Uleri</i>	45
Servizio radon: attività di routine.	
<i>S. Penzo, M. Calamosca</i>	47
Servizio misure di contaminazione interna: attività di routine.	
<i>P. Battisti, S. Bazzari, G. Berton, G. Canuto, M.L. Cozzella, F. d'Innocenzo, V. de Stefano, I. di Marco, S. Guerra, L. Mancini, M. Montalto, G. Morelli, R. Pentivolpe, N. Silvestri, M. Vegro, S. Zicari</i>	48
Determinazione di uranio in urine via spettrometria di massa a plasma induttivamente accoppiato.	
<i>M.L. Cozzella</i>	50
Attività di sorveglianza ambientale presso il Centro Ricerche Casaccia.	
<i>R. Stefanoni, N. Di Marco, G. Gianquitto, A. Manzotti, F. Ranucci, E. Soldano</i>	51
Principali attività del laboratorio ION - IRP di Saluggia.	
<i>G. Berton, S. Bortoluzzi, G. Canuto, M. Montalto, M. Nocente, S. Ridone, M. Vegro</i>	52
La sorveglianza della radioattività ambientale presso il Centro Ricerche Trisaia.	
<i>S. Zicari, N. Silvestri, S. Guerra, E. Montemurro, R. Pentivolpe, G. Santarcangelo, S. Sasso</i>	54
Laboratori mobili per il monitoraggio della radioattività ambientale.	
<i>S. Merolli, S. Polenta</i>	56

Elenco degli autori

APPENDICE: Partecipazione dei ricercatori IRP a gruppi di lavoro e comitati Nazionali e Internazionali

GRANDE SERVIZIO PAESE. PROTEZIONE DALLE RADIAZIONI IONIZZANTI ISTITUTO DI RADIOPROTEZIONE

Elena Fantuzzi

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione
Bologna

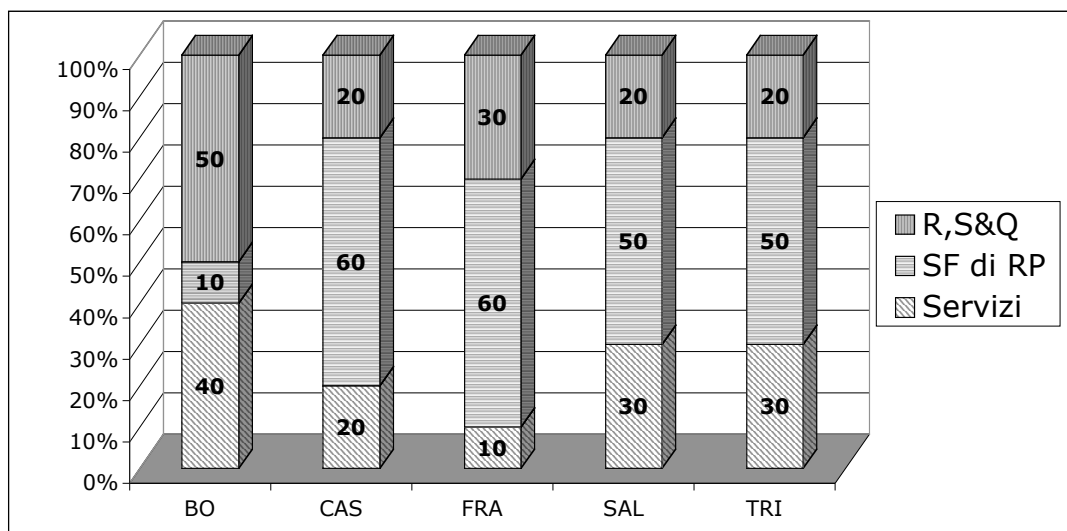
Introduzione

L'attività dell'Istituto di Radioprotezione si articola in:

- **ricerca, sviluppo e qualificazione (R,S & Q)** delle tecniche e delle procedure di monitoraggio e dosimetria delle radiazioni ionizzanti nonché valutazioni di sicurezza radiologica per le grandi macchine acceleratrici (ITER) utilizzate per impianti di fusione nucleare;
- **sorveglianza fisica di radioprotezione (SF di RP)** (funzione di Esperto Qualificato, sorveglianza di radioprotezione operativa su impianti e/o laboratori, taratura di strumentazione di misura, sorveglianza ambientale e di area, dosimetria individuale dei lavoratori esposti, monitoraggio del radon negli ambienti di lavoro, archivio di radioprotezione)
- **prestazione di servizi tecnici per terzi** (dosimetria e taratura strumentazione)

Le tre linee di attività sono fortemente interconnesse dall'impiego comune di risorse, strumentali e professionali, e sono svolte in misura differente nelle diverse sedi IRP come sintetizzato nel diagramma seguente.

Ripartizione delle attività dell'Istituto di Radioprotezione nei centri di Bologna, Casaccia, Frascati, Saluggia e Trisaia



Le attività e le competenze di radioprotezione accorpate in un unico Istituto, oltre che consentire una immediata identificazione degli interlocutori nel campo della radioprotezione, garantiscono l'ottimizzazione di tutte le risorse, umane e strumentali e l'omogeneità di gestione della sorveglianza fisica di radioprotezione su tutte le attività dell'Ente. D'altra parte, le esigenze di sorveglianza fisica di radioprotezione in ENEA sono trasversali (7 attuali macrostrutture oltre i Centri dove si svolgono le attività) e riguardano 3 impianti nucleari e pratiche di categoria A e B (ex D.lgs.230/95) svolte in circa 50 laboratori in 9 Centri.

I servizi forniti alle unità dell'Ente sono di alto livello qualitativo e in alcuni casi unici a livello nazionale. Anche per questo, le tecniche di dosimetria e la taratura di strumentazione per radioprotezione sono oggetto di servizio svolto di routine per terzi (oltre 400 utenti fra aziende private e PPAA).

Inoltre IRP svolge il compito istituzionale di *formazione* su temi di radioprotezione attraverso corsi, seminari e lezioni in occasioni di giornate di studio e convegni di radioprotezione o presso Università.

Particolare risalto va dato all'attività di tirocinio formativo per aspiranti EQ (richiesto per legge) svolta presso gli impianti/laboratori ENEA a cura degli Esperti Qualificati IRP.

Nel 2005, presso l'IRP di Bologna, Frascati e Trisaia è stato garantito il tirocinio per 5 tirocinanti, due per il titolo di Esperti Qualificati di 2° grado e tre per quello di 3° grado.

a) Attività di ricerca, sviluppo e qualificazione

Le attività di ricerca, in linea con lo stato dell'arte nazionale ed internazionale, sono rivolte prevalentemente allo sviluppo di tecnologie e all'ottimizzazione delle tecniche di dosimetria ambientale e individuale.

I ricercatori IRP sono inseriti in gruppi di lavoro internazionali, specialmente europei, in progetti di ricerca e collaborazione, e partecipano attivamente a commissioni e organizzazioni di normazione nazionali e internazionali (UNI, IEC, ISO, ICRU, EURADOS, IAEA).

L'attività di ricerca e sviluppo è finalizzata alla soluzione dei problemi della pratica radioprotezionistica e al mantenimento e al continuo aggiornamento delle competenze specialistiche in questo campo. Tale attività si fonda su competenze tecnico-scientifiche che spaziano dalla biologia, alla chimica, alla fisica delle radiazioni ed è rivolta prevalentemente allo sviluppo delle metodiche e delle tecnologie necessarie in dosimetria e alla loro ottimizzazione, alle valutazioni radioprotezionistiche per gli impianti di fusione nucleare e allo studio degli effetti delle radiazioni nei tessuti biologici.

Per l'anno 2005 si possono individuare alcune linee di ricerca fondamentali:

Biologia applicata

□ Sono stati ottenuti risultati sperimentali nell'induzione di danno da radiazione a livello genetico su cellule ematiche, tramite metodi di analisi propri della ricerca bio-molecolare quali la Comet-FISH (metodica già impiegata a livello prototipale per applicazioni *in vivo*) o la tecnologia dei DNA-microarrays (ampiamente utilizzata negli studi di genetica).

Inoltre, si sono dimostrate evidenze sperimentali del cosiddetto "Bystander Effect" (danno genetico indotto in cellule non irraggiate direttamente, ma messe in contatto con il terreno di cellule irraggiate) attraverso sperimentazioni *in vivo* su topi irraggiati con "basse dosi" di raggi X. In particolare si sono valutati il persistere del danno da radiazioni e l'eventuale effetto di radio-sensibilizzazione o radio-resistenza a successivi irraggiamenti su cellule ematiche provenienti da cavie irradiate con fasci X.

□ In collaborazione con l'IAEA (International Atomic Energy Agency) è stato avviato un programma di ricerca che ha come obiettivo il confronto della eco-tossicità di uranio e uranio depleto, analizzandone la concentrazione nel terreno, la bio-accumulazione e gli effetti biologici. In particolare, lo studio è rivolto a confrontarne la tossicità impiegando, come organismo di riferimento del danno biologico prodotto, il lombrico *eisenia foetida* (in accordo con le linee guida EU e OECD).

Studi e metodiche per la dosimetria interna

□ E' stato ultimato lo sviluppo di modelli biocinetici, in collaborazione con il Forschungszentrum Karlsruhe (Germania) e l'Università dello Utah (USA), per l'incorporazione di americio. Un nuovo modello più accurato è in via di ottimizzazione sulla base dei dati sperimentali ottenuti su animali (cani beagle) nel corso del 2004.

□ Sono state perfezionate le tecniche di analisi chimica e radiotossicologica per la determinazione del contenuto di radionuclidi negli escreti dei lavoratori esposti.

Per quanto riguarda la spettrometria alfa, metodo "tradizionale" per la misura degli escreti, si sono qualificati diversi sistemi convenzionali di indagine basati sull'impiego di quattro differenti tipi di estraenti chimici del radionuclide in esame e di tre differenti tecniche di deposizione del composto estratto dalla matrice biologica, definendone potenzialità ed eventuali problematiche connesse.

Sono stati inoltre effettuati studi preliminari sulla applicazione della tecnica l'ICP-MS per determinare basse concentrazioni di ²³²Torio in matrici ambientali ed antropiche, in presenza di un elevato contenuto di ioni interferenti, per scopi di dosimetria ambientale e personale.

Dosimetria delle radiazioni Naturali (NORM)

□ Nel campo della dosimetria delle radiazioni naturali, è stato messo a punto uno strumento prototipo per la verifica del fattore di equilibrio tra radon e radionuclidi figli. E' stato ottimizzato il dosimetro "radon", già in uso, allo scopo di migliorarne le caratteristiche di accuratezza e precisione e si sta attualmente verificando la possibilità di brevettarlo.

Dosimetria numerica

□ Le metodiche di tipo Monte Carlo per il trasporto di radiazione trovano larga applicazione in tutte le tematiche di dosimetria interna ed esterna, come indispensabile strumento di progettazione ed

interpretazione delle esperienze. Studi di particolare rilevanza sono stati condotti per lo sviluppo di nuovi fantocci antropomorfi di tipo voxel, derivati da immagini CT o NMR. In particolare, è stata creata una versione del modello antropomorfo voxel NORMAN (HPA - UK) per il codice MCNP (LANL - USA), recependo le nuove raccomandazioni ICRP (International Commission on Radiological Protection) riguardanti gli organi critici necessari alla valutazione della dose efficace. Il medesimo codice e un modello antropomorfo semplificato sono stati impiegati per simulare la dose indebita ricevuta dal paziente a seguito di un trattamento con neutroni, per la cura di tumori solidi cerebrali (terapia BNCT), presso il reattore ENEA-TAPIRO (in collaborazione con ENEA-FIS-NUC).

Valutazioni di dose per la sicurezza radiologica degli operatori

- Nell'ambito degli studi di sicurezza radiologica del personale nei futuri reattori nucleari a fusione, ION-IRP ha portato a termine un task internazionale (su committenza EFDA e ITER, in collaborazione con l'Unità FUS) finalizzato alle valutazioni radioprotezionistiche connesse alla realizzazione di componenti dell'impianto ITER per fusione nucleare.
- È stato eseguito uno studio per la valutazione della dose alla popolazione, sulla base della ricettività ambientale e dati demografici relativi al sito del CR Casaccia, per assicurare la non rilevanza radiologica di un possibile scarico liquido dal Centro, secondo la definizione prevista dalla legge (dose all'individuo del gruppo critico della popolazione inferiore a 10 μ Sv/anno e dose collettiva inferiore ad 1 Sv-uomo).

Per quanto concerne le attività di qualificazione esse si basano sulla partecipazione da parte dei laboratori e del personale dell'IRP a iniziative, commissioni e interconfronti nazionali e internazionali. Tali occasioni di partecipazione a gruppi di lavoro (UNI, ISO, IEC, EURADOS), a interconfronti (oltre che alle campagne di intercalibrazione fra i laboratori IRP) e alle commissioni di riferimento nel campo della dosimetria delle radiazioni (ICRU, ICRP, IAEA) consentono all'Istituto di mantenere elevata l'attenzione nel campo della standardizzazione delle metodiche e dei processi, in particolare, per quanto riguarda la dosimetria.

I laboratori dell'Istituto di Radioprotezione

Le attività di ricerca si svolgono grazie alla presenza di laboratori, con caratteristiche differenti, presenti nelle sedi di Bologna, Casaccia, Frascati, Saluggia e Trisaia.

A Bologna, nella sede di Montecuccolino, vi sono i seguenti laboratori/facility:

- il centro di metrologia per radiazioni ionizzanti (con le caratteristiche di un Centro Secondario di taratura SIT, in via di riaccreditamento, per fotoni, radiazione beta e neutroni e per strumentazione di radioprotezione e dosimetria individuale)
- un laboratorio Whole Body Counter (WBC), utilizzato per la misura diretta di contaminazione interna,
- il servizio/laboratorio di dosimetria esterna, oltre che laboratori per misure con tecniche a termoluminescenza per scopi specifici;
- il servizio/laboratorio di valutazione della concentrazione di radon gas;
- il laboratorio NORM (Naturally Occurring Radioactive Material) che ha come primo obiettivo la ricerca e lo sviluppo di tecniche di misura ai fini della valutazione della dose da inalazione di aerosol radioattivi;
- facility e competenze di dosimetria numerica

Nei centri di Casaccia, Saluggia e Trisaia sono presenti i laboratori che svolgono attività di misura della radioattività ambientale e di dosimetria interna per utenti interni ed esterni all'ENEA, pur con diverse potenzialità e caratteristiche. In tutti e tre i centri, l'Istituto 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.

I laboratori dei centri di Saluggia e Trisaia sono simili, anche perché nati a supporto rispettivamente degli impianti EUREX e ITREC, e svolgono misure radiometriche su campioni ambientali ed alimentari per tutti i tipi di radionuclidi, e misure di radiotossicologia su escreti per scopi di dosimetria interna. Va detto che il laboratorio di Saluggia nel 2005 è stato potenziato per le attività di radiotossicologia considerate le maggiori esigenze nel centro.

In Casaccia, dove l'utenza interna ed esterna è maggiore, le attività di sorveglianza ambientale e di dosimetria interna sono invece effettuate da laboratori distinti e specificatamente dedicati: due WBC per alta e bassa energia, laboratori di radiotossicologia, laboratorio ICP-MS ed il laboratorio di sorveglianza

ambientale che discende dal tradizionale “Servizio di Fisica Sanitaria” degli anni '60. In Casaccia sono inoltre presenti i laboratori per le attività di ricerca in radiobiologia (tecniche COMET-Fish e microarrays). Presso i laboratori IRP di Frascati è invece possibile effettuare misure di radon in acqua, misure a termoluminescenza e di spettrometria gamma e di trizio.

La descrizione della dotazione dei laboratori è riportata nella sezione di sorveglianza fisica di radioprotezione e di servizio.

Dal 2005 i laboratori di sorveglianza ambientale di Casaccia, Saluggia e Trisaia sono stati inseriti nella rete ALMERA istituita dalla IAEA allo scopo di fornire supporto radio-analitico all'Agenzia per misure su campioni ambientali di aree contaminate per azioni accidentali o dolosi.

I laboratori IRP partecipano regolarmente ad interconfronti nazionali ed internazionali per qualificare, e se necessario migliorare, le proprie attività.

Nel 2005, IRP ha partecipato all'interconfronto APAT per misure di spettrometria gamma in aria (i.e. filtri di campionamento) e come ogni anno all'Interconfronto internazionale PROCORAD per misure di radiotossicologia e chimiche su campioni biologici. I risultati sono riportati nelle tabelle seguenti

Interconfronto APAT 2005: Determinazione dei radionuclidi gamma emettitori in un campione costituito da un filtro per il campionamento dell'aria.

Laboratori	¹⁵² Eu (Bias %)	⁵⁷ Co (Bias %)	⁶⁰ Co (Bias %)	¹³⁴ Cs (Bias %)	¹³⁷ Cs (Bias %)
Casaccia	-13,09	-1,31	1,72	-14,30	8,11
Saluggia	-8,54	14,44	-0,79	11,76	-0,44
Trisaia	3,18	57,48	0,72	1,34	5,37

Tabella riassuntiva dei risultati dell'interconfronto PROCORAD 2005

Risultati interconfronto 2005 PROCORAD (Association pour la PRoMotion du COntròl del qualità des Analyses de biologie médicale en RADiotoxicologie)	Gamma emettitori nelle urine						
	Campione	Casaccia ⁵⁷ Co (Bias %)	Trisaia ⁵⁷ Co (Bias %)	Casaccia ⁶⁰ Co (Bias %)	Trisaia ⁶⁰ Co (Bias %)	Casaccia ¹³⁷ Cs (Bias %)	Trisaia ¹³⁷ Cs (Bias %)
	A	blank	blank	blank	blank	blank	blank
	B	10,2	13,49	-1,8	1,79	***	***
C	-2,3	13,85	-0,2	4,01	2,3	0,93	

⁹⁰ Sr nelle urine (Trisaia)			Trizio e ¹⁴ C nelle urine (Casaccia)							
Campione	A (Bias %)	B (Bias %)	C (Bias %)	Campione	A (Bias %)	B (Bias %)	C (Bias %)	D (Bias %)	E (Bias %)	F (Bias %)
⁹⁰ Sr	blank	11,5	-13,9	Trizio	blank	-9,1	-6,5	1,9	-9,5	4,4
				¹⁴ C	blank	0,0	0,5	3,0		

Transuranici negli escreti (Casaccia)						Uranio nelle urine (Casaccia)				
Campione	Urine A (Bias %)	Urine B (Bias %)	Urine C (Bias %)	Feci A (Bias %)	Feci B (Bias %)	Feci C (Bias %)	Campione	A (Bias %)	B (Bias %)	C (Bias %)
²³⁸ Pu	***	-1,3	blank	4,6	***	blank	²³⁸ U	-13,8	-11,7	Blank
²³⁹ Pu	-6,0	-8,0	blank	***	***	blank	²³⁵ U	-11,0	-11,5	Blank
²⁴¹ Am	31,1	34,4	blank	7,1	-26,2	blank	²³⁴ U	n.d.	n.d.	Blank
²⁴⁴ Cm	19,9	***	blank	***	-33,6	blank	U massa	53,6	38,2	blank

Nota ai risultati: con *Bias %* si indica lo scostamento % dal valore di riferimento, ovvero, $100 \cdot (V_m - V_{rif}) / V_{rif}$ dove V_m è il valore misurato dal laboratorio e V_{rif} il valore di riferimento: *blank* indica che il valore misurato corrisponde al *fondo naturale* o a un *bianco* (non contaminato), ***** indica che il radionuclide non era presente nel campione misurato, con *n.d.* (not detectable) si intende che il valore da misurare non era rivelabile.

b) Attività di sorveglianza fisica di radioprotezione

L'attività di sorveglianza fisica di radioprotezione è svolta attualmente presso 9 centri ENEA per 7 UTS e riguarda 3 impianti nucleari e pratiche di categoria A e B (ex D.Lgs.230/95) svolte in circa 50 laboratori.

L'attività comprende:

- funzione di esperto qualificato per le attività con rischio da radiazioni ionizzanti;
- sorveglianza di radioprotezione operativa (dosimetria ambientale, sopralluoghi periodici negli impianti/laboratori, misure di caratterizzazione radiologica degli ambienti di lavoro);
- dosimetria ambientale secondo le prescrizioni tecniche ministeriali degli impianti TRIGA e TAPIRO del CR Casaccia;
- dosimetria individuale esterna ed interna per i lavoratori ENEA esposti alle radiazioni.

L'Esperto Qualificato assicura la sorveglianza fisica di radioprotezione per conto del Datore di Lavoro ENEA (nel caso di impianti nucleari per l' esercente dell'impianto) per una attività/pratica che comporta rischi con radiazioni ionizzanti nel rispetto della normativa vigente (D. Lgs.230/95 e s.m.i.). Ciò comporta, in routine, tutte le valutazioni di radioprotezione, preventive e non, relative ad una pratica, la predisposizione delle comunicazioni/relazioni per istanze di autorizzazione, la classificazione degli ambienti di lavoro e dei lavoratori, la predisposizione delle azioni necessarie per il monitoraggio dosimetrico delle aree di lavoro, le indicazioni sulla tipologia di monitoraggio dei lavoratori esposti, le valutazioni dosimetriche individuali ed ambientali, nonché le comunicazioni periodiche delle dosi.

Inoltre, l'Esperto Qualificato è a disposizione del Responsabile funzionale delle attività (Responsabile Macro Unità), del Datore di Lavoro e dei Referenti di laboratorio per tutte le pratiche radioprotezionistiche.

L'attività di dosimetria ambientale ed individuale, sviluppata negli anni per esigenze ENEA, costituisce una attività di alto livello qualitativo, che in alcuni casi ha caratteristiche di unicità a livello nazionale (dosimetria esterna di neutroni, misure di radiotossicologia per radionuclidi alfa emettitori, alcune misure su matrici ambientali, calibrazione di strumentazione per monitoraggio di neutroni).

Inoltre, nell'ambito di una convenzione con APAT è stato realizzato il Secondo Centro di Coordinamento della Rete Nazionale per il Monitoraggio della Radioattività Ambientale presso l'IRP di Frascati. Il sistema informatico dedicato sarà utilizzato anche per la rete di trasmissione dati fra i laboratori IRP distribuiti su 5 centri ENEA (i.e. connessione in linea della strumentazione e accesso all'archivio dati dalle diverse sedi).

Inoltre, sulla base dell'Accordo Quadro ENEA-SOGIN, l'Istituto di Radioprotezione fornisce un servizio di radioprotezione. Nel 2005, il servizio ha comportato la sorveglianza ambientale di radioprotezione per gli impianti IPU e OPEC della Casaccia (analisi radiometriche su campioni di impianto e/o prelevati in ambienti di lavoro, analisi di dosimetria individuale, interna ed esterna, per i lavoratori operanti presso gli impianti).

Infine, i ricercatori e gli Esperti Qualificati rispondono a richieste specifiche di valutazioni di radioprotezione per progetti che coinvolgono impianti e/o laboratori con rischi da radiazioni ionizzanti per l'ENEA o utenti esterni e 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.

Tabella riassuntiva della attività di sorveglianza fisica e radioprotezione.

Attività di sorveglianza fisica di radioprotezione svolte	per ENEA	per SOGIN
Interventi di Radioprotezione Operativa (RPO) presso impianti e laboratori	2000	1000
Dosimetria esterna (dosimetri forniti)	10000	1000
Dosimetria interna (misure effettuate)	1000	800
Dosimetria su campioni ambientale (misure effettuate)	4500	3000*
Monitoraggio radon: Sopralluoghi	10	--
Monitoraggio radon: Misure	20	--
Taratura strumentazione radioprotezione e dosimetri	100	5

**utili anche alla sorveglianza ambientale per l'intero sito Casaccia dove sono presenti anche impianti ENEA e Nucleco.*

c) Prestazioni di servizi tecnici per terzi

La necessità di svolgere funzioni tecniche di radioprotezione e di servizio dosimetrico per ENEA consente a IRP di mantenere viva una serie di competenze e di tecnologie, che sono oggetto di servizio svolto per terzi (oltre 400 utenti fra aziende private e PPAA) secondo un tariffario approvato dall'Ente.

Tale attività di routine costituisce d'altronde uno stimolo al mantenimento e all'ottimizzazione delle tecniche adottate. Le attività di servizio comprendono aspetti prettamente "tecnici" e di "gestione", ovvero, formulazione di offerte, gestione dei clienti, procedure amministrative per l'emissione delle fatture, etc. ,al quale contribuisce, in larga parte, il Supporto Tecnico Gestionale (ION-STG).

L'attività IRP svolta per terzi nell'anno 2005 è riportata nella tabella seguente.

Tabella riassuntiva dei servizi tecnici di radioprotezione forniti per utenti esterni nel corso del 2005

Servizio	Utenti	N. misure/anno
Dosimetria esterna	250	80 000
Monitoraggio radon	35	3300
Dosimetria interna	10	800
Dosimetria su campioni ambientale	10	100
Taratura strumentazione radioprotezione	100	30

Conclusioni

La presentazione delle attività svolte ha lo scopo di fornire un sintetico quadro delle capacità di ricerca e d'intervento operativo dell'Istituto di Radioprotezione che, dislocato in cinque centri di ricerca (Bologna, Casaccia, Frascati, Saluggia e Trisaia) opera trasversalmente per tutte le Unità Macro in tutte le sedi ENEA.

Lo sviluppo contemporaneo delle componenti di ricerca insieme a quelle operative garantisce il mantenimento ed il continuo aggiornamento della qualità dei servizi di radioprotezione forniti all'interno ed all'esterno dell'Ente. Ciò permette anche un positivo impatto sulle attività di qualificazione (UNI, ISO, CEI, IEC) in cui l'Istituto è coinvolto.

L'Istituto costituisce dunque una realtà di competenze riunite in un sistema integrato, unico nel suo genere in campo nazionale, in grado di affrontare un largo spettro di problematiche legate alla dosimetria e, in generale, alla protezione dalle radiazioni ionizzanti.

Tali competenze sono una risorsa a disposizione dell'ENEA e dell'intero Paese, per il quale l'Istituto può svolgere una funzione di supporto all'attività legislativa, in connessione con l'attuazione delle direttive internazionali da parte del governo italiano, e la funzione di organo tecnico, operativo nei centri nucleari e nelle pratiche con rischio da radiazioni ionizzanti, al servizio delle istituzioni governative in materia di radioprotezione.

**COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI
E PARTECIPAZIONE A PROGETTI EUROPEI.**

COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI E PARTECIPAZIONE A PROGETTI EUROPEI

Elena Fantuzzi

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione
Bologna

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), nonché dalle collaborazioni con altri "istituti di radioprotezione" europei (HPA nel Regno Unito, IRSN in Francia, PTB, GSF, KFK in Germania, CIEMAT in Spagna etc.). Inoltre, l'Istituto è Membro Votante (Voting Member) di EURADOS (EUropean RADIation DOSimetry Group) e partner di progetti europei. In quest'ambito si svolgono azioni di ricerca e studi comuni attraverso gruppi di lavoro e "concerted actions" o azioni di promozione dell'armonizzazione della radioprotezione fra tutti gli stati membri della UE.

ENEA-IRP come Membro Votante di EURADOS

EURADOS è un'organizzazione sorta nel 1981 per iniziativa di un gruppo di ricercatori coinvolti in contratti ed azioni concertate promosse e finanziate dalla Unione Europea 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, che conta attualmente 51 "Voting Members" (laboratori o istituti di ricerca, dipartimenti universitari, ecc.) dell'Unione Europea, ha sede legale in Olanda 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 e standardizzazione a cui partecipano decine di laboratori di riferimento in tutta Europa.

Per il raggiungimento dei suoi scopi EURADOS si basa sulla attività coordinata di diversi gruppi di lavoro, impegnati su una notevole varietà di temi di dosimetria (campi complessi di radiazione, dosimetria computazionale, dosimetria individuale, dosimetria in ambito medico ecc.) e nell'armonizzazione delle tecniche di monitoraggio individuale per la radioprotezione.

EURADOS agisce sulla base delle decisioni dell'*Assemblea Generale* dei *Voting Members* ed è coordinato nelle sue attività da un *Consiglio* costituito da 12 membri.

La partecipazione di IRP in EURADOS

Fin dalla creazione di EURADOS l'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA ha fornito un apporto continuo e incisivo alle attività della Organizzazione, ricoprendo il ruolo di *Voting Members* fin dagli anni '80.

Il responsabile dell'Istituto, Elena Fantuzzi, è dal 2004 membro del Consiglio (*Council*) con il compito specifico di promuovere e coordinare le attività di "education & training" in radioprotezione.

Inoltre, alcuni ricercatori dell'Istituto sono membri dei diversi task group che EURADOS promuove nell'ambito del progetto CONRAD.

Negli anni scorsi l'Istituto di Radioprotezione ha contribuito in modo sostanziale con la direzione di un subtask (Elena Fantuzzi) all'attività EURADOS "Harmonization of Individual Monitoring (IM) in Europe" finalizzata a delineare un panorama completo sulla implementazione dell'Individual Monitoring in Europa stimolando l'armonizzazione delle procedure ai sensi della direttiva EURATOM 96/29. Il rapporto conclusivo dell'indagine è stato pubblicato come "special issue" dalla rivista Radiation Protection Dosimetry (Rad. Prot. Dosim. Vol. 112 No 1 2004 editori: van Dijk, Bolognese-Milsztajn, Fantuzzi, Lopez Ponte e Stadtmann).

A latere delle attività EURADOS il Progetto UE QUADOS ("Quality assurance of Computational tools for dosimetry), nato da un Working Group di tradizione ventennale, ha visto la partecipazione di ENEA-IRP (G. Gualdrini). In quest'ambito l'Istituto ha organizzato ed ospitato a Bologna il Workshop finale (Luglio 2003) curandone l'edizione degli atti ("Intercomparison on the Usage of Computational Codes in Radiation Dosimetry" ENEA Roma 2004 Editors Gualdrini-Ferrari ISBN 88-8286-114-7)

Attività di EURADOS negli ultimi Programmi Quadro della UE

VI Framework Programme (2005-2007)

Nell'ambito del VI FP EURADOS e' uno dei coordinatori del progetto CONRAD che sta promuovendo un'indagine sulla necessita' di fondare una rete europea di eccellenza di Laboratori coinvolti nella dosimetria delle radiazioni. CONRAD si articola in 4 Workpackages scientifici:

- a) Internal Dosimetry (ENEA-IRP presente con un membro C.M. Castellani e 2 membri corrispondenti A. Luciani e P. Battisti);
- b) Computational Dosimetry (di cui ENEA-IRP detiene la Presidenza con G. Gualdrini);
- c) Medical Staff Dosimetry;
- d) Dosimetry in Complex radiation fields.

Esternamente al progetto CONRAD, EURADOS ha attivato tre gruppi di lavoro

- a) Harmonization in Individual Monitoring, con lo scopo di armonizzare le pratiche di dosimetria individuale in UE, promuovendo anche interconfronti europei. (Membro IRP: E. Fantuzzi)
- b) Environmental dosimetry
- c) Aircrew Dosimetry

ENEA-IRP come partner di Progetti Europei

a) IDEAS (<http://www.ideas-workshop.de>) - Contratto N. FIKR-CT2001-00160

Gli interconfronti tenutisi negli ultimi anni in ambito internazionale hanno evidenziato un'ampia variabilità di approcci nella valutazione della dose in seguito a contaminazione interna da radionuclidi. La diversità di metodologie adottate ha spesso determinato una conseguente significativa variabilità delle valutazioni di dose interna, anche per casi di contaminazione relativamente semplici. E' quindi emersa la necessità di armonizzare le procedure di valutazione della dose interna mediante lo sviluppo di linee guida, condivise in ambito europeo, che consentissero valutazioni riproducibili di dose interna. Il progetto IDEAS si è articolato nei seguenti punti principali:

- a) ricerca bibliografica dei principali casi di contaminazione interna disponibili in letteratura ed individuazione di alcuni casi di riferimento (per radionuclide, scenario di contaminazione, complessità delle ipotesi necessarie per l'effettuazione della valutazione di dose);
- b) sviluppo di software da utilizzarsi come piattaforma comune per la valutazione delle dose interna;
- c) valutazione, da parte dei membri del progetto della dose interna per i casi di riferimento mediante i software appositamente sviluppati;
- d) sulla base delle precedenti valutazioni redazione di una prima versione di linee guida per la valutazione della dose interna;
- e) organizzazione di un interconfronto generale sulla valutazione della dose interna, aperto a tutti e basato sull'utilizzo della prima versione delle linee guida;
- f) sulla base delle indicazioni emerse dall'interconfronto, redazione di una versione finale delle linee guida.

Il progetto, conclusosi nel corso del 2005, ha visto coinvolto l'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA (Carlo-Maria Castellani) insieme al Forschungszentrum Karlsruhe (FZK, Germania), Atomic Energy Research Institut (KFKI, Ungheria), National Radiological Protection Board, (NRPB, Regno Unito), Institute de Radioprotection et de Securite Nucleaire (IRSN, France), Radiation Protection Institute (RPI, Ucraina), Belgian Nuclear Research (SCK•CEN, Belgio), Electricite de France (EdF, Francia).

b) ENETRAP (<http://www.sckcen.be/enetrp>) - Contratto N. (FI6O) 516529

L'Unione Europea ha individuato nel mantenimento di un adeguato livello di competenze nel campo della radioprotezione uno degli elementi basilari per un sicuro e corretto utilizzo delle radiazioni ionizzanti in ambito industriale, medico e della ricerca. Recenti studi hanno evidenziato un'ampia varietà di approcci nazionali nell'educazione e formazione (E&T: Education and Training) degli Esperti Qualificati, determinando notevoli difficoltà per un mutuo riconoscimento in ambito europeo delle qualifiche e competenze degli addetti alla radioprotezione. L'armonizzazione dei processi di E&T è quindi uno dei passi necessari per un futuro reciproco riconoscimento degli Esperti Qualificati in ambito

europeo, favorendo quindi anche la libera circolazione degli stessi nell'ambito del comune mercato del lavoro.

Gli obiettivi di armonizzazione delle metodologie di E&T e di integrazione delle infrastrutture per il training verranno perseguiti mediante:

- valutazione delle capacità e necessità di training;
- identificazione dei potenziali utenti e loro coinvolgimento al fine di garantire la sostenibilità del network di infrastrutture;
- avvio di un consorzio di università per la creazione di un Master Europeo in Radioprotezione;
- proposta di raccomandazioni al fine del riconoscimento dei corsi e delle competenze degli esperti in radioprotezione.

Le principali ricadute previste dal progetto ENETRAP sono:

- consorzio stabile di università finalizzato allo sviluppo di programmi comuni di radioprotezione;
- creazione di un sessione pilota di un training in radioprotezione;
- redazione di raccomandazioni utili per il riconoscimento in ambito europeo del suddetto training, in particolar modo per gli esperti qualificati.

Il progetto, avviato in data 1 aprile 2005, ha una durata di 2 anni e vede coinvolto l'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA (Andrea Luciani) insieme al Belgian Nuclear Research Centre (SCK•CEN, Belgio), The Institute for Nuclear Sciences and Technology (INSTN, Francia), Forschungszentrum Karlsruhe (FZK-FTU, Germania), Federal Office for Radiation Protection (BfS, Germania), The Nuclear Research & Consultancy Group (NRG, Paesi Bassi), The Research Centre for Energy, Environment and Technology (CIEMAT, Spagna), The Health Protection Agency (HPA - RPD, Regno Unito), Université Catholique de Louvain (UCL, Belgio), Université Joseph Fourier (UJF, Francia), North Highland College (NHC, Scozia).

c) 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). L'azione di ricerca si regge principalmente sui quattro gruppi di lavoro già in precedenza accennati. L'Istituto di Radioprotezione dirige il WP4, Computational Dosimetry (G.Gualdrini). Il WP4 sta attualmente promuovendo un interconfronto internazionale su 8 problemi standard (con riscontro sperimentale), attraverso il quale si intende dare impulso alla analisi delle incertezze legate alla modellazione Monte Carlo in campo dosimetrico. E' inoltre stato distribuito un questionario che a livello europeo vorrebbe fare il punto della situazione sulle metodologie adottate dai gruppi sia sperimentali sia di calcolo per l'analisi delle incertezze dei risultati.

L'Istituto di Radioprotezione è inoltre rappresentato con tre ricercatori nel WP5 (Internal Exposures). In particolare la presenza IRP è focalizzata sul subtask 1 (incertezze associate con le valutazioni di dose da intake da radionuclidi e aggiornamento delle linee guida del progetto IDEAS, C.M. Castellani), sul subtask 2 (Modelli biocinetici, A.Luciani) e sul subtask 4 (interpretazione dei dati di monitoraggio dei lavoratori a seguito di esposizioni accidentali dovute anche ad attacchi terroristici, P. Battisti).

Conclusioni

L'attività IRP è in stretta connessione alle attività di ricerca internazionali.

Al momento le attività svolte, anche se godono di un finanziamento ancora limitato, costituiscono un insostituibile mezzo di aggiornamento della ricerca svolta nel campo della dosimetria, di collaborazione con analoghi istituti di ricerca europei e di scambio di informazioni utili a mantenere l'attività di radioprotezione in ENEA in linea con lo stato dell'arte internazionale.

PROGETTO IDEAS: LINEE GUIDA GENERALI PER LA STIMA DELLA DOSE EFFICACE IMPEGNATA DA DATI DI MONITORAGGIO DELLA INCORPORAZIONE

Carlo Maria Castellani

ENEA – ION - Istituto di Radioprotezione
Bologna

1. Premessa

Nella valutazione di dose da contaminazione interna di radionuclidi, intervengono assunzioni ed ipotesi che determinano sostanziali differenze nei valori stimati da diversi valutatori, anche se si è in presenza dello stesso insieme di risultati delle misure del monitoraggio della contaminazione interna. Diversi esercizi d'interconfronto hanno infatti dimostrato che la valutazione di dose dipende molto dall'esperienza e dalle abilità del singolo valutatore nonché dagli strumenti di hardware e software di cui dispone. A livello internazionale si è pertanto sentita la necessità di sviluppare delle linee guida comuni, sulle procedure di valutazione di dose interna, per promuovere l'armonizzazione delle metodologie tra organizzazioni e paesi diversi. L'Unione Europea, in vista della mobilità dei lavoratori all'interno degli stati membri, ha parzialmente finanziato il progetto IDEAS all'interno del suo 5° Programma Quadro (FP).

2. Il progetto IDEAS

Il progetto vede la partecipazione di questi 8 partners: enti di ricerca (FZK (D), ENEA(I), AEKI (H)); autorità nazionali di radioprotezione (IRSN (F), HPA-RPD (GB), RPI (UA), SCK•CEN (B)) ed enti per la produzione di energia da fonte nucleare (EDF (F)). Il progetto, guidato dal Forschungszentrum (FZK) Karlsruhe, cominciato nell'Ottobre 2001, è terminato nel Giugno 2005. Si è articolato in 5 pacchetti di attività (Work Packages, WP) la cui responsabilità è distribuita come indicato in Tabella 1. All'ENEA-ION-IRP è stata affidata la responsabilità del 3° WP (Valutazione di casi di incorporazione).

Tabella 1: Titolo, leadership e partecipazione dei partners per i diversi WP del progetto IDEAS.

WP	Leader	Partners	Titolo
1	SCK•CEN (B)	All	Collection of incorporation cases
2	RPI (UA)	FZK (D), HPA-RPD (GB)	Preparation of evaluation software
3	ENEA (I)	All	Evaluation of incorporation cases
4	FZK (D)	All	Development of guidelines (Co-operation with ICRP)
5	AEKI (H)	All	Practical testing of guidelines (Co-operation with IAEA)

Le attività del 2005 a cui ION-IRP ha partecipato sono quelle relative ai WP 4 e 5. – Redazione finale delle Linee Guida IDEAS, anche in collaborazione con il Comitato 2 dell'ICRP che sta elaborando un'analoga "Supporting Guidance ICRP". – Esecuzione dell'Interconfronto sulla valutazione di dose da contaminazione interna IDEAS / IAEA, come test di applicabilità delle linee guida. Per quest'ultima attività ION-IRP ha partecipato alla programmazione complessiva, progettazione dei casi di studio, effettuazione dell'interconfronto basato su web [1], analisi e presentazione dei risultati nel workshop conclusivo (tenuto presso l'IAEA a fine Aprile 2005) e redazione del rapporto finale [2]. Nel corso del progetto IDEAS diverse pubblicazioni sono state presentate a congressi e nella letteratura scientifica internazionale (ad es. [3]).

3. Conclusioni

Il lavoro del progetto ha permesso di sviluppare le Linee Guida IDEAS per l'analisi dei dati di contaminazione interna, ed effettuare il test della loro effettiva applicabilità mediante l'interconfronto IDEAS/IAEA. Tra breve tutti i risultati del progetto verranno resi disponibili nel sito di IDEAS [1] che verrà ulteriormente aggiornato durante il VI FP della UE, all'interno del progetto CONRAD (Task 5.1).

[1] <http://www.ideas-workshop.de>

[2] C. Hurtgen, et al. *IDEAS / IAEA Intercomparison Exercise on Internal Dose Assessment*. Report SCK-CEN – BLG-1018. SCK-CEN, Mol, Belgium, October 2005.

[3] Doerfel H. et al. *Guidance on internal assessments from monitoring data (Project IDEAS)* Radiation Protection Dosimetry, 105, (1-4) pp.427-432, (2002).

CONRAD WORK PACKAGE 5.1 E 5.2: DOSIMETRIA INTERNA

Carlo Maria Castellani e Andrea Luciani
ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione
Bologna

1. Premessa

Nell'ambito del VI 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) [1]. Le attività di dosimetria interna a cui partecipa l'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA sono svolte all'interno del Work Package WP5 : "Internal Dosimetry" coordinato da M.A. Lopez del Centro di Ricerche del CIEMAT (Spagna).

2. Attività

L'obiettivo di questo WP è il coordinamento delle attività di ricerca finalizzate alla valutazione della esposizione interna. L'articolazione delle attività di coordinamento avviene su 4 argomenti (Task) all'interno del WP 5:

- 5.1 Stima delle incertezze associate alla valutazione di dose dopo un intake di radionuclidi e aggiornamento delle metodiche proposte dalle Linee Guida IDEAS [2] per la valutazione della dose interna.
- 5.2 Studi sui modelli biocinetici al fine di valutare l'impatto dei nuovi modelli proposti dall'International Commission on Radiological Protection per il tratto alimentare (Human Alimentary Tract HAT) e dal National Council on Radiation Protection and Measurements per il modello della ferita.
- 5.3 Nuovi sviluppi nell'uso dei fantocci voxel e delle applicazioni della modellistica Monte Carlo per la valutazione degli intake mediante metodi diretti (*in-vivo*).
- 5.4 Interpretazione delle misure di monitoraggio della contaminazione interna per i lavoratori impegnati in situazioni di emergenza in seguito a rilasci accidentali o deliberati di radionuclidi (ad es. terrorismo nucleare).

L'Istituto di Radioprotezione partecipa alle attività del Task 5.1 come co-coordinatore e membro e del Task 5.2 come membro.

3. Stato di avanzamento

Task 5.1: le attività sono iniziate nell'aprile 2005 con la proposta di una procedura per la valutazione dell'incertezza globale da associare ai risultati delle misure di monitoraggio della contaminazione interna per tenere conto delle diverse componenti di variabilità ad essi associato. L'incertezza è richiesta come parametro di ingresso per la valutazione di dose interna nelle Linee Guida IDEAS. La procedura utilizza il database "Internal Contamination Database" [3] sviluppato all'interno del progetto IDEAS contenente la descrizione di più di 200 scenari di contaminazione e le misure di monitoraggio ad essi associate (escrezione, ritenzione totale o di organi particolari).

Task 5.2: le attività sono iniziate nell'aprile 2005 con la proposta di implementare, fra i partecipanti del task, il nuovo modello dell'HAT al fine di effettuare un primo interconfronto sui valori delle Us (numero totale di trasformazioni radioattive) nei diversi organi del modello. Il fine è quello di verificare il corretto utilizzo di questo nuovo modello. Questa attività è stata anche l'occasione per verificare la correttezza delle formulazioni matematiche del modello, in particolare per l'assorbimento dei radionuclidi dal tratto alimentare alla circolazione sanguigna che è risultato errato nelle impostazioni originali della proposta dell'ICRP.

[1] Project CONRAD: *A Coordinated Network for Radiation Dosimetry* - Contract N. FP6-12684 <http://www.eurados.org>

[2] Project IDEAS. *General guidelines for the evaluation of incorporation monitoring data* Project Number FIKR-CT2001-00160. <http://www.idesa-workshop.de>

[3] C. Hurtgen et. al. *IDEAS Internal Contamination Database: a compilation of published internal contamination cases. A tool for the internal dosimetry community* In stampa negli atti di "IM2005 European Workshop on Individual Monitoring of Ionising Radiation", 11-15 April 2005, Vienna, Austria

WP4-COMPUTATIONAL DOSIMETRY: PROPOSTE NELL'AMBITO DEL PROGETTO EUROPEO CONRAD

Gianfranco Gualdrini

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione
Bologna

1. Premessa

Nell'ambito del VI Framework Programme dell'Unione Europea è stato finanziato il Progetto CONRAD, coordinato da EURADOS (European Dosimetry Group) ed Università di St. Gallen. Il Progetto ha l'obiettivo di coordinare attività di ricerca nell'ambito delle principali discipline della dosimetria individuale finalizzata alle attività di radioprotezione negli ambienti di lavoro. Oltre a promuovere un'indagine in campo europeo per verificare la concreta esigenza di mantenere e sviluppare una stabile rete di eccellenza che promuova il coinvolgimento dei diversi Laboratori ed Istituti operanti nel campo, CONRAD si sviluppa principalmente su quattro filoni di attività di ricerca fra loro coordinati: Dosimetria Computazionale, Dosimetria Interna, Dosimetria nei campi di radiazione complessi, Dosimetria per il personale medico. Il filone Dosimetria Computazionale è coordinato dall'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA.

2. Proposta di Interconfronto Internazionale: misure, calcoli dosimetrici e valutazione delle incertezze

Il WP4 Computational Dosimetry (precedentemente QUADOS) vanta una pluriennale esperienza nel campo della formazione all'impiego di complessi codici di calcolo per valutazioni dosimetriche, in prevalenza basati sul metodo Monte Carlo[1]. Recentemente ha promosso un interconfronto internazionale sull'uso di codici in ambito dosimetrico che si è concluso con un Workshop svoltosi a Bologna nell'estate del 2003[2].

E' in via di preparazione una proposta di interconfronto fra misure e calcoli per una serie di temi, dalla dosimetria e spettrometria neutronica, alla caratterizzazione dei campi di radiazione di riferimento per la metrologia fotonica, alla progettazione di rivelatori per neutroni e radiazione beta. Studi specifici verranno promossi al fine di valutare l'effetto delle incertezze dei parametri caratteristici delle esperienze e dei dati atomici e nucleari sulle valutazioni modellistiche. In collaborazione con gli altri Gruppi di lavoro CONRAD sono in fase di definizione due attività di ricerca. La prima reguarderà le misure in vivo sul ginocchio di contaminanti radioattivi osteotropi, e consisterà in una complessa campagna sperimentale accompagnata da una modellazione Monte Carlo di un ginocchio umano ottenuto da TAC. La seconda riguarderà la ricostruzione di dose agli operatori in diagnostica cardiologica interventistica, con lo scopo di stabilire in che misura i dosimetri indossati dal personale medico forniscano una valutazione affidabile della dose efficace dal personale medico durante l'intervento condotto con l'ausilio di cardioscopia. Tutte le attività di ricerca attualmente in fase di definizione verranno presentate in un Workshop finale in programma alla fine del 2007.

3. Conclusioni

Da diversi anni le tecniche di modellazione numerica hanno dimostrato la loro versatilità come validi strumenti affiancati alle attività sperimentali nel campo della dosimetria delle radiazioni ionizzanti. La disponibilità di calcolatori sempre più potenti rende ora possibile descrivere in grande dettaglio esperienze molto complesse, includendo anche la possibilità di sviluppare modelli del corpo umano presi da TAC o RMN, in grado di riprodurre con grande fedeltà le caratteristiche morfologiche del soggetto studiato. Tutti i modelli computazionali impiegati si basano su fondamenti teorici i cui limiti devono essere tuttavia sempre verificati, per cui un impiego di tali metodiche con un approccio estemporaneo risulta altamente sconsigliabile. Per questa ragione, le iniziative di interconfronto fra utenti che debbano risolvere problemi di rilevanza pratica, come quelle promosse da CONRAD-WP4 (Computational Dosimetry) possono costituire un valido strumento per una attività modellistica basata su criteri di garanzia della qualità.

[1] G. Gualdrini e L. Casalini (Editors) *Use of MCNP in Radiation Protection and Dosimetry*, Bologna 13-16 May 1996 ENEA- Roma ISBN 88-8286-000-1

[2] G. Gualdrini e P. Ferrari (Editors) *Intercomparison on the Usage of Computational Codes in Radiation Dosimetry* Bologna 14-16 July 2003 ENEA- Roma ISBN 88-8286-114-7

SVILUPPO DI STANDARD ISO PER LE APPLICAZIONI IN DOSIMETRIA INTERNA

Andrea Luciani

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione
Bologna

1. Premessa

Il carattere fortemente multidisciplinare della dosimetria interna, per la cui corretta applicazione concorrono diverse competenze (fisiche, numeriche, farmacocinetiche, ecc.), ha sempre determinato la variegata presenza al suo interno di approcci e metodologie, che la rendono, ancora oggi, una disciplina molto meno standardizzata rispetto ad altri campi della radioprotezione. Questo è particolarmente evidente per le metodologie di valutazione della dose interna che, partendo dalle misure di attività sui campioni biologici di un soggetto, cercano di valutare la dose utilizzando modelli biocinetici e formulando delle ipotesi sul possibile scenario di contaminazione. Una tale procedura si è rivelata fortemente dipendente dall'esperienza e dalla competenza di chi effettua la valutazione di dose: per questo, negli ultimi anni, è stato continuo lo sforzo di fornire degli strumenti che permettessero di standardizzare e uniformare la valutazione stessa, almeno per i casi più semplici e frequenti di contaminazione interna.

2. Attività di standardizzazione in ambito ISO

L'Istituto di Radioprotezione partecipa da alcuni anni alle attività di standardizzazione in ambito ISO mediante la presenza di un suo delegato nel gruppo di lavoro 13 (WG 13: Performance requirements for internal dose evaluation of bioassay results), afferente alla Sottocommissione 2 (SC2: Radiation Protection) del comitato tecnico 85 (TC84: Nuclear Energy).

Le più recenti norme redatte o in corso di sviluppo sono:

- a) *ISO-DIS 20553 "Radiation protection - Monitoring of workers occupationally exposed to a risk of internal contamination with radioactive material"*

E' in corso di approvazione una norma finalizzata all'implementazione di un programma di monitoraggio della contaminazione per i lavoratori esposti al rischio di contaminazione interna. La norma si propone di fornire dei criteri per valutare la necessità di un programma di monitoraggio e quindi di fornire gli strumenti concettuali per la realizzazione dello stesso (calcolo della frequenza di monitoraggio, ipotesi sul tempo di contaminazione, valutazione della dose).

- b) *NWI Proposal: "Performance criteria for radiobioassay: detection limit, minimum testing level, relative bias and precision – Rationale and specific applications"*

Questo progetto di norma si propone di utilizzare le nozioni statistiche più recenti per fornire le indicazioni utili al calcolo del 'detection limit' (DL), i criteri per la valutazione delle prestazioni (performances) di un laboratorio (attraverso i Minimum Testing Level, MTL), le ragioni per la scelta di un particolare stimatore statistico dell'accuratezza e della precisione. I concetti di DL sono basati sulla statistica bayesiana, come recentemente sviluppati dall'ente di standardizzazione tedesco (DIN) [1] e successivamente implementati in ambito ISO [2].

- c) *NWI Proposal: "Dose assessment for the monitoring of workers for internal radiation exposure"*

Il progetto di norma si propone di definire una procedura standard per la valutazione della dose interna sulla base dei dati di misura diretta (body counter) e indiretta (escrezione). La norma sarà sviluppata per essere applicata nell'ambito di un programma di monitoraggio di routine per lavoratori professionalmente esposti al rischio di contaminazione interna. La norma si avvalerà dei risultati ottenuti nell'ambito del progetto IDEAS [3], finanziato dalla commissione europea e finalizzato allo sviluppo di linee guida per la valutazione della dose interna, al quale ha partecipato lo stesso Istituto di Radioprotezione.

[1] DIN 25482-10. *Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen - Teil 10: Allgemeine Anwendungen*, Berlin, (2000).

[2] ISO 11929-7. *Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements -- Part 7: Fundamentals and general applications*, Ginevra, (2005).

[3] Project IDEAS. *General guidelines for the estimation of committed dose from incorporation monitoring data*. Contract N° FIKR-CT2001-00160, <http://www.ideas-workshop.de>

PROGETTO EUROPEO ENETRAP : EUROPEAN NETWORK ON EDUCATION AND TRAINING IN RADIOLOGICAL PROTECTION

Andrea Luciani

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione
Bologna

1. Premessa

In un generale quadro europeo di riduzione e declino della competenze in sicurezza nucleare e radioprotezione, la formazione e l'addestramento in tali settori sono stati identificati come una delle priorità dell'Unione Europea ai fini di un'efficace e sicura realizzazione delle iniziative nel quadro della Comunità Europea per l'Energia Atomica (EURATOM). L'Istituto di Radioprotezione ha da sempre considerato la formazione e l'addestramento in radioprotezione come uno degli strumenti base nella realizzazione delle proprie attività. Per questo motivo ha aderito ad un consorzio di diverse istituzioni europee finalizzato alla realizzazione di un progetto di formazione ed addestramento in radioprotezione (co-ordination action ENETRAP) [1]. Le istituzioni partecipanti sono: ENEA - Italia, SCK•CEN e Université Catholique de Louvain - Belgio, INSTN e Université Joseph Fourier - Francia, FZK e BfS - Germania, NRG - Paesi Bassi, CIEMAT - Spagna, NRPB e North Highland College - Regno Unito.

2. Obiettivi e strumenti

Il progetto è strutturato in otto pacchetti di attività (WP: Work Package) come riportato in Tabella 1.

Tabella 1: Work packages del progetto ENETRAP

WP1	Implementazione e coordinamento di ENETRAP
WP2	Valutazione delle necessità e capacità di E&T nell'Unione Europea
WP3	Riconoscimento delle competenze e dei diplomi
WP4	Programmi di on-the-job training
WP5	Nuovi concetti e e nuovi strumenti per un corso europeo in radioprotezione
WP6	Analisi del contenuto scientifico dei moduli di E&T dell'IAEA
WP7	Lancio di una sessione pilota del corso europeo in radioprotezione
WP8	Creazione di un consorzio ERASMUS di Università

I principali obiettivi di questo progetto sono:

- l'integrazione delle esistenti attività di educazione e training (E&T) in radioprotezione per combattere il declino sia di studenti che di istituzioni didattiche;
- lo sviluppo di approcci armonizzati per l'E&T in radioprotezione in tutta Europa;
- il mantenimento delle competenze per un continuo e sicuro utilizzo delle radiazioni nell'industria, nella medicina e nella ricerca.

Questi obiettivi verranno perseguiti creando un network europeo per l'E&T in radioprotezione che:

- valuterà le capacità e le infrastrutture già esistenti;
- identificherà i potenziali utenti e il loro coinvolgimento per la futura sostenibilità del network;
- lancerà un consorzio di università con lo scopo di creare un Master Europeo in Radioprotezione;
- verificherà l'efficacia dei programmi di on-the-job training;
- proporrà raccomandazioni per il riconoscimento dei corsi e degli esperti in radioprotezione.

3. Stato attuale del progetto

Il progetto ha avuto inizio il 1° aprile 2005. Al momento è in corso di svolgimento un'indagine, mediante un questionario inviato a tutti i referenti nazionali europei, volta a fotografare:

- le esistenti capacità e le carenze in termini di competenze in radioprotezione;
- l'organizzazione dei pertinenti sistemi educativi nazionali;
- i requisiti legali nazionali al fine del riconoscimento delle figure di esperti in radioprotezione.

[1] *Project ENETRAP. European Network on Education and Training in Radiological Protection. Contract N° (FI6O) 516529, <http://www.sckcen.be/enetrp>*

**ATTIVITA' DI RICERCA,
SVILUPPO E QUALIFICAZIONE.**

NUOVE ANALISI MOLECOLARI PER INDIVIDUARE ESPRESSIONI GENICHE INDOTTE DALLE RADIAZIONI IONIZZANTI

Roberto Amendola ed Elena Piras
ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione
Casaccia

1. Premessa

La Commissione Internazionale di Radioprotezione (ICRP) ha ulteriormente abbassato la dose soglia per l'esposizione in lavoratori esposti e popolazione in genere e un metodo efficace e riproducibile di valutazione dell'esposizione appare, quindi, di maggiore importanza. Essendo i metodi in uso, basati sulla conta dei centrici o dei micronuclei, non completamente soddisfacenti *in vivo* e/o per basse dosi, si propone di applicare le recenti innovazioni molecolari per implementare differenti possibilità di analisi.

2. Aspetti dell'impiego della tecnica Comet-FISH e di microarrays in radioprotezione

La definizione, pubblicazione e disponibilità delle sequenze nucleotidiche complete del genoma umano e murino possono essere applicate in radiobiologia per individuare sia le espressioni geniche sia i danni al DNA indotti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti. Questi risultati, debitamente confermati su diversi modelli sperimentali, possono essere utilizzati come bio-marcatori da cui ottenere risposte sulla quantità, la qualità della dose assorbita ed il tempo trascorso dall'esposizione. Nel campo della citogenetica si è implementata la tecnica della Comet con l'uso dell'ibridazione di sequenze di geni ritenute sensibili alle radiazioni ionizzanti (RET e cAbl) per discriminare il livello di frammentazione dei geni stessi in seguito ad esposizione *total body* in animali sperimentali. I risultati ottenuti da esperimenti preliminari, effettuati su cellule di sangue periferico murino dopo esposizione *total body* (figura 1), sono stati confrontati con la metodica Comet classica, che non è in grado di discriminare la gradualità della dose, ma solo l'avvenuta esposizione. Le analisi statistiche sono state effettuate con la comparazione multipla ad una via (ANOVA), post hoc Bonferroni.

L'approccio molecolare può affrontare sia l'aspetto di valutazione di espressioni geniche differenziali sia l'aspetto citogenetico, implementando le metodologie già in uso. Le analisi di espressioni differenziali si ottengono tramite la metodologia del "cDNA ARRAY" (figura 2), supporto solido di nylon o vetro, su cui sono depositate micro quantità di corte sequenze uniche di singoli geni (spot) riferito ad un particolare genoma (uomo o topo, ad esempio). cDNA provenienti dai campioni in esame (esposto vs non esposto) vengono messe a contatto con lo stesso cDNA Array previa marcatura con fluorocromi diversi (ad esempio ad emissione rosso ed emissione verde).

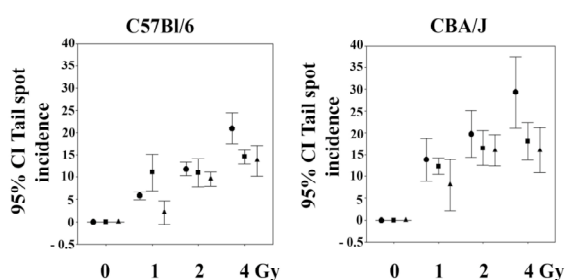


Figura 1: Numero di cellule con frammentazioni per i geni RET (quadrato), cAbl (disco) e TP53 (triangolo) valutati in sangue periferico dopo 0, 1, 2, e 4 Gy raggi X.

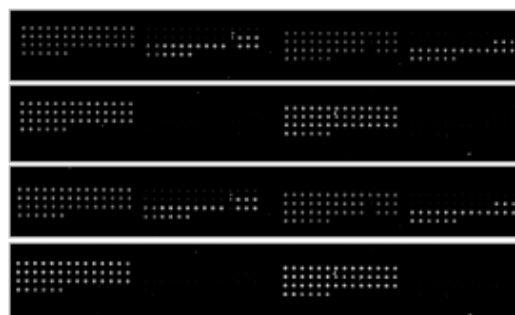


Figura 2: Esperimento con cDNA microarray autoctono per la valutazione di espressioni geniche differenziali in sangue periferico tra 0, e 4 Gy.

3. Conclusioni

Entrambe le metodiche si sono rivelate idonee per la valutazione molecolare di esposizione a radiazioni ionizzanti. Nel caso della Comet-FISH, la metodica è già a livello prototipale per l'applicazione *in vivo*. Nel caso dei microarrays, occorre verificare la metodica in relazione alla scarsità di informazioni sulla riproducibilità *in vitro/in vivo* ed alla trasposizione dei dati dall'animale sperimentale all'uomo.

DETERMINAZIONE DI ATTINIDI IN MATRICI BIOLOGICHE

Enrico Barberis*, Sandro Bortoluzzi, Giuseppe Canuto, Mario Montalto e Mauro Nocente

*Laureando Università di Torino – Dipartimento di Fisica

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione, Saluggia

1. Sintesi del lavoro di ricerca

Il lavoro di ricerca ha avuto come oggetto le metodiche di analisi per la determinazione del plutonio in campioni di feci. E' stato approfondito lo studio del metodo di misura mediante spettrometria alfa con particolare riguardo ai fattori che influenzano il valore di Minimum Detectable Activity (MDA), parametro critico dati gli elevati coefficienti di dose associati al radionuclide in esame.

In prima approssimazione la grandezza che condiziona pesantemente la MDA è la resa chimica (figura 1). La resa chimica è soggetta, in un batch di analisi, ad una variabilità dovuta, sia al fatto che i campioni presentano una composizione chimica simile ma non identica tra loro, sia alle incertezze legate ad una tecnica d'analisi fortemente condizionata dal fattore uomo.

Un fattore che può incidere, anche in maniera decisiva sia sulla MDA, sia sul risultato da ricercarsi con l'analisi effettuata, è la risoluzione (FWHM) dei picchi dello spettro alfa ottenuto dalla misura sugli escreti. Una risoluzione troppo elevata può portare ad una sovrapposizione o col picco del radionuclide di "traccia" (aggiunto per consentire una misura quantitativa) o con eventuali picchi di radionuclidi naturali presenti, sino a rendere l'intero risultato ottenuto non affidabile e quindi da rigettare, compromettendo perciò tutto il lavoro svolto.

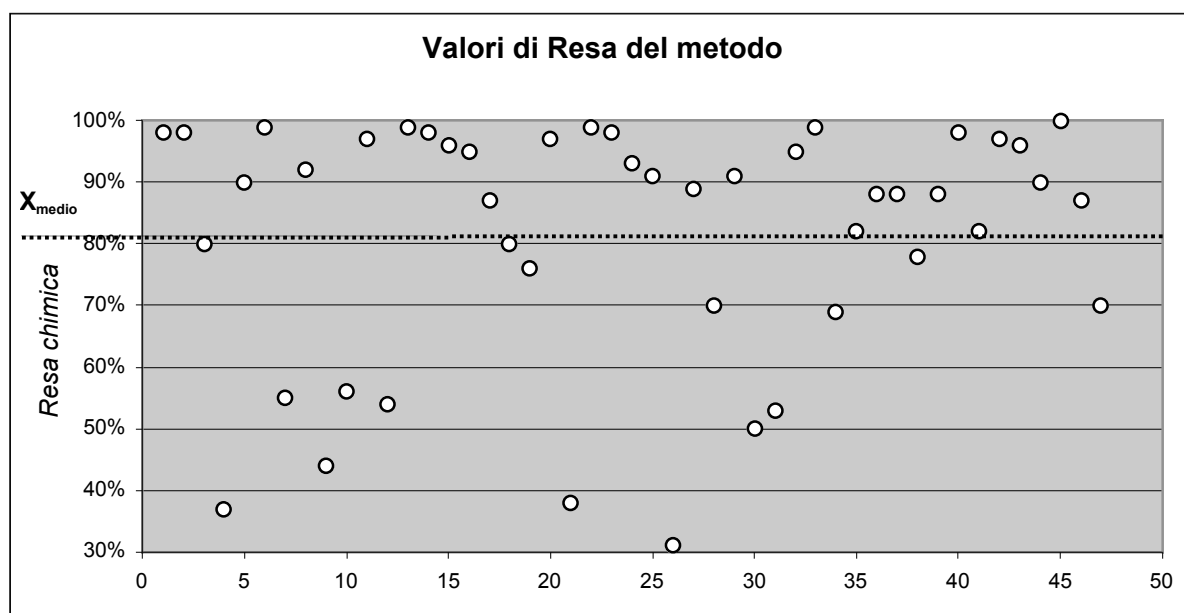


Figura 1: Valori di resa del metodo impiegato. X_{medio} in figura rappresenta il valore medio assunto come valore di riferimento di Resa Chimica per il metodo usato.

[1] P. Spezzano, *Esperienze effettuate presso il C.R. Saluggia dell'ENEA nella determinazione di plutonio in campioni biologici ed ambientali*, RT/AMB/97/22 (1997).

[2] A. Luciani *Biocinetica del plutonio nel corpo umano*. Notiziario di radioprotezione dell'esperto qualificato - Bollettino ANPEQ n. 68-69 (maggio-dicembre), (2004) pag. 29-40

STUDIO DEL DANNO INDIRETTO INDOTTO DA BASSE DOSI DI RADIAZIONI IONIZZANTI: BYSTANDER EFFECT

Emiliano Basso, Petia Ninova* e Anna Giovanetti

* Borsista ENEA-RELINT Inst of Molecular Biology, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia (BG)
ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione, Casaccia

1. Premessa

Nel corso del 2005 sono stati sviluppati programmi di ricerca che riguardano il danno indiretto indotto dalle radiazioni ionizzanti e l'applicazione di nuove tecniche per lo studio dei meccanismi cellulari alla base del danno genetico. L'attività principale ha riguardato lo studio del bystander (BE) effect.

2. By-stander effect e stima del rischio per le basse dosi

Studi recenti hanno dimostrato che l'entità del danno indotto da basse dosi di radiazioni ionizzanti non è direttamente proporzionale alla dose e che dosi inferiori a 0,5 Gy possono indurre un danno genetico indiretto in cellule vicine alle irraggiate o esposte al loro terreno di coltura (*bystander effect*, BE). Il BE implica una riconsiderazione della stima del rischio per le basse dosi e presso l'Istituto di Radioprotezione sono in corso idonei programmi di ricerca.

Nel corso del 2005 è stata realizzata una serie di esperimenti per verificare il BE utilizzando il terreno di cellule irraggiate con 0; 0,1; e 1,0 Gy di raggi X. Per tutte le cellule si è analizzato il danno genetico, tramite *Comet assay*, la clonogenicità e il ciclo cellulare, l'indice apoptotico e lo stress ossidativo attraverso tecniche citofluorimetriche. I risultati indicano l'induzione del BE da parte del terreno delle cellule esposte a 0,1 Gy dopo 4 h della messa in coltura (Figura 1). Le cellule irraggiate con basse dosi rilasciano quindi segnali diffusibili in grado di indurre danno genetico in cellule non trattate.

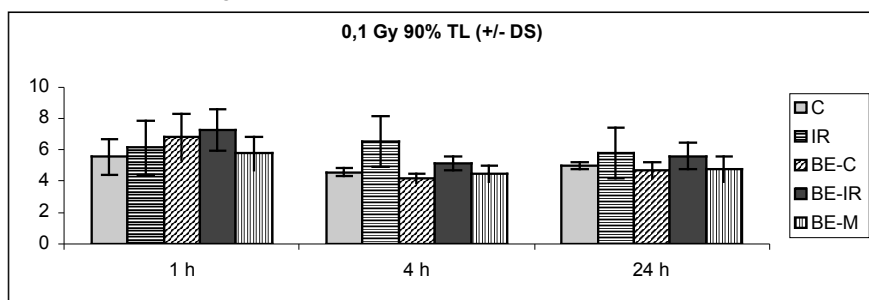


Figura 1: Confronto tra i gruppi sperimentali a 1 h, 4 h e 24 h dal trattamento utilizzando come parametro il 90° percentile della lunghezza della coda della cometa (90% TL). (C=controlli; IR=cell irraggiate; BE-C=cell tratt con terreno di C; BE-C=cell tratt con terreno di IR; BE-M=cell tratt con il solo terreno irraggiato).

Sono in corso ulteriori esperimenti per analizzare la presenza di stress ossidativo a tempi lunghi utilizzando differenti metodi. Per la comprensione del ruolo della membrana cellulare nella trasmissione del segnale BE è in corso una collaborazione con l'Università "Tor Vergata", nell'ambito della quale stiamo analizzando gli effetti sull'induzione del BE indotto dalla deplezione degli glicosfingolipidi di membrana mediante inibitore (P4).

3. Conclusioni

I risultati finora ottenuti indicano come le basse dosi di radiazioni ionizzanti sono in grado di indurre un danno genetico anche in cellule non irraggiate direttamente ma messe in contatto con il terreno di cellule irraggiate. Questo risultato è in accordo con i dati della letteratura che riportano il manifestarsi del BE solo per dosi inferiori a 0,5 Gy. E' prevista una prosecuzione degli studi sul BE anche per le implicazioni dei risultati sui criteri e le pratiche in radioprotezione nella stima del rischio da basse dosi.

[1] A. Giovanetti, E. Basso, P. Ninova, R. Amendola. *Analisi del danno genetico in cellule non irraggiate direttamente ma trattate con il terreno di cellule irraggiate: bystander effect*. Presentato a "La radioprotezione nella ricerca. La ricerca in radioprotezione" 15-17 settembre 2005, Catania, Italia.

STUDIO PARAMETRICO DELLA VALUTAZIONE DI DOSE ALLA POPOLAZIONE PER UNO SCARICO RADIOATTIVO DAL CR CASACCIA

Mario Basta

ENEA-ION-Istituto di Radioprotezione
Saluggia

1. Premessa

E' stato eseguito uno studio per la valutazione della dose alla popolazione per uno scarico radioattivo dal Centro Ricerca di Casaccia. In particolare lo scopo dello studio era di valutare la non rilevanza radiologica di un possibile scarico, secondo la definizione prevista dalla legge (dose all'individuo del gruppo critico della popolazione inferiore a 10 microSv/anno e dose collettiva inferiore ad 1 Sv-uomo). Poiché molte sono le variabili che entrano in gioco in tale valutazione, lo studio è stato eseguito in modo parametrico, cioè ponendo uguale ad 1 ciascuna variabile: in tal modo si può applicare il metodo adottato ad uno scarico reale, sostituendo ad 1 il valore reale delle specifiche variabili considerate. Lo studio inoltre è stato eseguito adottando sempre fattori cautelativi, cioè sovrastimando il valore della dose, sovrastima da utilizzare come valore "amministrativo" circa la decisione sulla rilevanza radiologica dello scarico, ma dando anche una valutazione della sovrastima effettuata. Infine è stato applicato il metodo ad uno specifico possibile scarico reale dal CR Casaccia.

2. Studio

La prima variabile considerata è stata la composizione radiologica dello scarico stesso. E' stata posta pertanto uguale ad 1 Bq/l la concentrazione di 22 specifici radionuclidi che, almeno potenzialmente, potrebbero essere presenti nello scarico. Sono stati comunque cautelativamente considerati anche tutti gli altri radionuclidi, suddividendoli nelle due classi di beta/gamma emettitori ed alfa emettitori. Una seconda variabile considerata è stata la portata del corso d'acqua nel quale si dovrebbe effettuare lo scarico, che pertanto è stata posta anch'essa pari ad 1 l/s. Cautelativamente è stato considerato il corso d'acqua a portata più bassa e non quello (attraverso il quale avviene realmente la diffusione della radioattività verso l'ambiente esterno) a portata più alta. Sono state pertanto valutate le concentrazioni in acqua e la deposizione sul terreno per ciascun radionuclide e per l'insieme degli altri beta/gamma ed alfa emettitori. Considerando una specifica dieta e specifici coefficienti di dose-deposizione [1], che erano stati calcolati applicando il modello ECOSYS e dati IAEA, sono state valutate le dosi all'individuo del gruppo critico della popolazione, assumendo cautelativamente che la sua dieta alimentare sia costituita esclusivamente da alimenti cresciuti con le acque del corso d'acqua considerato. Quindi è stata valutata la dose collettiva del gruppo critico della popolazione, assumendo cautelativamente un numero di individui più alto del probabile ed infine è stata valutata anche, cautelativamente, la dose collettiva all'insieme della popolazione, ovunque essa sia residente, considerando tutta la produzione alimentare di una fascia territoriale larga 4 km sviluppata lungo il corso d'acqua, partendo da dati di produzione alimentare della Regione Lazio e della Provincia di Roma pubblicati o validati da ISTAT.

3. Conclusioni

Lo studio così effettuato è stato applicato ad un possibile scarico reale, e quindi con valori delle variabili suddette non più convenzionalmente unitaria, ed il risultato ha mostrato la rilevanza radiologica dello scarico stesso, in quanto la dose all'individuo del gruppo critico della popolazione è superiore al valore di 10 microSv/anno. La disaggregazione del valore della dose relativamente ai vari radionuclidi ha però permesso di mettere in evidenza la rilevanza di due specifici radionuclidi (Sr90 e Cs137), per i quali è stato pertanto chiesto uno specifico programma di eliminazione dall'eventuale scarico stesso.

[1] R. Minasi, *Giustificazione dell'incendio quale evento di riferimento per la determinazione dei limiti massimi detenibili: descrizione dei criteri, delle ipotesi e dei modelli sulla cui base sono state calcolate le dosi per gli individui della popolazione esposti all'evento preso a riferimento e proposta di formula di scarico*, Nucleco, TEIN 400 R P 055, (2003)

ATTIVITÀ DI INTERCALIBRAZIONE DEI LABORATORI DI SORVEGLIANZA AMBIENTALE

Paolo Battisti

ION - Istituto di Radioprotezione
Bologna

1. Introduzione

Uno degli obiettivi dell'Istituto di Radioprotezione è quello di organizzare i laboratori in un unico sistema in grado di rispondere al più ampio ventaglio di esigenze e ha visto come primo ed indispensabile passo quello di un confronto delle metodiche e delle procedure operative.

Come già fatto per la dosimetria interna, anche per i laboratori di sorveglianza ambientale è stato avviato un processo di ottimizzazione delle risorse e razionalizzazione di dotazione strumentale, competenze e specializzazioni. Al fine di garantire un'unicità di risposta in tutto l'Ente in termini di competenze e di tipologia di servizi forniti, i laboratori IRP sono coordinati dalla "Unità di coordinamento", che favorisce anche lo sviluppo di "centri" di specializzazione su temi/tecniche specifiche nelle varie sedi dell'Istituto evitando la duplicazione dei servizi svolti.

Nel 2005 è stata effettuata una azione di inter-calibrazione fra tutti i laboratori di sorveglianza ambientale.

2. Attività di inter-calibrazione

La prima tecnica presa in esame per la inter-calibrazione dei laboratori è stata la spettrometria α . L'azione, utile a qualificare e armonizzare le misure effettuate nei vari laboratori, ha in primo luogo richiesto l'analisi delle numerose diverse geometrie di misura comunemente impiegate (compatibili con le dimensioni dei rivelatori in uso e i campioni generalmente misurati) al fine, ove possibile, di uniformare le scelte ed è proseguita con un programma di intercalibrazione predisposto e realizzato da un gruppo di lavoro appositamente costituito all'interno dell'Istituto.

Il programma si è basato sulla produzione e fornitura a ciascun laboratorio, per ogni geometria adottata, di standard di taratura (sorgenti α multipicco QCY in forma di gel di acrilammide) fra loro tutti omogenei per composizione, densità (1.01 g/cm^3) e concentrazione di attività (Bq/g) dei diversi radionuclidi presenti, in quanto realizzati mediante prelievo da un'unica sorgente madre (Tabella 2).

Tabella 1. Standard di taratura per spettrometria α (sorgenti α multipicco QCY in forma di gel di acrilammide, $\rho = 1.01 \text{ g/cm}^3$) in dotazione ai Laboratori ION IRP di Sorveglianza Ambientale per le diverse geometrie di misura utilizzate.

Laboratorio Saluggia		Laboratorio Casaccia		Laboratorio Trisaia	
Contenitore	Volume soluzione (ml)	Contenitore	Volume soluzione (ml)	Contenitore	Volume soluzione (ml)
Becker di Marinelli	2000	becker di Marinelli	1000	becker di Marinelli	1000
Becker di Marinelli	1000	becker di Marinelli	500	becker di Marinelli	500
Becker di Marinelli	500	cilindrico $\Phi 65 \text{ mm}$	100	bottiglia in plastica	1000
cilindrico $\Phi 120 \text{ mm}$	300	cilindrico $\Phi 65 \text{ mm}$	50	cilindrico $\Phi 65 \text{ mm}$	100
cilindrico $\Phi 120 \text{ mm}$	200	per 5 filtri $\Phi 95 \text{ mm}$	2	cilindrico $\Phi 65 \text{ mm}$	50
cilindrico $\Phi 65 \text{ mm}$	100	per 5 filtri $\Phi 47 \text{ mm}$	1.5	per 5 filtri $\Phi 47 \text{ mm}$	1.5
cilindrico $\Phi 65 \text{ mm}$	50	per 21 filtri $\Phi 47 \text{ mm}$	7		
cilindrico $\Phi 65 \text{ mm}$	25	per 90 filtri $\Phi 47 \text{ mm}$	24		
cilindrico $\Phi 105 \text{ mm}$	50				
cilindrico $\Phi 105 \text{ mm}$	20				
cilindrico $\Phi 55 \text{ mm}$	5				

Nota. Nell'occasione sono state prodotti e forniti standard di taratura dello stesso tipo anche al Laboratorio di Radiotossicologia IRP Casaccia (becker di Marinelli da 1000 ml e 500 ml) ed al Laboratorio IRP Frascati (becker di Marinelli da 1000 ml).

La riferibilità degli standard è stata testata mediante numerose verifiche sperimentali eseguite prima sulla sorgente madre e poi attraverso misure incrociate degli standard stessi. La correttezza e la reale inter-

calibrazione dei laboratori ha trovato poi conferma dai buoni risultati ottenuti nelle iniziative di interconfronto nazionale ed internazionale alle quali i laboratori IRP hanno recentemente partecipato. Fra queste citiamo:

- partecipazione dei tre laboratori alla campagna d'interconfronto nazionale sulla misura, mediante spettrometria γ dell'attività di radionuclidi artificiali su un campione con geometria dischetto (filtro con diametro pari a 34 mm), organizzato dall'APAT in collaborazione con l'Istituto di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti dell'ENEA nell'ambito del Programma di affidabilità della Rete Nazionale degli Istituti, Enti ed Organismi idoneamente attrezzati;
- partecipazione del laboratorio CR Trisaia e del laboratorio di Radiotossicologia CR Casaccia all'interconfronto PROCORAD 2005 ove, fra le altre, era prevista la misura (effettuata in geometria beaker di Marinelli da 1000 ml) di radionuclidi β emettitori in campioni di urina.

Oltre alle procedure di misura adottate sono stati presi in esame anche alcuni punti non strettamente tecnici, ma tuttavia essenziali ai fini dell'affidabilità e della qualità di un servizio: campionamento, tracciabilità del campione, refertazione del dato di misura, procedure e documentazione per la gestione delle richieste di misura.

Per quanto invece attiene la tracciabilità, sono state stilate le procedure inerenti il "percorso" del campione dal momento della sua ricezione in Laboratorio fino all'effettuazione della misura ed eventuale stoccaggio, mentre è in fase di studio la procedura di campionamento *in situ* per alcune matrici.

E' stato già stabilito ed adottato un modulo standard di referto delle misure, il format di trasmissione, dai laboratori all'Unità di Coordinamento, dei dati necessari per la compilazione del referto stesso, nonché la modulistica per la richiesta (da parte dell'utente) e l'offerta (da parte del Servizio) di prestazioni.

3. Conclusioni

L'azione di inter-calibrazione, che ha dato risultati più che soddisfacenti, è stata una fondamentale occasione di revisione e armonizzazione dei metodi di misura. Inoltre l'analisi dei dati ha messo in evidenza la necessità di armonizzare anche gli algoritmi/software utilizzati per l'analisi spettrale, nonché delle procedure per la determinazione delle minime attività rivelabili ed il calcolo delle incertezze associate al dato di misura.

A questo proposito, in collaborazione con gli esperti IRP di dosimetria numerica, è in previsione anche uno studio basato sulla simulazione Monte Carlo per il calcolo dei fattori correttivi utili per ricavare le curve di efficienza in funzione dalla densità della matrice.

E' importante sottolineare che l'armonizzazione di procedure e la inter-calibrazione dei laboratori è un aspetto tutt'altro che accessorio ed un passaggio necessario in vista dell'obiettivo complessivo dei laboratori IRP del conseguimento della certificazione di qualità (i.e. ISO 9000) e di accreditamento (i.e. ISO17025).

[1] UNICEN, *Determinazione di emettitori gamma in matrici agroalimentari e prodotti derivati*, Norma UNI 10136, 1992.

[2] International Organization for Standardisation, *Quality management systems — Guidelines for performance improvements*, ISO Standard 9004, 2000.

[3] International Organization for Standardisation and International Electrotechnical Commission. *General Requirement for the Competence of Testing and Calibration Laboratory*. ISO/IEC Standard 17025, 1999.

ANALISI DI STRONZIO-90 IN CAMPIONI BIOLOGICI

Paolo Battisti

ENEA – ION - Istituto di Radioprotezione
Bologna

1. Premessa

Lo Sr-90 è un isotopo radioattivo artificiale, prodotto durante i processi di fissione nucleare; in passato è stato rilasciato nell'ambiente con il fallout radioattivo successivo ai test nucleari in atmosfera e agli incidenti nucleari come Chernobyl. E' uno dei più longevi emettitori di raggi beta ad alta energia; pertanto, è considerato fra i più pericolosi contaminanti per l'uomo e per l'ambiente, non solo per l'emivita relativamente lunga (circa 29 anni), ma anche per la sua somiglianza con il calcio, al quale si sostituisce nell'organismo umano provocando, tramite la sua radioattività, l'insorgere di forme tumorali.

Lo Sr-90 si accumula prevalentemente nei tessuti ossei (scheletro, denti, ...) dove emette particelle beta di energia massima pari a 0,546 MeV, trasformandosi nel nuclide figlio Ittrio-90 che a sua volta emette radiazione beta di energia elevata ($E_{max} = 2,27 \text{ MeV}$) con un tempo di dimezzamento di 64 ore.

L'escrezione dello stronzio avviene attraverso urine (circa l'80% dell'escrezione totale di Stronzio) e feci. Pertanto, la determinazione di Sr-90 nelle urine delle 24 ore è importante ai fini del monitoraggio di un'eventuale contaminazione interna. D'altra parte la determinazione di Sr-90 nei denti può fornire una misura attendibile per risalire al carico totale (contaminazione esterna e interna) di Sr-90 nell'organismo e, in particolare, l'analisi radiochimica della dentina fornisce informazioni sullo Sr-90 proveniente da contaminazione interna.

Poiché il massimo livello tollerato di introduzione annuale di Sr-90 nel corpo umano è estremamente basso, è necessario disporre di metodi di misura molto sensibili.

Entrambi i radionuclidi Sr-90 e Y-90 sono emettitori beta puri e non possono essere identificati da misure dirette via spettrometria gamma. Le procedure per la determinazione dello Sr-90 prevedono, prima della misura, una complessa separazione radiochimica, ottenuta, generalmente, attraverso precipitazione ed estrazione cromatografica, in modo da eliminare gli elementi sia inattivi (come il calcio) sia radioattivi presenti nel campione, i quali potrebbero interferire col successivo conteggio beta.

2. Materiali e Metodi

La misura della radiazione beta può essere effettuata con varie tecniche: contatore proporzionale a gas, scintillazione liquida (LSC), emissione Cherenkov.

Dalla ricerca bibliografica effettuata emerge che la LSC ha il vantaggio rispetto al conteggio beta a basso fondo di avere un'efficienza elevata e abbastanza costante, in quanto il nuclide è disperso omogeneamente nel mezzo scintillante e, quindi, non ci sono problemi di autoassorbimento del campione.

L'applicazione pratica della radiazione Cherenkov rappresenta uno dei più interessanti sviluppi della tecnica LSC. I vantaggi rispetto alla procedura LSC convenzionale sono la semplicità e l'economicità, in quanto è possibile contare sistemi acquosi evitando l'uso di cocktail organici che spesso presentano rischi di tossicità; inoltre, senza l'aggiunta di ulteriori reagenti il campione può anche essere utilizzato per ulteriori test. A ciò si aggiunge il fatto che non ci sono interferenze da parte di radionuclidi le cui emissioni non riescono a produrre effetto Cherenkov (es. ^3H , ^{14}C , ^{35}S , ...).

Sino ad oggi, nel nostro laboratorio, la determinazione dello Sr-90 nelle urine è stata effettuata mediante precipitazione dei fosfati e conteggio della radiazione beta totale, assegnando tutta l'attività misurata al radionuclide più pericoloso ovvero allo Sr-90.

Data l'importanza per il nostro laboratorio di radiotossicologia di disporre di una metodica per la determinazione specifica di Sr-90 nelle urine e avendo la necessità di mettere a punto, anche, una metodica per misurare lo Sr-90 nella dentina, è stata programmata e avviata una fase di sperimentazione delle possibili tecniche di misura e procedure di analisi per la determinazione dello Sr-90 in campioni biologici.

In particolare sono in fase di studio:

- 1) l'estrazione dello Sr-90 dalla matrice mediante la resina Sr Spec della Eichrom®; il successivo conteggio in scintillazione liquida di Sr + Y dopo aver atteso per circa 15 giorni, in modo che si ristabilisca il loro equilibrio secolare, oppure la misura della radiazione Cherenkov prodotta dall'Y-90 man mano che si riforma fino a raggiungere l'equilibrio con il padre (questa modalità è importante nel caso in cui si vogliono ottenere i risultati velocemente, in quanto già dopo 3-5 giorni si può disporre di un risultato attendibile);
- 2) l'isolamento dell'Y-90 dalla matrice usando come estraente l'acido (di-2-etilesil) fosforico (HDEHP) e la misura della radiazione Cherenkov prodotta dalle particelle beta dure dell'Y-90; seguendo, poi, il suo decadimento nel tempo si può confermare che l'attività misurata è effettivamente attribuibile all'Y-90 e si può, anche, determinare il limite di sensibilità raggiungibile con questa tecnica;
- 3) la precipitazione dell'Ittrio, ottenuto al punto 1) a partire dallo Sr-90 o estratto, al punto 2), in modo selettivo, come ossalato e il conteggio con basso fondo beta (contatore proporzionale ad argon-metano).

Inoltre, sono in fase di sperimentazione le possibili modalità da utilizzare per determinare la resa chimica dell'analisi.

3. Conclusioni

Le prime misure effettuate, sulla matrice urina, isolando l'Y-90 con l'HDEHP e misurando con metodo Cherenkov hanno dato una resa di analisi intorno all'80% e un'efficienza di conteggio del 65-70%, con previsione di poter raggiungere una MDA (Attività Minima Rivelabile) di 100 mBq/l.

AUTOMAZIONE DELLE OPERAZIONI DI ESTRAZIONE CHIMICA DEI TRANSURANICI NEGLI ESCRETI

Sandro Bortoluzzi, Mario Montalto e Mauro Nocente

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione

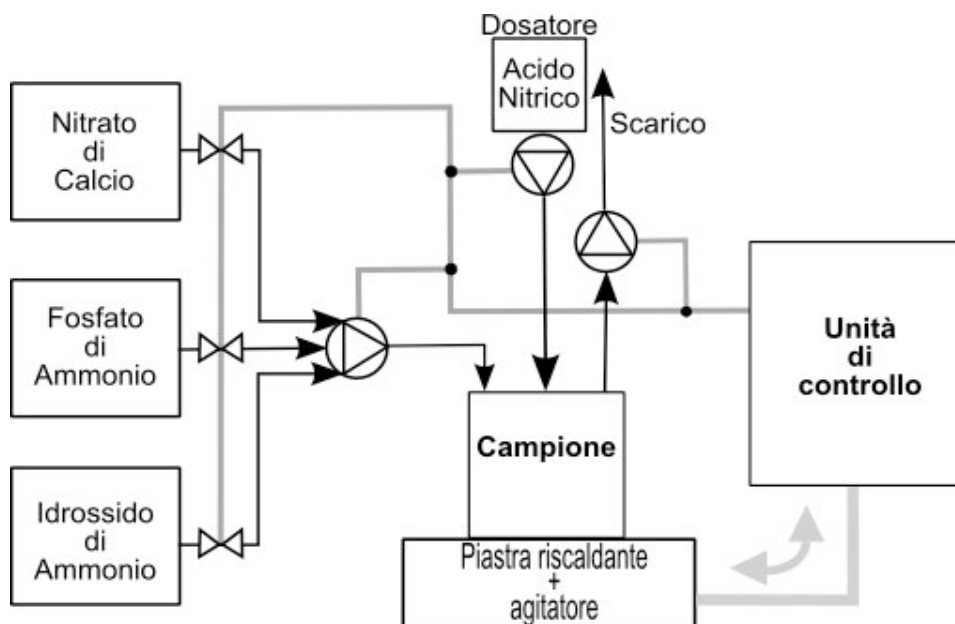
Saluggia

1. Premessa

L'esecuzione in parallelo di batch di analisi chimiche di separazione di transuranici nelle valutazioni di contaminazione interna sull'uomo, è fortemente influenzata dall'intervento manuale degli operatori. Si è posta quindi la necessità di automatizzare le diverse fasi delle procure chimiche, definendo e progettando un sistema servogestito che riduca al minimo l'intervento degli operatori nelle diverse fasi delle analisi chimiche di transuranici.

2. Descrizione del sistema e del procedimento di estrazione

Il lavoro sperimentale avviato riguarda l'automazione dell'analisi per la determinazione dell'americio e del plutonio nelle urine. Il procedimento, in estrema sintesi, può essere scomposto in tre operazioni distinte di mineralizzazione, da una precipitazione seguita da centrifugazione, dalla separazione in colonna dell'Am e del Pu e dalla elettrodeposizione. Attualmente è stato approntato un dispositivo sperimentale per verificare la fattibilità della prima parte del procedimento. Con un dispositivo, gestito da un computer, composto da una piastra riscaldante (con agitazione magnetica) e sistema di dosaggio a siringa (per reagenti aggressivi) oppure a pompa dosatrice per gli altri reagenti, è stata sperimentata la fattibilità tecnica per la prima mineralizzazione e la successiva precipitazione. In pratica, dopo aver collocato sulla piastra il becker contenente il campione tracciato, il dispositivo dosa a tempo debito i reagenti, esegue i profili di temperatura necessari completando il procedimento fino alla precipitazione ed alla rimozione mediante aspirazione del surnatante.



3. Conclusioni

I risultati sono stati soddisfacenti con particolare riguardo al rispetto rigoroso del profilo di temperatura garantendo sempre la possibilità di regolare, in base a quantità costanti di reagenti, anche il valore ottimale di pH utile per la precipitazione. Il lavoro sperimentale deve proseguire per la verifica delle altre fasi del procedimento.

[1] Nevissi A.E., Strebin R.S. J. Rad. Nucl. Chem. Vol. 197, N°2 (1995) 211-218.

VALUTAZIONE DI ESTRAENTI PER LA DETERMINAZIONE DI ATTINIDI

Sandro Bortoluzzi, Giuseppe Canuto, Mario Montalto e Mauro Nocente

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione

Saluggia

1. Premessa

Una delle maggiori problematiche di interesse nella determinazione del contenuto di attinidi e dei transuranici in particolare è la scelta dell'estrattore chimico in grado di separare in maniera selettiva il composto chimico di interesse dal resto. In ambito ENEA quest'attività di ricerca applicata ristagnava da anni, essendosi limitata a studi condotti negli anni '80. La necessità di una revisione critica e di confronto con la realtà dei laboratori operanti in ambito radioprotezionistico, ha posto in essere uno studio di analisi delle caratteristiche di alcuni estraenti chimici e dei conseguenti metodi di operazione sugli attinidi.

2. Estraenti chimici per transuranici

Se si vuole determinare la presenza dei transuranici in tracce è d'obbligo operare mediante spettrometria alfa, raccogliere cioè lo spettro di emissione energetico delle particelle alfa di decadimento. A causa dell'elevato LET delle particelle alfa e della presenza in natura di quantità apprezzabili di uranio e torio, si rende necessario agire sul campione da analizzare a monte della misura fisica, con una separazione e purificazione mediante agenti chimici. Fondamentale per tale operazione è l'agente estraente, che operando in particolari condizioni fisico-chimiche, separa in maniera selettiva l'elemento chimico di interesse dagli altri di disturbo. Le peculiarità che deve presentare un estraente devono essere: elevata selettività, scarsa variabilità della resa di separazione, purificazione dei confronti degli elementi della catene naturali di torio e uranio, semplificazione dei metodi d'analisi.

Lo studio si è concentrato su tre dei principali estraenti la Tri Ottil Fosfina Ossido (TOPO), storicamente utilizzata dai laboratori ENEA, TruSpec della Eichrom[®], la resina AG1X della Biorad[®].

Un'attenzione particolare stata posta nella definizione di una metodica di separazione in serie degli elementi Plutonio, Americio e Curio, di particolare interesse nelle valutazioni dosimetriche di contaminazione interna da Transuranici

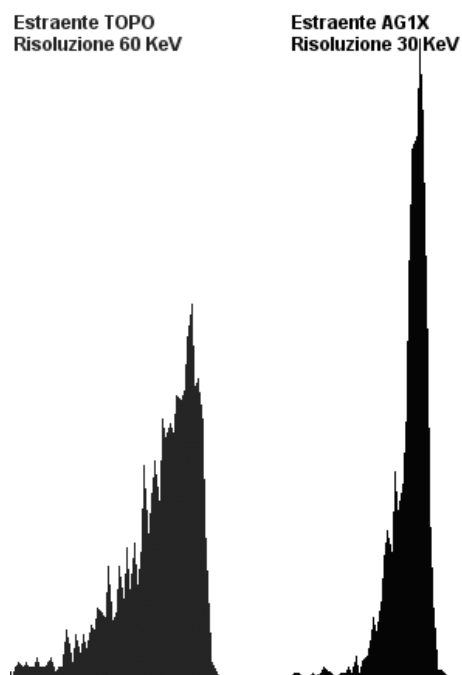


Figura 1: Picco a del ²⁴²Pu(4,9 MeV) di due spettri ottenuti con differenti estraenti.

3. Conclusioni

Le ricerche finora svolte hanno consentito la messa punto di un metodo analitico per la determinazione del plutonio nelle feci. Gli studi proseguiranno per la definizione di un procedimento che consenta di separare americio e plutonio dalla stessa aliquota di campione.

[1] P.Spezzano *Esperienze effettuate presso il C.R. Saluggia dell'ENEA nella determinazione di plutonio in campioni biologici ed ambientali*, RT/AMB/97/22. PROCORAD Collection of techniques (2004) 11/1.

[2] C. Testa, *Determination of actinides elements in biological samples by extraction chromatography*", *Chromatography in biochemistry*, (1983), 1,131.

[3] C. Testa, Masi G., Bazzarri S., Marchionni V., Santori G, *Tecniche radiotossicologiche in uso presso il CNEN*, CNEN, RT/PROT(71)9.

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

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

1. Premessa

Il Servizio Radon dell'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA nasce nel 2000 con un'azione di ricerca [1], [2], che in due anni porta alla realizzazione di un nuovo strumento per il campionamento passivo del ^{222}Rn . Da allora l'azione di ricerca è proseguita con il duplice scopo di migliorare sempre di più l'accuratezza e la precisione della misura dell'esposizione al radon, e di affrontare le problematiche di radioprotezione dalle radiazioni di origine naturale su cui l'Istituto possiede da tempo competenze sia strumentali sia professionali.

2. Le linee di ricerca per il Servizio Radon

L'azione di studio e ricerca è indirizzata principalmente ad ottimizzare il Servizio determinando le condizioni per una misura della concentrazione di radon in garanzia di qualità. Le linee di ricerca da un lato riguardano il miglioramento del "dosimetro" dal punto di vista di utilizzazione da parte dell'utente, dall'altro i miglioramenti sull'affidabilità della risposta del rivelatore (CR-39[®]). Per quanto riguarda il dosimetro, dopo il passaggio dal modello in ABS a quello in Nylon grafitato, è stata messa a punto un'ulteriore modifica per evitare l'uso del rivelatore testimone per le esposizioni durante le spedizioni (transit); tale modifica offre notevoli vantaggi (es. diminuzione dei tempi di assemblaggio e miglioramento dell'accuratezza dei risultati). Una volta brevettato, il nuovo dosimetro potrà essere messo in commercio con costi molto più competitivi. Per quanto riguarda il rivelatore, è in corso un esperimento per valutare gli effetti di "ageing" e "fading" (deterioramento dovuto alla durata e alle condizioni ambientali di esposizione). Lo scopo consiste nel valutare se si verifica una variazione della risposta del rivelatore all'esposizione al radon; in caso positivo per garantire una misura accurata, sarà necessario correggere la misura per un appropriato fattore. I risultati dei primi 6 mesi del test sono stati presentati al recente congresso AIRP di Catania [3]. E' appena terminato un altro studio connesso alla variabilità della risposta del rivelatore in funzione dello spessore rimosso dall'attacco chimico. Due lavori su tale argomento sono stati presentati al congresso sull'Individual Monitoring IM 2005 tenutosi a Vienna [4] e al convegno dell'Associazione Italiana di Radioprotezione tenutosi a Catania [5]. E' infine in costruzione una nuova camera radon di taratura da utilizzare per il Servizio. Si tratta di un "vessel" in acciaio inox, che verrà posizionato nel laboratorio NORM e opportunamente attrezzato per esposizioni controllate al radon, toron ed ai loro prodotti di decadimento. Il dispositivo sarà utilizzato sia per i controlli periodici del servizio, sia per la progettazione di strumenti per la misura attiva dei WL (working level).

3. Conclusioni

L'esperienza di questi anni dimostra che la capacità di effettuare con continuità un'azione di ricerca indirizzata allo sviluppo di un Servizio risulta funzionale non solo alla qualità del Servizio, ma anche alla sua capacità di reggere concorrenze tipicamente fondate sui bassi costi dell'offerta.

- [1] M. Calamosca, S. Penzo and G. Gualdrini *Experimental determination of CR-39 counting efficiency to alpha particles to design the holder of a new radon gas dosemeter* Radiat. Meas., 36, (2003) 217-219.
- [2] M. Calamosca, S. Penzo, and G. Gualdrini, *The features of the new radon gas CR-39 dosemeter developed at the ENEA IRP* Radiat. Meas., 36 (2003) 221-224.
- [3] S. Penzo, M. Rossetti, M. Calamosca. *Il problema del fattore di ageing e fading nella qualità della risposta di un servizio di valutazione della concentrazione di radon*. ISBN 88-88648-03-8 - Atti del Convegno Nazionale di radioprotezione, Catania 15-16 settembre 2005.
- [4] M. Calamosca, S. Penzo, M. Rossetti and O. A. Mustapha, *Meeting New Challenges in Radon Measurements Service with Solid State Alpha Track Analysis*. Submitted to Radiation Protection Dosimetry. Proc. IM 2005, 11-15 April, 2005, Vienna
- [5] M. Calamosca, S. Penzo, M. Rossetti, *La ricerca nell'ambito delle attività del servizio Radon ENEA IRP: nuove sfide per il miglioramento della qualità* ISBN 88-88648-03-8 - Atti del Convegno AIRP, Catania 15-16/9/2005.

LABORATORIO NORM: ATTIVITA' DI STUDIO & RICERCA

Massimo Calamosca e Silvia Penzo
ENEA – ION - Istituto di Radioprotezione
Bologna

1. Premessa

Il Laboratorio NORM dell'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA viene terminato alla fine del 2003, mentre il servizio radon è in pieno sviluppo. Nell'ottobre dello stesso anno con l'arrivo di una borsa di studio ICTP si iniziano a sistemare gli spazi e a classificare la strumentazione scientifica utilizzabile. Il servizio radon avvia nel laboratorio una prima attività di esposizione in camera radon, in appoggio all'azione di ricerca indirizzata a migliorare sempre più l'accuratezza e precisione della misura del Servizio e comincia ad affrontare le problematiche di radioprotezione dalle radiazioni di origine naturale integrando le competenze di fisica degli aerosol con quelle radioprotezionistiche: è questo il caso della valutazione dosimetrica dell'inalazione di NORM, una delle linee di ricerca descritte di seguito.

2. Le linee di ricerca sulla dosimetria dei NORM

E' in costruzione una nuova camera di esposizione da radon da utilizzare come sistema di taratura internamente al Servizio e per esperimenti con generazione di aerosol. Si tratta di un vessel in acciaio inox, recuperato presso il centro del Brasimone, con un volume utile di circa 470 l, che verrà posizionato nel laboratorio NORM, e che verrà opportunamente attrezzato per poter effettuare esposizioni controllate al radon, toron ed ai loro prodotti di decadimento a vita media breve. Il dispositivo verrà collegato a sistemi di controllo climatico e sorgenti di emanazione di radon e toron, per effettuare esposizioni a questi due tipi di gas radioattivi. Verrà inoltre collegato a generatori di aerosol di tipo sia aerodinamico sia ultrafine, con l'obiettivo di mettere a punto un dispositivo di taratura per gli strumenti di misura della granulometria degli aerosol. Come noto la distribuzione granulometrica di un aerosol è uno dei principali fattori che determinano la biodisponibilità degli agenti tossici aerosospesi, è anche uno dei parametri da determinare per l'approccio dosimetrico nella valutazione del rischio da inalazione del radon e del toron..

Una seconda linea di sviluppo e ricerca riguarda la caratterizzazione di un monitor passivo del ^{222}Rn che impiega il dosimetro radon ENEA ION-IRP accoppiato ad un rivelatore al Si (PIP), che permette di effettuare una ottima analisi spettrometrica alfa. Lo strumento, che verrà utilizzato come strumento di riferimento all'interno della camera radon, può essere ulteriormente migliorato, avendo come obiettivi un'aumento della sensibilità, una operatività "stand-alone", e altre caratteristiche che riteniamo siano suscettibili di considerazione per una eventuale richiesta di brevetto.

Il laboratorio NORM eredita l'esperienza ed il know how del vecchio laboratorio della fisica degli aerosol; verrà quindi ripresa la linea di ricerca che ha portato a studiare, progettare e costruire prototipi di impattori a cascata a bassa pressione per la valutazione granulometrica delle concentrazioni in attività dei prodotti di decadimento dei due tipi di radon. In parallelo continuerà lo studio ed il miglioramento del nuovo campionatore spettrometrico dei figli del radon e del toron, una cui prima versione è stata utilizzata nell'ambito della commessa con il Ministero delle Finanze e presentata convegno dell'Associazione Italiana di Radioprotezione tenutosi a Catania. [1]

3. Conclusioni

E' questo uno dei settori di ricerca di notevole interesse per l'istituto, in quanto è possibile trovare molte applicazioni per la radioprotezione operativa, non necessariamente limitata ai NORM.

[1] M. Calamosca, G. Guida, A. Morgia, S. Penzo, M. Rossetti *L'intervento di radioprotezione dalle radiazioni ionizzanti di origine naturale effettuato dal Servizio Radon ENEA IRP presso il palazzo di V. XX Settembre del Ministero dell'Economia e delle Finanze* ISBN 88-88648-03-8 - Atti del Convegno Nazionale di radioprotezione, Catania 15-16 settembre 2005.

ANALISI DI RADIONUCLIDI IN TRACCE IN MATRICI ANTROPICHE ED AMBIENTALI VIA SPETTROMETRIA DI MASSA A PLASMA INDUTTIVAMENTE ACCOPPIATO

Maria Letizia Cozzella e Roberto Pettirossi

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione
Casaccia

1. Premessa

Le urine di lavoratori esposti sono analizzate, periodicamente, allo scopo di monitorare l'eventuale presenza di radionuclidi. Tra questi uno dei più importanti è il plutonio, che è considerato uno degli elementi più radiotossici ed i cui composti sono escreti nelle urine a concentrazioni molto basse. Allo scopo di trovare una soluzione più rapida sia per i lavoratori esposti a rischio da radiazioni ionizzanti, sia in tutti quei casi in cui possa essere presente un dubbio di contaminazione da plutonio, si sta procedendo alla messa a punto di metodi di purificazione rapidi che permettano l'analisi dei campioni allo spettrometro di massa a plasma induttivamente accoppiato (ICP-MS) dopo 48-72 ore dalla contaminazione.

2. La tecnica ICP-MS applicata all'analisi di radionuclidi

Le principali difficoltà nell'analisi di attinidi in matrici ambientali ed antropiche per scopi radioprotezionistici derivano dalla necessità di misurare concentrazioni di norma estremamente basse in presenza di un elevato contenuto di ioni interferenti. Da ciò nasce l'esigenza di utilizzare tecniche sensibili, ad elevata affidabilità e che permettano la determinazione del radionuclide oggetto di indagine in tempi rapidi e senza dover eseguire complesse preparazioni preliminari.

Per ottenere limiti di rivelabilità radioprotezionisticamente interessanti, malgrado l'elevata sensibilità strumentale dell'ICP-MS è necessario eseguire un trattamento preliminare che riduca drasticamente la quantità di interferenti come i sali inorganici presenti naturalmente nei campioni di urina (riduzione "effetto matrice")

La possibilità di trattare i campioni, semplificando drasticamente il procedimento di preparazione associata alla rapidità della misura via ICP-MS permetterebbe di fornire gli strumenti necessari ad un laboratorio di radioprotezione chiamato a dare risposte in tempi rapidi e su un gran numero di campioni. L'uso dell'ICP-MS inoltre permette di determinare anche il rapporto $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$, fornendo un importante dato sulla natura della contaminazione.

In figura 1 è riportato lo schema della purificazione proposta.

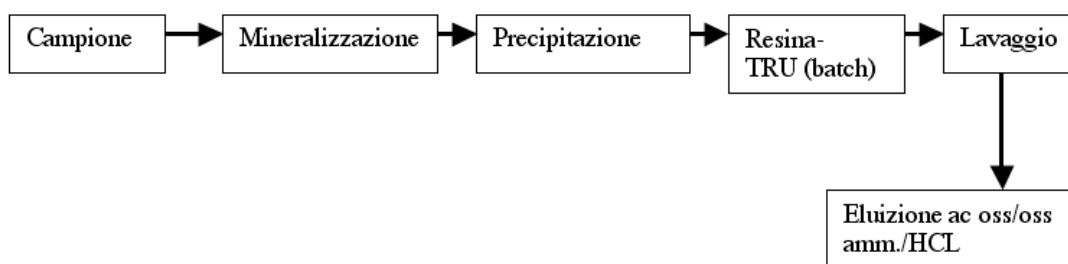


Figura 1: schema di purificazione

3. Conclusioni

Poiché le misure effettuate con lo spettrometro di massa possono essere affette da errori per formazioni di specie interferenti, come l'idruro di uranio (UH+ P.M. 238+1) nella valutazione della massa 239, il metodo che si è recentemente messo a punto è attualmente oggetto di ulteriori valutazioni ed aggiustamenti, soprattutto nella scelta delle miscele eluenti.

[1] Maria Letizia Cozzella, Roberto Pettirossi, *Misura della contaminazione accidentale da ^{239}Pu nell'escrezione urinaria: la determinazione in tempi rapidi via ICP-MS*, Convegno AIRP "La Radioprotezione nella ricerca. La ricerca in Radioprotezione" – Catania 15-17 settembre 2005

DOSIMETRIA PERSONALE IN TERMINI DI $H_p(3)$: VALUTAZIONI MONTE CARLO

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

1. Premessa

Le raccomandazioni internazionali (ICRU-47[1] e ICRU-51[2]) definiscono l'equivalente di dose personale H_p per la stima di dose per i lavoratori esposti. $H_p(0.07)$ è impiegato per la stima di dose alle estremità, $H_p(10)$ per la stima di dose al corpo intero e $H_p(3)$ per quella al cristallino. I coefficienti di conversione tabulati nelle pubblicazioni ICRP-74[3] e ICRU-57[4] consentono di ricavare dalle misure di campo, fluenza di particelle o Kerma in aria, il corrispettivo equivalente di dose personale per le estremità e per il corpo intero, ma non sono disponibili coefficienti per $H_p(3)$.

2. Impiego del Codice Monte Carlo MCNP per lo studio di $H_p(3)$

La grandezza operativa $H_p(3)$ e la sua applicazione nella calibrazione di dosimetri è stata studiata per mezzo di una serie di simulazioni Monte Carlo con il codice MCNP-4C[5].

La grandezza $H_p(3)$, definibile e stimabile su un parallelepipedo di materiale ICRU teorico a 4 elementi (H, C, N e O) di $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$, impiegato generalmente per simulare il tronco, è stata studiata impiegando un modello di dimensioni ridotte, $15 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$, più simili a quelle di una testa umana. I confronti tra i risultati ottenuti con fasci fotonici monoenergetici mostrano che il modello ridotto conduce a una stima di $H_p(3)$ che si avvicina maggiormente alla dose assorbita al cristallino (pubblicata in ICRP-74 e ICRU-57).

La calibrazione dei dosimetri è stata studiata simulando fasci RX di riferimento ISO[6] incidenti su fantocci d'acqua e pareti di PMMA di dimensioni identiche a quelle del fantoccio teorico.

Le simulazioni Monte Carlo, per diverse energie ed angoli d'incidenza, hanno confermato i risultati ottenuti in un'accurata campagna di misure sperimentali [7].

3. Conclusioni

Simulazioni Monte Carlo e indagini sperimentali dimostrano che l'utilizzo di un fantoccio standard per $H_p(3)$, come raccomandato, è discutibile sia da un punto di vista della definizione sia da un punto di vista del suo impiego per la calibrazione di dosimetri. L'introduzione di un modello ridotto, più realistico, rappresenta, seppur in prima approssimazione, un compromesso soddisfacente.

- [1] International Commission on Radiation Units and Measurements *Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations*, ICRU Report 47. Bethesda-MD(USA) (1992).
- [2] International Commission on Radiation Units and Measurements *Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry*, ICRU Report 51. Bethesda-MD(USA) (1993).
- [3] International Commission on Radiological Protection *Conversion coefficients for use in Radiological Protection against external Radiation*, ICRP Publication 74. Pergamon (1996).
- [4] International Commission on Radiation Units and Measurements *Conversion Coefficients for use in Radiological Protection Against External Radiation*, ICRU Report 57. Bethesda-MD(USA) (1998).
- [5] Briesmeister J F (Ed.) MCNP - *A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4C* (2000) Los Alamos National Laboratory Report LA-13709-M Manual
- [6] International Organisation for Standardisation *X and gamma reference radiations for calibrating doseimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy*. BS ISO 4037-2 (1997).
- [7] P.Ferrari, G.Gualdrini, R.Bedogni, E.Fantuzzi, F.Monteventi, B.Morelli *Eye-Lens dosimetry: A critical discussion on $H_p(3)$ operational quantity* ENEA RT/2005/6/ION

VALUTAZIONI PRELIMINARI DELLA DOSE INDEBITA AL PAZIENTE SOTTOPOSTO A TRATTAMENTO RADIOTERAPICO DI TIPO BNCT SU REATTORE TAPIRO

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

1. Premessa

La BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) è una tecnica terapeutica di tipo radiometabolico, ancora in fase sperimentale, che sfrutta l'interazione di un fascio di neutroni termici con l'isotopo ^{10}B somministrato al paziente (mediante farmaci opportuni che si concentrano prevalentemente nelle cellule tumorali). La reazione $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ produce due frammenti ad alto LET e corto range (paragonabile alle dimensioni cellulari) che causano un danno significativo alla cellula in cui sono state prodotte. Da alcuni anni presso ENEA-FIS-NUC si svolgono attività di studio e progettazione finalizzate all'impiego del reattore veloce TAPIRO (ENEA, Casaccia) come sorgente di neutroni per la BNCT [1]. In particolare, è in avanzata fase di completamento la costruzione di una colonna epitermica finalizzata alla sperimentazione clinica della BNCT. L'attività svolta da IRP si è concentrata sulla valutazione della dose indebita ricevuta dal paziente nel caso di un ipotetico trattamento di una neoplasia cerebrale.

2. Impiego del Codice Monte Carlo per lo studio della dose indebita al paziente

Un fantoccio ermafrodito (figura 1) [2] è stato impiegato con il codice MCNP [3] per la stima delle dosi assorbite agli organi del paziente. Per tali valutazioni si è tenuto conto della deposizione di energia dovuta ai neutroni del fascio primario, ai fotoni generati nelle strutture della colonna epitermica e nei tessuti del paziente dai neutroni stessi, e delle interazioni dei neutroni con il Boro distribuito all'interno di tutti i tessuti (tessuto osseo escluso). In tabella sono riportate le stime dei ratei di dose per alcuni organi critici (per i neutroni si è assunto un fattore di 3.2 [4] per tenere conto dell'Efficacia Biologica Relativa, rispetto a una radiazione X, per tutto il range energetico studiato). Tali stime sono state ottenute considerando una sorgente di 4.23×10^{14} neutroni/s.

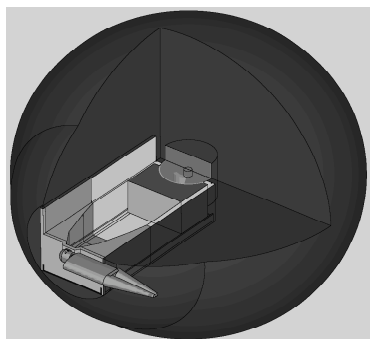


Tabella 1: Alcune stime dosimetriche per la BNCT – nella prima colonna la dose della reazione (n,α) con il Boro, nella seconda la dose derivata dall'irraggiamento dei neutroni e nell'ultima la dose dipendente dai fotoni indotti dal fascio neutronico.

Tessuto	Dose da B-10(n,α) mGray/s	Dose da neutroni mGray-equivalenti/s	Dose da fotoni mGray/s
Midollo Osseo	0,25 (1,2%)	0,09 (1,7%)	0,17 (1,7%)
Polmoni	0,084 (1,0 %)	0,025 (1,0 %)	0,046 (1,0 %)
Superfici ossee	0	0,053 (1,4%)	0,1 (1,3%)
Tiroide	0,14 (1,6%)	0,14 (3,0%)	0,26 (3,0%)
Pelle	0,061 (1,0%)	0,083 (1,0%)	0,061 (1,4%)
Cristallino	0,58 (2,0%)	0,70(9,0%)	0,49 (4,0%)

Figura 1: Simulazione di trattamento con MCNP

3. Conclusioni

L'impiego di un codice Monte Carlo per indagare il trasporto di radiazione nel sistema e nell'individuo trattato è risultato fondamentale nei diversi aspetti della progettazione: dalla costruzione della colonna epitermica, alla stima della dose terapeutica, alla valutazione dell'esposizione indebita al paziente e agli operatori. I valori ottenuti sono però ancora da ritenersi suscettibili di variazioni dovute ad ulteriori e più approfondite valutazioni, in dipendenza anche di eventuali modifiche della configurazione adottata.

- [1] E.Nava, K.W.Burn, L. Casalini, P.Ferrari, G.Gualdrini, G.Tosi, R. Tinti *Il progetto BNCT al reattore TAPIRO*. Presentato al convegno AIRP- Catania dal 15 –17/09/2005.
- [2] Pelliccioni M. and Pillon M. 1986 *Comparison Between anthropomorphic mathematical phantom using MCNP and fluka codes*. Radiation Protection Dosimetry 67 (4) 253-256
- [3] Briesmeister J F (Ed.) MCNP - *A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4C* (2000) Los Alamos National Laboratory Report LA-13709-M Manual
- [4] Riley K. J., Binns P. J., Harling O. K. 2003 *Performance characteristics of the MIT fission converter based epithermal neutron beam* Physics in Medicine and Biology 48, 943-958.

CONFRONTO DI DIFFERENTI METODI RADIOCHIMICI PER LA DETERMINAZIONE DEGLI ISOTOPI DEL PLUTONIO NELLA MATRICE URINA MEDIANTE SPETTROMETRIA ALFA.

Isabella Giardina, Leila Andreocci, Sandro Bazzarri, Liliana Mancini e Paolo Battisti*

ENEA – ION – Istituto di Radioprotezione Casaccia

*ENEA – ION – Istituto di Radioprotezione Bologna

1. Premessa

Il Plutonio costituisce uno dei contaminanti più impegnativi, dal punto di vista dell'effettuazione di un programma di sorveglianza adeguato ai fini della limitazione delle dosi da contaminazione interna, a causa delle caratteristiche fisiche (alfa emettitori), del particolare metabolismo e della elevata radiotossicità dei suoi principali radioisotopi (Pu-238, Pu-239, Pu-240). L'effettuazione di controlli idonei comporta quindi la necessità di disporre di metodi di misura estremamente sensibili e selettivi. Non essendo di fatto utilizzabili a fini radioprotezionistici le tecniche di misura *in vivo*, come la spettrometria gamma degli escreti, a causa dell'intensità troppo ridotta delle emissioni fotoniche, la determinazione dell'attività alfa negli escreti, ed in particolare nelle urine, è, attualmente, la tecnica più utilizzata nel monitoraggio della contaminazione interna da Plutonio. Tale tecnica comporta una laboriosa e complessa preparazione radiochimica del campione da sottoporre a conteggio che risulta particolarmente critica nelle fasi di separazione ed estrazione chimica dell'elemento dalla matrice.

Scopo di questo lavoro è quello di mettere a confronto le prestazioni, in termini di resa chimica e di minima attività rivelabile, ottenibili attraverso quattro diverse metodiche fra le più utilizzate per il trattamento del plutonio ai fini della sua determinazione mediante spettrometria alfa in campioni di urine.

2. Quattro metodiche per la determinazione di Plutonio nelle urine, mediante spettrometria alfa

Il primo passo è consistito nel revisionare le quattro metodiche per adattare alle esigenze del nostro laboratorio ottimizzando i tempi e la resa chimica delle analisi per determinare il Plutonio nelle urine.

Dopo aver messo a punto le varie procedure, il passo successivo è stato quello di confrontarle allo scopo di delineare un quadro complessivo dei vantaggi e degli svantaggi di ciascuna di esse, in modo da poter scegliere, all'occorrenza, la metodica più idonea per il tipo di risultati che si desidera ottenere.

La misura dei radionuclidi alfa negli escreti è piuttosto complessa in quanto si rende necessario un pretrattamento chimico-fisico del campione, atto ad isolare il radionuclide di interesse dalla matrice; quindi si effettua la misura vera e propria che viene eseguita mediante spettrometria alfa.

Le quattro metodiche prese in considerazione hanno in comune i seguenti passaggi fondamentali:

- 1) la distruzione della matrice organica mediante mineralizzazione umida con acidi concentrati e, se necessario, la concentrazione del Plutonio mediante coprecipitazione con sali poco solubili (fosfati);
- 2) l'isolamento chimico del Plutonio mediante scambio ionico su resine o con estrazione mediante opportuni estraenti organici liquidi (ammine terziarie, derivati dell'acido fosforico o della fosfina) supportati su polimeri microporosi inerti. Questo passo di purificazione viene, generalmente, preceduto dalla stabilizzazione della valenza del Plutonio a +4 mediante opportuni ossidoriducanti, al fine di aumentarne l'adsorbimento sulla resina o l'estrazione da parte dei solventi;
- 4) l'elettrodeposizione del radionuclide allo scopo di preparare una sorgente priva di residui solidi e idonea ad ottenere una buona misura di attività (con autoassorbimento quasi nullo);

In particolare, per l'isolamento chimico del Plutonio, sono stati utilizzati e confrontati quattro differenti sistemi di estrazione: Tri Ottil Fosfina Ossido (TOPO), Tri Ottil Ammina (TOA), la resina TRU-Spec della Eichrom e la resina DOWEX 1 X 2 a scambio anionico.

Per quanto riguarda la fase finale di elettrodeposizione del Plutonio sono state sperimentate tre differenti procedure: elettrodeposizione da solfato d'ammonio, da ossalato d'ammonio e da solfato/bisolfato di sodio.

Le varie fasi di trattamento del campione che precedono il conteggio spettrometrico devono portare ad un buon isolamento del radionuclide e ad un suo recupero il più possibile elevato; ciò è necessario per ottenere valori elevati di resa chimica e conseguentemente di sensibilità del metodo (valori più bassi di Minima Attività Rivelabile - MDA).

Per eliminare la possibile influenza del singolo campione di urina sui risultati del confronto (effetto matrice), le misure sono state effettuate su campioni di urina tutti prelevati da una medesima miscela ottenuta mescolando urine raccolte da differenti soggetti tutti sicuramente non contaminati da Plutonio (“bianco”). Dalla miscela sono poi stati estratti 20 campioni fra loro identici da 1000 ml, e suddivisi in 4 set ciascuno dei quali composta da 5 campioni da impiegare con lo stesso metodo di analisi, in modo da avere a disposizione una serie di risultati sufficiente per poter applicare gli opportuni test statistici.

Per una valutazione della resa chimica e delle incertezze associate alle tante e diverse fasi della procedura si è provveduto, come prima fase dell’analisi, a tracciare ogni campione utilizzato con una quantità fissa di standard interno (Pu-242).

Con tutte le metodiche si sono avuti buoni recuperi del tracciante utilizzato, con valori medi di resa che oscillano tra l’80% e il 95%.

Tutte le metodiche permettono di ottenere valori molto bassi di MDA ed è, quindi, possibile utilizzarle per misurare il Plutonio a livelli di frazione del mBq, ovvero al di sotto dei valori di riferimento stabiliti dall’ICRP 78 (1 mBq/24 ore) per questo tipo di determinazioni.

Dall’analisi degli spettri si è peraltro potuta osservare una buona decontaminazione dai radionuclidi naturali (famiglie dell’uranio e del torio) con tutte le metodiche, ad eccezione di quella che fa uso della resina TRU Spec, in quanto volutamente non è stata fatta la preventiva separazione con la resina UTEVA specifica per l’estrazione dell’uranio.

L’elettrodeposizione da solfato/bisolfato di sodio risulta essere la procedura più semplice e rapida e può essere applicata con risultati soddisfacenti a completamento di tutte e quattro le metodiche.

3. Conclusioni

Il lavoro svolto ha permesso al laboratorio caratterizzare quattro possibili metodiche per la determinazione del Plutonio nelle urine, definendone le potenzialità e le eventuali problematiche.

Nel complesso si può affermare la sostanziale equivalenza delle procedure analizzate e sperimentate in quanto tutte consentono di misurare il Plutonio nell’urina con una certa semplicità e rapidità di esecuzione e di ottenere, sia in termini di resa chimica che di sensibilità (minima attività misurabile), risultati idonei ad una loro più che adeguata applicabilità come metodi di misura per un’efficace sorveglianza della contaminazione interna.

INSTABILITÀ GENOMICA E UTILIZZAZIONE DEL TEST *IN VITRO* PER LA DOSIMETRIA BIOLOGICA RETROSPETTIVA, IN TOPI TRATTATI CON RAGGI X

Anna Giovanetti, Trivikram Deshpande* Emiliano Basso e Petia Ninova[†]

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione, Casaccia

*Borsista ENEA-RELINT, Indian Council of Medical Research, Dept of Zoology, Goa University (IND)

[†]Borsista ENEA-RELINT, Inst of Molecular Biology, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia (BG)

1. Premessa

Presso l'Istituto di Radioprotezione è stato realizzato uno studio per verificare la persistenza del danno genetico nel tempo e l'affidabilità del test dell'irraggiamento *in vitro* per la dosimetria retrospettiva, su topi esposti ad una singola dose (0,1 o 1,0 Gy) di raggi X. La maggior parte del programma si è svolta nel 2004, nel 2005 sono stati allestiti i campioni per l'analisi con il microscopio elettronico.

2. Materiali e Metodi

Per molti anni il paradigma centrale della radiobiologia stabiliva che l'effetto biologico delle radiazioni derivasse da danni diretti al DNA. Successivamente sono stati descritti due fenomeni importanti nei quali venivano riscontrati danni genetici in cellule non esposte direttamente alle radiazioni: *instabilità genomica* (IG) e *bystander effect* (BE). Nella IG gli effetti biologici avvengono in cellule che derivano da cellule irraggiate. Il verificarsi della IG è stata osservata solo con basse dosi di radiazioni ionizzanti ed è stata correlata con la presenza di infiammazione e stress ossidativo. Risulta importante ai fini della radioprotezione stabilire se la IG si manifesti anche in sistemi *in vivo*.

Nel campo della radioprotezione uno degli obiettivi principali è la disponibilità di un dosimetro biologico che individui retrospettivamente esposizioni alle radiazioni ionizzanti. I metodi attualmente validati per analizzare il danno genetico utilizzano solo cellule in proliferazione e richiedono tempi lunghi, costi elevati e personale esperto. Presso il laboratorio di dosimetria biologica dell'Istituto di Radioprotezione, sono in corso programmi di ricerca per la messa a punto di nuovi metodi che siano sensibili e riproducibili. In particolare vengono studiate le possibili applicazioni del test di Comet (*single cell gel electrophoresis*) nel quale cellule incluse in agarosio vengono gocciate su un vetrino sottoposto poi a migrazione elettroforetica. Se le radiazioni hanno indotto rotture nel DNA, i frammenti migreranno più velocemente formando la coda di una cometa. L'entità della migrazione indica il grado di frammentazione. Il test di Comet risulta particolarmente promettente, infatti: è in grado di rilevare esposizioni a dosi molto basse, può essere applicato a tutti i tipi di cellule senza metterle in coltura, è sufficiente un numero di cellule molto basso, è relativamente economico e semplice da condurre, ma l'alta variabilità e la rapida riparazione delle rotture a singola elica ne limitano l'uso per indagini retrospettive. È stato proposto di esporre *in vitro* il sangue prelevato da soggetti esposti alle radiazioni per vedere se una esposizione precedente aumenta il danno indotto *in vitro*. Una simile risposta "ritardata" rappresenta una forma di ipersensibilità persistente del genoma che rientra nel fenomeno della "instabilità genomica" radio-indotta.

Gruppi di topi sono stati quindi trattati con una singola dose di 0; 0,1 o 1,0 Gy di raggi X e dopo 30 min, 24 h, 7 d, 30 d 3 m e 6 m, 30 ml di sangue sono stati prelevati dalla coda ed analizzati con il Comet assay. Metà dei vetrini è stata irraggiata *in vitro* con 4 Gy di raggi X. L'analisi del danno nei singoli animali nel tempo indica un aumento costante per i topi trattati con 0,1 Gy e una diminuzione per il gruppo 1,0 Gy. In seguito all'irraggiamento *in vitro* i topi 0,1 Gy mostrano una sensibilizzazione crescente alle radiazioni, in quelli 1,0 invece la risposta diminuisce. All'interno del gruppo degli esposti la differenza tra vetrini irraggiati e non irraggiati è sempre altamente significativa, mentre all'interno dei controlli non lo è. Restano da analizzare al microscopio elettronico i tessuti ematopoietici per verificare se alla base della persistenza del danno vi è la presenza di uno stato infiammatorio.

3. Conclusioni

L'esposizione a una singola dose di 0,1 Gy induce danni genetici ed una radio-sensibilizzazione che aumentano nel tempo. Il test di irraggiamento *in vitro* può essere usato per la dosimetria retrospettiva.

[1] A. Giovanetti, E. Basso, R. Amendola, P. Ninova *Mice exposed to different doses of X rays: persistence of genetic damage and in vitro-irradiation test* VI International Workshop September 22-24 2005 Warszawa, Poland

USO DELL'ORGANISMO DI RIFERIMENTO *EISENIA FOETIDA* PER DETERMINARE LA BIOACCUMULAZIONE E GLI EFFETTI BIOLOGICI INDOTTI DALLA PRESENZA NEL TERRENO DI DIFFERENTI CONCENTRAZIONI DI URANIO O DI URANIO DEPLETO. I PARTE - CENNI GENERALI ED EFFETTI BIOLOGICI.

Anna Giovanetti, M.Letizia Cozzella, Emiliano Basso, Petia Ninova*

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione - Casaccia

* Borsista ENEA-RELINT Institute of Molecular Biology, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia (Bulgaria)

1. Premessa

Presso l'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA è recentemente iniziato, in collaborazione con l'IAEA⁺, un programma di ricerca che ha come obiettivo il confronto della eco-tossicità di uranio e uranio depleto, analizzando concentrazione nel terreno, bioaccumulazione ed effetti biologici.

2. Cenni generali

La Radioprotezione in campo ambientale sta acquisendo sempre più interesse da parte della popolazione e delle Agenzie internazionali. L'approccio sistematico prevede l'utilizzazione di organismi di riferimento (*Reference organisms approach*), specifici per le differenti matrici ambientali. Mediante tale metodo è possibile correlare indicatori di danno cellulare molto sensibili e alterazioni del DNA, con concentrazione ambientale e bioaccumulazione. L'uranio (U) è un metallo pesante presente normalmente nel terreno; recentemente è stato posto il problema della presenza ambientale di uranio depleto (DU), prodotto dal processo di arricchimento dell'uranio e usato negli armamenti, in seguito ad eventi bellici. Il confronto tra la tossicità di U e DU è l'obiettivo del presente programma di ricerca. Come organismo di riferimento abbiamo selezionato il lombrico *eisenia foetida* in accordo con le linee guida EU e OECD per gli studi di tossicità nel terreno. Il danno biologico verrà misurato con il NRR che misura alterazioni nella membrana dei lisosomi, e il danno genetico con il Comet assay [1]. Dopo uno studio di fattibilità realizzato utilizzando i due test descritti nelle linee guida: test della carta filtro e test con la terra, abbiamo scelto di utilizzare quest'ultimo perchè è risultato correlare meglio il danno biologico con la concentrazione nel terreno. In breve i vermi (peso 250-350 mg) sono stati mantenuti per 7 giorni a 21°C in assenza di luce in terreno di riferimento (IAEA-375) addizionato con soluzioni di U per concentrazioni finali di 0; 1,86; 18,6; 186 mg U/Kg terreno (0= mantenuti nella sola ultrapure water, 1,86 mg/Kg=valore background nel terreno). I risultati che riguardano il danno genetico riscontrato sono riportati nella Tab 1.

Tabella 1: danno al DNA misurato con i parametri % di DNA e Tail Moment nei gruppi di *Eisenia* mantenuti per 7 giorni a diverse concentrazioni di U nel terreno.

mg U/Kg terreno	TailDNA%	TailMoment
0	5,21	3,24
1,86	6,607	5,4
18,6	7,71	9,4
186	13,93	29,79

Sulla base di questi risultati è iniziato recentemente lo studio comparativo tra U e DU. Sono stati quindi allestiti 14 gruppi di 6 vermi ciascuno, due gruppi per ogni concentrazione di U rispettivamente: 0;1,86;9,3;18,6;93;186 mg U/Kg terreno per analizzare dopo 7 e 28 giorni la mortalità, i danni cellulari, i danni genetici e il contenuto di uranio. L'esperimento verrà ripetuto per il DU.

3. Conclusioni

I dati preliminari dimostrano l'applicabilità del Comet assay per evidenziare una correlazione dose/effetto in vermi *Eisenia* esposti a U nel terreno.

[1] A. Giovanetti, M.L. Cozzella, E. Basso, P. Ninova, S. Fesenko, U. Sansone. *Use of the reference organism Eisenia foetida to investigate bioaccumulation and biological effects following contamination of soil by uranium* II European IRPA Congress on Radiation Protection 15-19 May 2006 Paris-France

⁺Sergey Fesenko e Umberto Sansone, International Atomic Energy Agency (IAEA), Seibersdorf, A-1400 Vienna (Austria)

USO DELL'ORGANISMO DI RIFERIMENTO EISENIA FOETIDA PER DETERMINARE LA BIOACCUMULAZIONE E GLI EFFETTI BIOLOGICI INDOTTI DALLA PRESENZA NEL TERRENO DI DIFFERENTI CONCENTRAZIONI DI URANIO O DI URANIO DEPLETO.

II PARTE – ANALISI CHIMICHE

Anna Giovanetti, M.Letizia Cozzella, Emiliano Basso, Petia Ninova*

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione - Casaccia

* Borsista ENEA-RELINT Institute of Molecular Biology, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia (Bulgaria)

1. Premessa

La recente collaborazione tra l'Istituto di Radioprotezione e l'IAEA⁺ che ha come scopo lo studio dell'ecotossicità dell'Uranio e del DU utilizza, tra le altre tecniche, la spettrometria di massa a plasma induttivamente accoppiato (ICP-MS) per eseguire la determinazione della concentrazione e la composizione isotopica dell'Uranio presente nel tessuto degli organismi di riferimento.

2. Analisi chimiche sulla *eisenia foetida*

Gli organismi di riferimento, cresciuti in terreni standard certificati a cui è stata addizionata una quantità definita di uranio naturale, sono sciacquati in una soluzione di EDTA al (0.2 M) e successivamente tagliati in pezzi ed inceneriti in muffola a 500°C. Le ceneri sono più volte addizionate di HNO₃ ultrapuro e fatte evaporare sotto un epiradiatore. Il residuo ottenuto viene ridisciolti in 10 ml di H₂O/ HNO₃ 1% v/v. In figura 1 è riportato uno spettro di massa ottenuto dopo il trattamento.

Sono stati analizzati in tal modo vermi di controllo, mantenuti con acqua ultrapura (UW) e vermi mantenuti in terreni addizionati con le soluzioni a contenuto crescente di U: 1,86, 18,6 e 186 mg/Kg terreno, esperimento realizzato per la messa a punto del metodo.

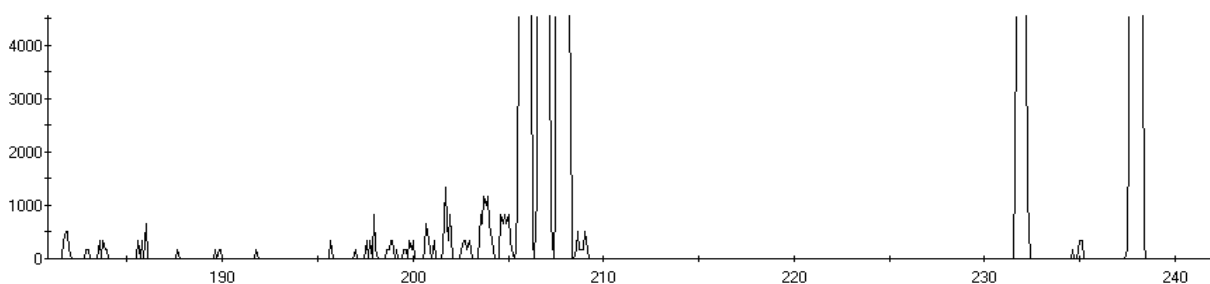


Figura 1: spettro di massa di tessuti di Eisenia tra P.M. 180 e P.M.240

La concentrazione media di U nei vermi di controllo è stata 2,124 (SD 0,68) ng U/verme. I risultati per i vermi mantenuti a diverse concentrazioni di U non hanno dimostrato una correlazione significativa tra concentrazione nel terreno e dose accumulata, sono state quindi individuati gli step da modificare.

3. Conclusioni

La tecnica utilizzata per la determinazione di U nei vermi di controllo (UW) si è dimostrata sensibile e riproducibile. I risultati preliminari ottenuti in vermi mantenuti in terreni addizionati con le soluzioni a contenuto crescente di U hanno permesso di apportare sostanziali modifiche nel protocollo dell'esperimento attualmente in corso.

[1] A. Giovanetti, M.L. Cozzella, E. Basso, P. Ninova, S. Fesenko, U. Sansone: *Use of the reference organism Eisenia foetida to investigate bioaccumulation and biological effects following contamination of soil by uranium* Sarà presentato al II European IRPA Congress on Radiation Protection 15-19 May 2006 Paris-France.

⁺Sergey Fesenko e Umberto Sansone, International Atomic Energy Agency (IAEA), Seibersdorf, A-1400 Vienna (Austria)

COSTRUZIONE DI FANTOCCI VOXEL PER VALUTAZIONI DOSIMETRICHE MEDIANTE IL CODICE MONTE CARLO MCNP

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

1. Premessa

La quantità fondamentale in radioprotezione per la stima degli effetti stocastici è la dose efficace [1]. La dose efficace non è però valutabile direttamente e deve essere stimata mediante l'impiego di fantocci numerici antropomorfi e di codici che simulano il trasporto e l'interazione della radiazione con i tessuti del corpo umano (generalmente basati sul metodo Monte Carlo). I progressi dei calcolatori hanno consentito lo sviluppo di fantocci più complessi rispetto ai tradizionali fantocci numerici analitici, del tipo ADAM-MIRD (figura 1) [2], attualmente impiegati per applicazioni dosimetriche e di radioprotezione.

2. Il fantoccio voxel NORMAN-05.

Modelli antropomorfi complessi possono essere ricavati impiegando tecniche tomografiche (CT e MR). Recentemente in IRP è stato sviluppato un modello voxel del cranio, utilizzato per la calibrazione di un sistema WBC [3]. Si è anche acquisito il fantoccio voxel NORMAN [4] (figura 2) che è stato "tradotto" per essere utilizzato con il codice Monte Carlo MCNP [5] e, in parte, modificato. Nella nuova versione, NORMAN-05, include le ghiandole salivari e una diversa definizione dello scheletro per la valutazione della dose al midollo osseo rosso, ed è stato impiegato per studi dosimetrici con fotoni [6].

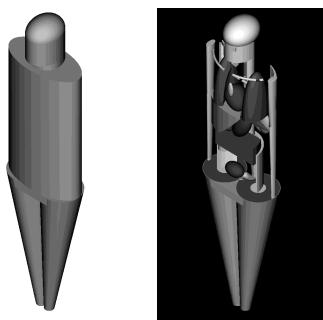


Figura 1: il modello analitico ADAM-MIRD

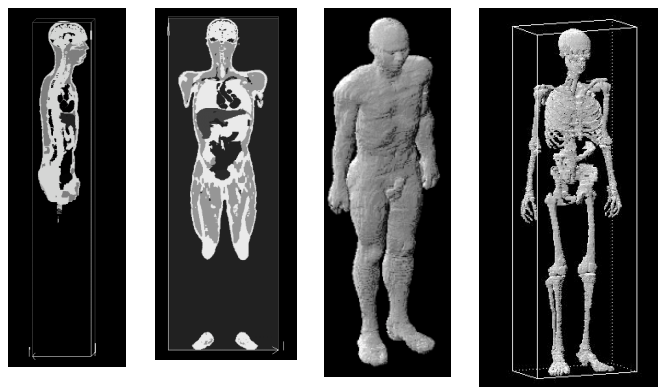


Figura 2: il modello voxel NORMAN

3. Conclusioni

NORMAN-05 è un modello di interesse generale ed è intenzione degli autori impiegarlo in studi futuri di dosimetria e radioprotezione che potranno comprendere, in dosimetria esterna, la valutazione di coefficienti di conversione per i neutroni e, in dosimetria interna, il calcolo delle frazioni assorbite per determinate coppie di organi. Sarà inoltre possibile impiegare questo modello anche in interconfronti per calibrazione di sistemi per misure "in vivo" di contaminazione interna.

- [1] International Commission on Radiological Protection *Recommendations of The International Commission on Radiological Protection* ICRP Publication 60, (1991), Pergamon Press Oxford.
- [2] Kramer R., Zankl M., Williams G. and Drexler G. *The calculation of dose from external photons exposures using human phantoms and Monte Carlo methods: Part I: The Male (Adam) and Female (Eva) Adult Mathematical Phantom*. 1986 (reprint) GSF-Report S-885.
- [3] C. Daffara, G. Gualdrini, F. Monteventi, P. Battisti, P. Ferrari, K.W. Burn, L. Pierotti. *Development and characterization of a voxel phantom for in vivo measurements of actinides*. (2004) RT/2004/5/ION
- [4] Jones D. G. *A realistic anthropomorphic phantom for calculating organ doses arising from external photon irradiation* Radiat. Prot. Dosim. (1997) 72(1) 21-29.
- [5] Briesmeister J F (Ed.) *MCNP - A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4C* (2000) Los Alamos National Laboratory Report LA-13709-M Manual
- [6] P Ferrari and G Gualdrini *An improved MCNP version of the NORMAN voxel phantom for dosimetry studies*. Physics in Medicine and Biology (2005), 50(18), 4299-4316.

MODELLO BIOCINETICO E DOSIMETRICO DELL'AMERICIO NEL CANE "BEAGLE"

Andrea Luciani

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione
Bologna

1. Premessa

Lo sviluppo di modelli biocinetici è uno dei principali aspetti della dosimetria interna, ossia della valutazione della dose dovuta all'introduzione di sostanze radioattive nell'organismo umano. Per elementi altamente radiotossici (come l'americio), i dati disponibili per lo sviluppo di tali modelli sono raramente derivati da soggetti umani. La sperimentazione animale è stata, per questo, uno dei principali strumenti di indagine scientifica e la dosimetria interna deve quindi necessariamente utilizzare tali dati al fine di ricavare le informazioni e le conoscenze utili allo sviluppo di modelli biocinetici per l'essere umano.

2. Sviluppo del modello e risultati

Nel corso degli anni sessanta e settanta sono state condotte numerose sperimentazioni su cani "beagle" atte a determinare la distribuzione dell'americio nei vari organi e tessuti. Su tali dati è stato sviluppato un modello biocinetico (Figura 1) che riprende, nella struttura, i più recenti modelli biocinetici del plutonio, elemento biocineticamente affine all'americio, sviluppati per l'uomo e per il cane [1,2]. Tali modelli presentano una struttura della parte scheletrica profondamente rivista e migliorata rispetto alla comune modellistica proposta dall'International Commission on Radiological Protection.

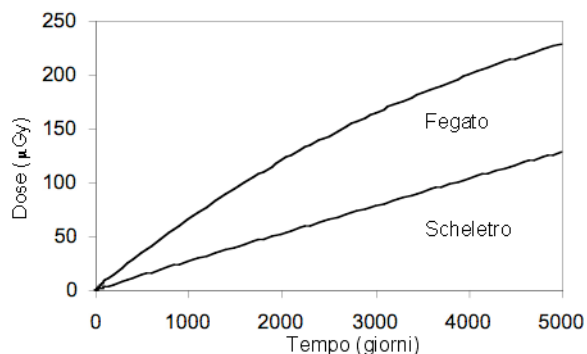
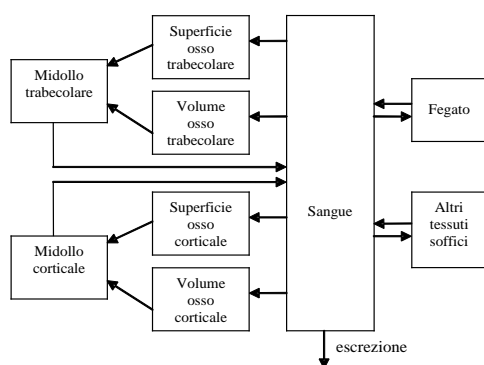


Figura 1: Struttura del modello biocinetico di compartimentale dell'americio nel cane "beagle".

Figura 2: Dose al fegato e allo scheletro, per unità di attività iniettata, calcolata col modello di Figura 1

Il modello sviluppato ha permesso di valutare la dose impartita ai vari organi e tessuti. A titolo di esempio in Figura 2 viene riportata la dose media al fegato e allo scheletro fino a 5000 giorni successivi all'iniezione di 1 Bq di attività di ^{241}Am . Fra i singoli tessuti, la superficie endosteale dell'osso corticale assorbe la maggiore dose: circa 2 mGy a 5000 giorni dopo un'iniezione di 1 Bq di ^{241}Am . È stata anche analizzata l'alterazione della biocinetica dell'americio (possibile segnale di insorgenza di patologie radioindotte) causata da quantità crescenti di attività iniettate alle cavie. Il fegato sembra essere l'organo maggiormente affetto da questo fenomeno mostrando una significativa diminuzione della ritenzione di americio al crescere dell'attività iniettata, presumibilmente in seguito al rilascio di americio da parte di cellule epatiche danneggiate. Tale alterazione epatica è confermata anche dalla concomitante diminuzione della massa del fegato.

3. Azioni future

I risultati, ottenuti in collaborazione con il Forschungszentrum Karlsruhe e l'Università dello Utah [3], verranno utilizzati per lo sviluppo di un nuovo e aggiornato modello biocinetico dell'americio nell'uomo.

- [1] Luciani A, Polig E. *Verification and modification of the ICRP-67 model for plutonium dose calculation* Health Phys. 78: 303-310, (2000)
- [2] Polig E, Bruenger FW, Lloyd RD, Miller SC. *Biokinetic and dosimetric model of plutonium in the dog.* Health Phys. 78: 182-190, (2000).
- [3] Luciani A, Polig E, R D Lloyd, S C Miller. *Americium in the beagle dog: Biokinetic and dosimetric model.* Health Phys. (in press).

METROLOGIA DEI CAMPI DI RADIAZIONE DI BASSA ENERGIA

Francesca Mariotti* e Fabio Monteventi

*Dottoranda Università di Bologna -D.I.E.N.C.A. – Dip. Ing. Energetica, Nucleare e del Controllo Ambientale
ENEA - ION – Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

L'attività di ricerca si inserisce nel settore della qualificazione e sviluppo degli standard di misura per la dosimetria, rispondendo a nuove esigenze operative e di accreditamento. Lo scopo del lavoro consiste nella qualificazione metrologica dei campi di radiazioni (fotoni) di bassa energia[1,2,3,4] con particolare attenzione alla possibilità di impiegare tecniche di rivelazione innovative e strumenti di misura di ultima generazione. Le problematiche sono affrontate sia da un punto di vista sperimentale sia modellistico, mediante l'utilizzo di metodi computazionali, attualmente ritenuti indispensabili per l'interpretazione dei dati sperimentali e l'ottimizzazione delle procedure di misura.

2. Attività

Presso i laboratori dell'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA di Bologna, è attivo il Centro di Taratura SIT n° 29 per le radiazioni ionizzanti. Il Centro svolge attività di calibrazione di strumenti di misura per la dosimetria e radioprotezione che vengono impiegati in diversi campi, dall'industria alla ricerca ed alla medicina. L'attuale sistema di taratura permette di operare con riferibilità metrologica ai campioni primari nazionali per la radiazione fotonica, neutronica e beta.

La caratterizzazione di un tubo a raggi X Seifert ISOVOLT 160/0,4-0,5 di bassa energia permette al Centro di Taratura di rispondere al crescente bisogno di tarature con raggi X di bassa energia (30 kV), tipicamente associati ad applicazioni di ricerca (luce di sincrotrone, linea di luce di cristallografia e diffrazione di raggi X a piccolo angolo) e di medicina (mammografia, radioterapie superficiali).

Relativamente alle tematiche sopra indicate il lavoro svolto consiste:

- allestimento e collaudo dell'apparecchiatura a raggi X in particolare, nella centratura e caratterizzazione del fascio mediante l'impiego di camere a ionizzazione e lastre fotografiche;
- caratterizzazione e taratura della camera a ionizzazione ad aria libera (camera monitor) impiegata per il controllo della stabilità dei fasci di raggi X, senza alterarne l'intensità e la distribuzione spettrale;
- realizzazione dei filtri dei diversi fasci X da impiegare per la metrologia X di bassa energia, in accordo con la raccomandazione ISO-4037-1;
- misure di primo e secondo spessore emivalente, effettuate mediante l'impiego di una camera a ionizzazione ad aria libera, in due diversi punti di misura: 1m e 2m dalla sorgente di radiazione;
- misure di riferimento in kerma in aria a 40 cm e 2 m dalla sorgente di radiazione per la taratura di camere a ionizzazione e dosimetri su fantoccio rispettivamente.

Sono stati inoltre determinati, mediante codice MCNP-4C, i coefficienti di conversione da kerma in aria ad equivalente di dose personale $H_p(10, \square^\circ)$, $H_p(3, \square^\circ)$ e $H_p(0,07, \square^\circ)$ per energie inferiori a 10 keV, non tabulati sull'ICRU Report 57.

- [1] ISO-4037-1. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – *Part 1: Radiation characteristics and production methods* (1996).
- [2] ISO-4037-2. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – *Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges 8 keV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV* (1997).
- [3] ISO-4037-3. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – *Part 3: Area and personal dosimeters* (1996).
- [4] ISO-4037-4. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – *Part 4: Calibration of area and personal dosimeters in low energy reference radiation fields* (2000).
- [5] R.F. Laitano, R. Pani, R. Pellegrini, M.P. Toni, “*Energy distributions and air kerma rates of ISO and BIPM reference filtered X-radiations*”, ENEA Pubbl. Serie manuali, 1990.
- [6] Ulrike Ankerhold, “*Catalogue of X-ray spectra and their characteristic data – ISO and DIN radiation qualities, therapy and diagnostic radiation qualities, unfiltered X-ray spectra*”, PTB-Bericht Dos-34 (April 2000), ISSN 0341-6674.

CARATTERIZZAZIONE DI RIVELATORI PER DOSIMETRIA PERSONALE PER NEUTRONI VELOCI

Salvatore Pittera*, Bruna Morelli, Elena Fantuzzi
ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna
*Borsista ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione, Bologna

1. Premessa

Per un Servizio di Dosimetria Personale (SDP), i materiali che giocano un ruolo fondamentale ai fini della qualità del dosimetro sono quelli che costituiscono i rivelatori. Il dosimetro a corpo intero per neutroni veloci, fornito dal Servizio di Dosimetria Personale dell'ENEA-IRP, è costituito da un rivelatore a stato solido a tracce di PADC (Poly Allyl Diglicol Carbonate), commercialmente denominato CR-39[®], addizionato con lo 0,1% di DOP (Diocetylphthalate), prodotto dall'azienda INTERCAST EUROPE S.p.A. di Parma [1],[2]. Il test di accettazione dei materiali di rivelazione è un importante elemento del Sistema di Qualità di un Servizio di Dosimetria Personale. Esso ha lo scopo di verificare la qualità del materiale fornito dal produttore ai fini delle performance dosimetriche che devono essere valutate per ogni fornitura e mantenute all'interno dei parametri stabiliti per assicurare all'utente una buona qualità ed affidabilità del servizio di dosimetria fornito.

2. Materiali e Metodi

La caratterizzazione del materiale di rivelazione fornito dal produttore avviene mediante l'effettuazione del test di accettazione [3, 4] Il test viene effettuato su ciascuna partita di produzione di CR-39[®] acquistata (che consiste di diversi fogli da cui si ricavano i rivelatori nelle dimensioni opportune per il dosimetro personale). In particolare il test è stato effettuato per il materiale prodotto nell'aprile 2003 per tre forniture differenti e sulla fornitura 2005, relativa alla produzione di dicembre 2004.

Il test viene eseguito su campioni appartenenti a ciascun foglio, per determinare la sensibilità della lastra S ($\text{tr}\cdot\text{mSv}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$), la densità media di tracce dei rivelatori di calibrazione di ciascun foglio N ($\text{tr}\cdot\text{cm}^{-2}$), la densità media delle tracce di fondo B ($\text{tr}\cdot\text{cm}^{-2}$) ed il valore del livello critico della soglia di rivelazione di ciascun foglio L_c . I parametri di accettazione e gli intervalli di accettabilità sono riportati in tabella 1.

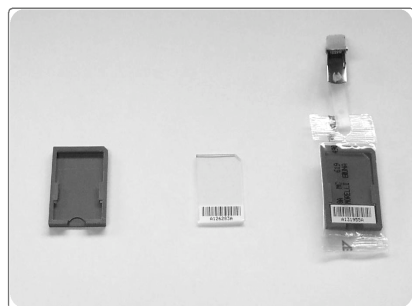


Figura 1: Il dosimetro per neutroni veloci del Servizio Dosimetrico ENEA-IRP

Tabella 1: Parametri e intervalli di accettabilità del test di accettazione

Parametri	Range di accettabilità
Sensibilità S	>300 ($\text{tr cm}^{-2} \text{mSv}^{-1}$)
Coefficiente di variazione N per I Dosimetri di ogni foglio c.v.(N) _{foglio}	5%
Coefficiente di variazione S tra tutti i fogli della partita c.v.(S) _{partita}	5%
Soglia di rivelazione L_c	$< 0,1$ mSv

3. Conclusioni

Dai risultati ottenuti nei test di accettazione del materiale di rivelazione si può affermare che le diverse partite di produzione sono riproducibili e viene mantenuto il livello di qualità stabilito per le prestazioni dosimetriche dei rivelatori di CR-39 utilizzati per la dosimetria personale per neutroni veloci.

- [1] E. Fantuzzi, F. Mariotti, G. Falangi, *Performance of CR-39[®] with Addition of DOP (Diocetylphthalate) for Fast Neutron Dosimetry*. Radiation Meas. **36** (1-6), 475-478 (2003).
- [2] B. Morelli, F. Mariotti, E. Fantuzzi *The ENEA neutron personal dosimetry service*. 14st Intenational Conference on Solid State Dosimetry Yale University, New Haven, CT, USA June 27- July 2004.
- [3] F. Mariotti, B. Morelli, E. Fantuzzi *Test di qualità del materiale CR-39[®] per dosimetria neutronica: risultati e messa a punto dei criteri di accettabilità*, AIRP - XXXII Congresso Nazionale di Radioprotezione – Bari, 17-19 Settembre 2003.
- [4] B. Morelli, E. Fantuzzi, G. Baldassarre, T. Bonarelli, G. Falangi, G.C.Uleri, *Implementazione di un protocollo di qualità nel Servizio di Dosimetria Personale dell'Istituto per la Radioprotezione dell'ENEA di Bologna*. RT/AMB/2001/20.

LA RADIOPROTEZIONE DEI LAVORATORI PRESSO UN INIETTORE DI NEUTRI

Sandro Sandri, Angela Coniglio* e Mario Pillon[†]

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione, Frascati

Borsista ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione, Frascati

[†]ENEA – UTS – FUS, Frascati

1. Premessa

L'attività di ricerca e sviluppo che si svolge presso la sede di Frascati, divisione di fisica sanitaria, ha riguardato tra l'altro nel 2005 la radioprotezione dei lavoratori presso un iniettore di neutri (*neutral beam*) in fase progettuale. Lo studio di quest'ultimo si colloca nell'ambito di un progetto molto ampio relativo alla progettazione del Tokamak prototipo per fusione termo-nucleare denominato ITER.

2. Implementazione del generatore, studio dei flussi e dell'attivazione con tecniche Monte Carlo

Il *neutral beam* di ITER è un acceleratore di ioni deuterio di energia non superiore ad 1 MeV. Gli ioni, prodotti in una camera magnetica ed estratti opportunamente, sono accelerati in un acceleratore elettrostatico a cinque stadi, neutralizzati da un gas e successivamente fermati lungo le superfici di un calorimetro di rame (*beam dump*). Il tutto avviene sotto vuoto all'interno di un *vessel*. Le possibili reazioni indotte all'interno del calorimetro sono le reazioni di fusione nucleare $D + D = n + {}^3\text{He}$ oppure $D + T = n + {}^4\text{He}$. Entrambe queste reazioni sono esoenergetiche e producono neutroni d'energia media di circa 2.5 MeV e 14 MeV rispettivamente. Gli obiettivi principali dello studio riguardano l'implementazione della sorgente neutronica, il calcolo dei flussi neutronici, dell'attivazione dei principali componenti e del rateo di dose a contatto dei componenti principali e ad una certa distanza da questi.

Il trasporto dei neutroni all'interno dell'acceleratore è eseguito facendo uso di un codice di calcolo Montecarlo (*MCNP-4c*). A tal fine è stato implementato un modello matematico delle componenti geometriche che include: *Beam Source* (BS); *Beam Source Vessel* (BSV), *Gas Neutraliser* (GN), *Residual Ion Dump* (RID), Calorimetro, Criopompa, *Beam Line Vessel* (BLV), *Bushing* e alcune strutture dei loop di refrigerazione.

I materiali utilizzati sono CuCrZr per il calorimetro e il RID, acciaio SS316 per il vessel, per le strutture di supporto e per la criopompa, Cu per il GN e per la BS, acqua e aria. La composizione dei materiali tiene conto della presenza d'impurezze poiché questo può incidere sul calcolo dell'attivazione dei materiali stessi. La sorgente neutronica è definita sia considerando l'anisotropia delle reazioni di fusione, e quindi la distribuzione angolare-energetica dei neutroni emessi, sia il profilo della sua distribuzione lungo i pannelli del calorimetro e lungo le superfici del RID (si suppone, infatti, che parte dei neutroni, circa il 40%, sia emessa anche dai pannelli di cui è costituito il RID). Il trasporto dei neutroni e il calcolo dei flussi sono eseguiti attraverso un file di input in cui sono definite 68 celle, costituenti altrettante sezioni dell'NBI, e nel quale il flusso per ognuna di queste celle è calcolato secondo uno spettro energetico suddiviso in 175 gruppi d'energia che consentono di generare in modo semplice il dato d'input per i successivi calcoli d'attivazione. Il numero di particelle generate è di circa 10^9 , il tempo di run è pari a 7 ore e l'incertezza associata è minore dell'1%. Per questo motivo non sono adottate tecniche di riduzione della varianza. I files di output del codice Monte Carlo restituiscono i valori di dose efficace che un operatore riceverebbe nelle aree circostanti il dispositivo, fornendo quindi anche un supporto per il calcolo degli schermi necessari in termini di materiali e spessori. Negli stessi files sono registrati i flussi neutronici i quali permettono la successiva valutazione dell'attivazione delle strutture dell'impianto attraverso il codice d'attivazione FISPACT. Una tecnica combinata del codice Monte Carlo con il codice FISPACT, tuttora in fase di sviluppo, permette inoltre di calcolare la dose impartita dalle radiazioni gamma dei prodotti d'attivazione.

2. Implementazione del generatore, studio dei flussi e dell'attivazione con tecniche Monte Carlo

L'unità ha ottenuto l'assegnazione di task internazionali tramite le organizzazioni EFDA e ITER per attività di studio relative alla valutazione radioprotezionistica in merito alla realizzazione di componenti dell'impianto ITER per fusione nucleare.

[1] A. Coniglio, M. Pillon, S. Sandri, *Safety analysis for first ITER NBI*, final report.

PERFORMANCE DI DIFFERENTI SISTEMI DI PRECONCENTRAZIONE NELL'ANALISI DI TORIO-232 MEDIANTE ICP-MS IN MATRICI ANTROPICHE ED AMBIENTALI

Salvatore Zicari, Nicola Silvestri, Paolo Battisti* e Maria Leitizia Cozzella[†].

ENEA – ION – Istituto di Radioprotezione, Trisaia

*ENEA – ION – Istituto di Radioprotezione, Bologna

[†]ENEA – ION – Istituto di Radioprotezione, Casaccia

1. Premessa

Le principali difficoltà nell'analisi del ²³²Th in matrici ambientali ed antropiche per scopi radioprotezionistici derivano dalla necessità di misurare concentrazioni estremamente basse in presenza di un elevato contenuto di ioni interferenti. Da ciò nasce l'esigenza di standardizzare adeguati metodi di separazione e preconcentrazione.

Le diverse tecniche radiometriche utilizzabili presentano difficoltà specifiche, legate alla limitata sensibilità, come per la spettrometria gamma [1], alla laboriosità della preparazione del campione, ai lunghi tempi di conteggio e la facilità di adesione del Th a componenti strumentali (contaminazione difficilmente rimovibile), come nel caso della spettrometria alfa [2] o ai costi elevati, come per l'attivazione neutronica [3]. Scopo del presente lavoro è quello di valutare la possibilità di misura del ²³²Th mediante ICP-MS (inductively coupled plasma-mass spectroscopy) accoppiato ad una preparazione preliminare del campione (separazione e preconcentrazione), effettuata mediante l'impiego di alcune delle più comuni resine commerciali.

2. Utilizzo della spettrometria ICP-MS e di sistemi di preconcentrazione

La spettrometria ICP-MS risulta particolarmente indicata per determinare basse concentrazioni di ²³²Th [4]; essa è tuttavia notevolmente influenzata dall'effetto "matrice" in presenza di un'elevata quantità di sali dissolti nella soluzione che può provocare interferenze nel plasma, con conseguente soppressione del segnale o blocchi del nebulizzatore e della torcia. La riduzione dell'effetto matrice, attraverso la diluizione del campione, non è sempre possibile, poiché si potrebbe arrivare a trattare valori prossimi al detection limit (2.5 ng/l) [5]. Per superare questo problema è necessario adottare adeguati metodi di separazione e preconcentrazione, preliminari alla determinazione stessa.

Tecniche versatili, selettive e relativamente poco costose, come la cromatografia a scambio ionico e semplici e rapide come la cromatografia per estrazione sono largamente utilizzate per la separazione e preconcentrazione di elementi in tracce o di radionuclidi, come attinidi e metalli di transizione da grandi volumi di soluzione [6], [7], [8], [9] e [10].

3. Risultati e discussione

Matrice: Urina umana - L'urina umana, di popolazione non esposta, contiene in genere una quantità di ²³²Th in concentrazione variabile tra 2 e 30 ng/l. Sono state valutate le performance, (in termini di resa chimica), della resina a scambio anionico (Bio-Rad AG1X8[®], Dowex 1-X8[®]) e della resina Chelex100[®] su tale matrice aggiungendo una quantità di ²³²Th tra 7000 e 7500 (ng/l). In tabella 1 sono riportati i risultati delle misure effettuate mediante la tecnica ICP-MS.

Matrice: acqua di mare e di falda, filtri dell'aria e terreni - Tali matrici sono state sottoposte a procedura di separazione chimica e preconcentrazione del ²³²Th, utilizzando sia la cromatografia a scambio ionico sia la cromatografia per estrazione. Il prodotto derivante da tale procedura è stato sottoposto ad analisi mediante ICP-MS ed il risultato ottenuto è stato confrontato con quello ottenuto mediante la spettrometria gamma dell'²²⁸Ac [11], (considerato in equilibrio secolare con il ²³²Th), misurato mediante catene spettrometriche gamma con rivelatore al germanio iperpuro.

Nel caso delle acque, trattandosi di una matrice meno complessa delle altre, sono state impiegate tutte le resine a disposizione per lo studio; questo per poter valutare tutti gli eventuali problemi che possono sorgere durante il trattamento dei campioni per la separazione del ²³²Th.

Il ²³²Th è naturalmente presente nelle acque con una concentrazione che varia da qualche ng/l a qualche µg/l. I risultati sono riportati in tabella 2.

Tabella 1: Valori di ^{232}Th in urina dopo trattamento con resina a scambio anionico e dopo trattamento con resina Chelex100.

	^{232}Th (ng/l)	Resina a scambio anionico (ng/l)	Resina Chelex100 (ng/l)
Prova N° 1	7418	7090 (resa chimica = 95.6%)	3840 (resa chimica = 51.8%)
Prova N° 2	7492	7458 (resa chimica = 99.5%)	3826 (resa chimica = 51.1%)
Prova N° 3	7000	3672 (resa chimica = 52.5%)	1820 (resa chimica = 26.0%)

Tabella 2: Valori di ^{232}Th in acque di mare e di falda, filtri dell'aria e in terreni dopo trattamento di separazione chimica e preconcentrazione.

Campione analizzato	^{228}Th estrapolato da ^{228}Ac	CHELEX res.chim. (56%)	TOPO res.chim. (86%)	TEVA res.chim. (72%)	Resina a scambio anionico resa chim. (65%)
Acqua di mare P10AM ($\mu\text{g/l}$)	0.7	0.8	0.5	0.4	0.8
Acqua di mare P11AM ($\mu\text{g/l}$)	1.5	0.5	1.3	-	1.2
Acqua di mare P12AM ($\mu\text{g/l}$)	1.5	1.8	1.1	1.2	0.9
Acqua di falda Aq321 ($\mu\text{g/l}$)	0.7	-	0.7	0.4	-
Acqua di falda Aq315 ($\mu\text{g/l}$)	1.0	-	0.9	1.1	-
Acqua di falda Aq332 ($\mu\text{g/l}$)	1.0	-	1.3	0.3	0.7
Acqua di falda Aq3111 ($\mu\text{g/l}$)	0.8	-	0.6	0.6	-
Filtro Aria (ng/m^3)	12.0	-	10.0	10.6	-
Terreno P321 (mg/kg)	6.0	-	5.2	5.1	-
Terreno P322 (mg/kg)	7.7	-	5.6	4.4	-
Terreno P4 (mg/kg)	7.2	-	5.6	5.3	-
Terreno P6 (mg/kg)	8.8	-	-	-	*4.8 (valore medio)

*determinazione eseguita su terreni lisciviati

N. B.:La resina Chelex100 non è stata utilizzata poiché non è adatta al trattamento di soluzioni ricche di colloidali [17] e di sostanze organiche dissolte, poiché competono con i siti di legame della resina.

4. Conclusioni

Le rese chimiche ottenute con le varie resine offrono risultati incoraggianti anche se si devono tenere presenti le osservazioni di seguito riportate.

Il sistema Eichrom TEVA Resin, non permette l'impiego di grosse quantità di matrice e rende necessaria la preliminare precipitazione del ^{232}Th come fosfato o come idrossido. La preparazione in laboratorio di colonne più grandi con la stessa fase aumenta molto il costo dell'analisi.

La resina a scambio anionico (Bio-Rad AG1X8, Dowex 1-X8) è nota per la sua capacità di purificare il ^{232}Th da matrici ambientali e da escreti fecali; il suo uso sembra anche ampiamente applicabile all'isolamento del ^{232}Th da precipitati fosfatici di escreti urinari.

Anche la resina Chelex100, la cui applicabilità è più diffusa per l'analisi di acque di mare o comunque ad elevata salinità, offre dei risultati interessanti per gli escreti urinari.

Le resine a scambio anionico, la resina Chelex100 e la TOPO, per la loro facilità d'uso e i loro costi contenuti, possono essere utilizzate sia in colonna che in batch, anche con grosse quantità di matrice, senza dover eseguire alcuna precipitazione preliminare.

L'impiego dell'ICP-MS, grazie all'uso delle resine, consente di ottenere una risposta diretta con un limite di rivelabilità estremamente basso (2.5 ng/l, pari a 10.1 $\mu\text{Bq/l}$ di ^{232}Th). I suoi vantaggi rispetto alle tecniche radiometriche classiche sono riportati di seguito:

- rispetto alla spettrometria alfa consente di evitare il delicato passaggio dell'elettrodeposizione, di superare relativamente il problema della contaminazione dei rivelatori, di non usare traccianti, di evitare i lunghi tempi di conteggio;
- rispetto alla spettrometria gamma, con cui il ^{232}Th viene determinato indirettamente attraverso la misura del ^{228}Ac ipotizzandone l'equilibrio secolare, permette di misurare direttamente il ^{232}Th con sensibilità esternamente più elevate;
- rispetto all'attivazione neutronica si riducono notevolmente i costi.

Il fenomeno della contaminazione strumentale avviene anche nel caso dell'ICP-MS, ma sembra avere luogo direttamente nel sistema d'iniezione e soprattutto nei tubi della pompa peristaltica. Per limitare tale fenomeno è stato utilizzato il nebulizzatore tipo "concentric glass nebulizer" capace di aspirare direttamente dal campione l'aliquota da analizzare.

La scelta di utilizzare l'ICP-MS per determinare il ^{232}Th in matrici antropiche ed ambientali, dopo una procedura preliminare di separazione e concentrazione, costituisce una tecnica non radiometrica alternativa o integrativa ma non ancora sostitutiva delle tecniche analitiche classiche.

I risultati preliminari ottenuti in questo lavoro incoraggiano un proseguimento dello studio al fine di definire protocolli standard di misura del ^{232}Th .

- [1] L. Zikosky, Radioactivity and Radiochemistry 5 (3), 22-25, (1994).
- [2] M.J Vargas., Nucl. Instrum. and Methods in Physics Research A 346, 298-305, (1994).
- [3] M.S Chaudhary., J. Radioanal. Nucl. Chem. 57 (1), 137-146, (1980).
- [4] P. Roth, I. Wenler, E. Werner, P. Schramel, Journ. of Radioanal. And Nucl. Chem., vol 226, 1-2, (1997)285-287,.
- [5] C. Hurtgen, Cossonet C., Ominex work package 3 - Uncertainty on bioassay measurements-SCK CEN (2003).
- [6] Z. Samczynski, R. Dybczynski, Journal of Chromatography A, 789, (1997)157-167,.
- [7] F.W.E Strelow. and. C.J.Bothma, Anal. Chem Vol. 39 No 6, (1967).
- [8] D.L. Massart, NAS-NS-3113, (1971).
- [9] K.Rengan, R.A. Meyer, NAS-NS-3118, p. 13, (1993).
- [10] M.B. Colella, S. Siggia, R.M. Barnes, Anal. Chem 52, (1980).

**SORVEGLIANZA FISICA
DI RADIOPROTEZIONE
E ATTIVITA' DI SERVIZIO.**

IL SERVIZIO DI DOSIMETRIA PERSONALE

Bruna Morelli, Giovanni Baldassarre, Teresa Bonarelli, Giorgio Falangi, Giancarlo Uleri
ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione
Bologna

1. Premessa

L'attività svolta, fin dagli anni '60, dal Servizio di Dosimetria Personale, presso l'Istituto di radioprotezione dell'ENEA di Bologna, consiste nel noleggio e lettura di dosimetri personali ed ambientali per il monitoraggio della radiazione esterna. Nel corso di tale attività, il Servizio si è posto sempre come obiettivo lo sviluppo e la costante implementazione di metodologie e procedure, allo scopo di garantire, nell'evolversi delle tecniche disponibili, un servizio qualificato ed affidabile. Infatti, i dosimetri, idonei alla misura di $H_p(d)$ e $H^*(d)$ Equivalente di Dose Personale ed Ambiente come richiesto dalla normativa vigente (D. Lgs.230/95 s.m.i.), sono il risultato di studi e ricerche sia sperimentali che computazionali, effettuate presso l'Istituto di Radioprotezione e il Laboratorio di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti dell'ENEA-IRP(BO).

2. Attività

Il Servizio di Dosimetria dispone di 5 tipi di dosimetri basati su rivelatori a termoluminescenza e rivelatori a tracce a stato solido [1, 2, 3].

Il *dosimetro per fotoni* (figura 1) è costituito da una card con due rivelatori a termoluminescenza di LiF(Mg,Cu,P) (GR200A), inserita fra due supporti della stessa dimensione che contengono filtri metallici in corrispondenza della posizione dei rivelatori. La combinazione di filtri ($A=290 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$, $B=20 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$) permette di misurare direttamente $H_p(10)$ con il rivelatore di filtrazione A e $H_p(0,07)$ con il rivelatore di filtrazione B.

Il *dosimetro per neutroni termici e gamma* (figura 2) è costituito da una card che supporta 2 rivelatori a termoluminescenza di LiF(Mg,Cu,P) e ${}^7\text{LiF(Mg,Cu,P)}$ (GR200A e GR207A). La diversa composizione isotopica dei due rivelatori impiegati permette di rivelare e discriminare la radiazione fotonica e neutronica incidente. I fotoni vengono infatti rivelati attraverso il processo diretto di ionizzazione (coppie elettrone - lacuna) nel cristallo di LiF. I neutroni termici sono invece rivelati attraverso la reazione nucleare con i nuclei di ${}^6\text{Li}$ presenti nel cristallo: ${}^6\text{Li} + n \rightarrow {}^3\text{H} + \alpha$. Tenuto conto della diversa sensibilità dei due materiali, attraverso una combinazione lineare delle due letture, è possibile determinare la dose neutronica e stimare la dose fotonica associata. I rivelatori sono filtrati con 1 mm di Alluminio in posizione anteriore e 1 mm di Cadmio in posizione posteriore rispetto alla direzione d'incidenza della radiazione.

Il *dosimetro per estremità* (figura 3) è fornito per tre tipologie di supporto (anello, bracciale e bracciale sterilizzabile) e per due range energetici (rivelatore "sottile" per fotoni da 20 a 200 keV ed elettroni di ${}^{90}\text{Sr}$ e ${}^{204}\text{Tl}$, e rivelatore "standard" per fotoni da 20 a 200 keV ed elettroni di ${}^{90}\text{Sr}$)

Il dosimetro per estremità con rivelatore sottile è costituito da un rivelatore a termoluminescenza di LiF(Mg,Cu,P) (MCP-Ns) di $8.5 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ di spessore sensibile, depositato su un dischetto di grafite di 0.9 mm di spessore e 4.5 mm di diametro. Il rivelatore sottile migliora notevolmente le prestazioni del dosimetro in termini di accuratezza in campi beta.

Il dosimetro per estremità con rivelatore "standard" è costituito da un rivelatore a termoluminescenza di LiF(Mg,Cu,P) (GR200A) di $200 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ di spessore, fissato su una fascetta di kapton contrassegnata da un codice numerico e a barre.

Entrambi i dosimetri per estremità sono indicati per l'utilizzo sia in radiologia diagnostica che in medicina nucleare.

Il *dosimetro per neutroni veloci* (figura 4) è costituito da un rivelatore a tracce di PADC (Poly Allyl Diglicol Carbonate), un polimero organico commercialmente denominato CR39. L'interazione della radiazione neutronica incidente sul materiale plastico produce particelle cariche, particelle α e protoni di rinculo, i quali lungo il loro percorso all'interno del materiale producono un danneggiamento della struttura del polimero (tracce).

Attualmente il Servizio è fornito, oltre che all'interno dell'ENEA (circa 10000 dosimetri all'anno), a più di 200 utenti esterni (aziende ospedaliere, istituti di ricerca, industrie, studi privati ecc.) per un totale di circa 80.000 dosimetri all'anno, sia personali che ambientali per tutti i tipi di radiazione (vedi tabella 1).

Sono inoltre forniti (a due utenti in Italia) dosimetri di criticità ambientali e personali, basati su rivelatori ad attivazione, messi a punto e qualificati negli anni '70, successivamente aggiornati e riquilibrati nel 1993 e nel 2002 presso il reattore SILENE del Centro CEA di Valduc (F) in occasione dell'International Intercomparison of Critically Accident Dosimetry Systems [4].

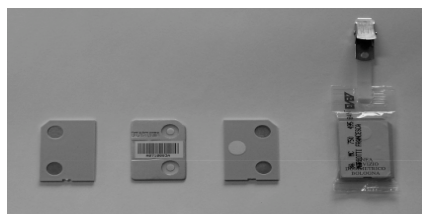
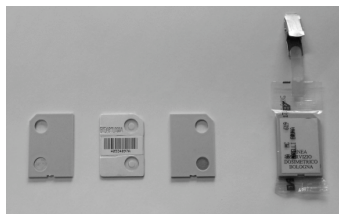


Figura 1: Dosimetro a termoluminescenza per fotoni. **Figura 2:** Dosimetro a termoluminescenza per neutroni termici.

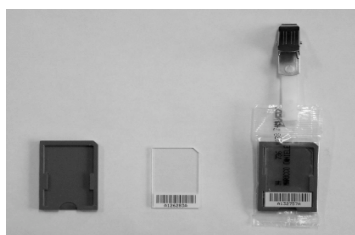


Figura 3: Dosimetri a termoluminescenza per estremità. **Figura 4:** Dosimetri a stato solido (CR39) per neutroni veloci.

Tabella 1 : Letture dosimetriche di routine effettuate dal Servizio di Dosimetria nell'anno 2005.

Anno 2005	Tipo di dosimetro					
	Fotoni	Neutroni termici	Neutroni veloci	Estremità X- γ	Estremità X- γ rivelatore "sottile"	Totale misure
Totale misure	49080	9517	5333	8208	950	73088

Il Servizio di Dosimetria Personale dell'ENEA-IRP è validato dalla costante attività di studio e ricerca supportata dalla possibilità di utilizzo delle facility di calibrazione di cui è dotato il Laboratorio Secondario di Metrologia dell'Istituto. L'accuratezza e l'affidabilità, dalla fornitura del dosimetro al cliente alla comunicazione della risposta dosimetrica, sono garantite dal programma di Assicurazione della Qualità (QA) sviluppato dal Servizio e operativo mediante controlli e test su parametri critici individuati nelle varie fasi dei processi.

Il Servizio partecipa, ottenendo sempre ottimi risultati, ad interconfronti nazionali (ENEA-EDP) ed internazionali (DOE (US), EURADOS, IAEA)

Attualmente il Servizio sta effettuando un'accurata analisi per realizzare ed implementare un Sistema di Gestione della Qualità conforme alla norma ISO/IEC 17025[5] al fine di richiedere, in un prossimo futuro l'accreditamento al SINAL (Sistema Italiano Nazionale per l'Accreditamento dei Laboratori).

- [1] Fantuzzi, E., Mariotti, F., B. Morelli, Uleri G.C. *The implementation in routine of the ENEA new personal photon dosemeter*. 14th International Conference on Solid State Dosimetry, Yale University, New Haven, CT, USA June 27- July 2 (2004).
- [2] Morelli, B., Mariotti, F., Fantuzzi, E. *The ENEA neutron personal dosimetry service*. 14th International Conference on Solid State Dosimetry Yale University, New Haven, CT, USA June 27- July 2 (2004).
- [3] Mariotti, F., Uleri, G.C., Fantuzzi, E., *Batch homogeneity of LiF(Mg,Cu,P)-GR200 and LiF(Mg,Cu,P)-MCP-Ns TL detectors for use as extremity dosimetry at ENEA personal dosimetry service*. 14th SSD Yale University, New Haven, CT, USA, June 27-July 2 (2004).
- [4] Gualdrini G., Bedogni R., Fantuzzi E., Mariotti F. *Dosimetri di criticità. Aggiornamento delle metodiche in uso presso l'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA*. RT/2004/26/ION.
- [5] Morelli, B., Mariotti, S. Pittera, F., Fantuzzi. *Quality Assurance and quality control programme in individual monitoring of hte ENEA Radiation Protection Institute*. IM2005, Vienna, Austria, 11-15 aprile (2005).

SERVIZIO RADON: ATTIVITA' DI ROUTINE

Silvia Penzo e Massimo Calamosca
ENEA – ION - Istituto di Radioprotezione
Bologna

1. Premessa

Nel 2000 l'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA ha istituito il Servizio radon per fornire ai soggetti interessati uno strumento caratterizzato principalmente dalla qualità della misura. Durante questo periodo il Servizio ha completato la campagna di monitoraggio (ai sensi capo III-bis D.Lgs. 230/95 e s.m.i.) nei C.R. ENEA per gli ambienti lavorativi sotterranei e raggiunto una buona competitività aggiudicandosi importanti commesse come le forniture a RSA e ENI, e le due campagne Radon del Ministero delle Finanze.

2. Descrizione sintetica

Le tabelle 1 e 2 riassumono rispettivamente la situazione dell'utenza interna ed esterna all'ENEA. Le attività di routine del Servizio Radon consistono in tutte le operazioni comprese dal momento dell'invio dell'offerta al cliente al rilascio finale della certificazione richiesta dalla norma vigente; includono quindi, oltre agli aspetti amministrativi, le spedizioni iniziali e periodiche dei dispositivi di misura, le valutazioni della concentrazione di radon e l'invio dei rapporti di misura. La valutazione della risposta dei rivelatori è la fase più critica per la qualità del servizio, essendo costituita da diverse fasi sperimentali (attacco chimico dei rivelatori, lettura al microscopio, calcolo dell'esposizione e della concentrazione media periodica di radon). Al termine dell'anno di misura, la fornitura è completata con il calcolo della concentrazione media annuale comunicata ufficialmente tramite la relazione tecnica finale. L'intera attività del servizio è sistematicamente soggetta all'insieme di controlli e verifiche [1] previste dal Programma di Garanzia di Qualità del Servizio, che riguardano tra l'altro la scelta dei rivelatori, l'effettuazione periodica dei Controlli di Qualità su tutte le fasi e strumenti utilizzati per l'analisi dei rivelatori, l'esposizione e verifica periodica dei dosimetri in una camera radon di taratura e la partecipazione all'annuale Interconfronto internazionale sui rivelatori passivi a tracce c/o l'HPA. Ulteriori Controlli di Qualità vengono eseguiti periodicamente per l'attacco chimico, per il sistema di lettura automatico e per il sistema di produzione di acqua, seguendo le apposite Procedure Operative Standard (SOP), periodicamente implementate in relazione agli sviluppi del sistema di analisi promossi dalla attività di ricerca del Servizio. Uno dei principali prossimi obiettivi del Servizio consisterà nel raggiungimento di uno standard operativo ed organizzativo che, insieme alla stesura di tutte le procedure e dello stesso Manuale di Qualità, consentirà l'accreditamento secondo la norma EN ISO/IEC 17025.

Tabella 1: Dimensionamento del carico di lavoro per l'utenza interna dal 1/6/2002 al 31/10/2005

Periodo	N° campagne	N° dosimetri	N° rivelatori
2002	7	127	508
2003	6	199	747
2004	2	28	112
2005	0	-	-
Totale	15	354	1367

Tabella 2: Dimensionamento del carico di lavoro per l'utenza esterna dal 1/1/2003 al 31/10/2005

Periodo	N° campagne	N° dosimetri	N° rivelatori
2003	37	4596	6201
2004	58	1047	3741
2005	38	251	1101
Totale	126	5894	11043

3. Conclusioni

Le attività di sviluppo e ricerca del servizio hanno permesso la realizzazione di un servizio che utilizza dispositivi [2] e procedure originali e hanno consentito il raggiungimento di un'elevata qualità della misura con costi contenuti. Il sistema presenta un forte grado d'automazione che insieme alla sperimentata affidabilità dei componenti permette al servizio di rafforzare le linee di ricerca sulla radioprotezione delle radiazioni ionizzanti di origine naturale, da un lato, integrando le competenze di dosimetria interna presenti nell'Istituto, dall'altro, migliorando sempre più la competitività del Servizio.

[1] M. Calamosca, S. Penzo *The technical framework supporting the accreditation action of the ENEA ION-IRP radon service*, Proc. 11th Int. Congress IRPA, ISBN 84-87078-05-2, (2004).

[2] M. Calamosca, S. Penzo, and G. Gualdrini, *The features of the new radon gas CR-39 dosimeter developed at the ENEA IRP*, Radiat. Measur. 36, (2003), 221-224.

SERVIZIO MISURE DI CONTAMINAZIONE INTERNA: ATTIVITA' DI ROUTINE

Paolo Battisti, Sandro Bazzarri*, Gianfranco Berton⁺, Giuseppe Canuto⁺, M.Letizia Cozzella*,
 Fabrizio d'Innocenzo*, Vincenzo de Stefano*, Ivana di Marco*, Stefano Guerra^o, Liliana Mancini*,
 Mauro Montalto⁺, Giulio Morelli*, Rossella Pentivolpe^o, Nicola Silvestri^o, Maurizio Vegro⁺, Salvatore Zicari^o
 ENEA – ION - Istituto di Radioprotezione, Bologna
 *ENEA – ION - Istituto di Radioprotezione, Casaccia
⁺ENEA – ION - Istituto di Radioprotezione, Saluggia
^oENEA – ION - Istituto di Radioprotezione, Trisaia

1. Premessa

L'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA (ENEA ION IRP) opera da anni nel campo delle misure di dosimetria interna, fornendo prestazioni sia per utenti sia interni all'Ente sia esterni. Recentemente è stato avviato un progetto di riorganizzazione delle attività incorporando in un unico sistema i laboratori dell'Istituto operanti nel campo e dislocati nei diversi centri ENEA; specificatamente:

- laboratorio misure in vivo (WBC) di Casaccia, Saluggia, Trisaia e Bologna;
- laboratorio misure radiotossicologiche di Casaccia, Saluggia, Trisaia.

Tenuto conto delle potenziali sinergie e dell'opportunità offerta dall'integrazione delle competenze e delle specializzazioni, anche in vista dell'eventuale necessità di affrontare situazioni complesse, a tale sistema afferiscono per altro, nella specificità dei compiti e delle attività, anche i laboratori ION IRP di misura della radioattività ambientale (Casaccia, Saluggia e Trisaia), nonché il Laboratorio misure di Spettrometria di Massa con ICP-MS (Casaccia).

Al fine di realizzare il progetto, e quindi integrare entità per lungo tempo fra loro indipendenti, la riorganizzazione è stata volta da un lato ad uniformare metodiche e comuni procedure operative, dall'altro a razionalizzare dotazione strumentale, competenze e specializzazioni, con l'obiettivo di un potenziamento delle capacità d'intervento e una sempre maggiore qualità del dato fornito. A tale proposito particolare attenzione è stata posta alle attività di qualificazione, sia mediante l'organizzazione di campagne interne d'intercalibrazione, sia attraverso la partecipazione sistematica ad iniziative nazionali ed internazionali di interconfronto.

L'incarico di organizzare, distribuire ed uniformare, anche dal punto di vista formale, le attività dei diversi Laboratori, è stata affidata ad un'apposita "Unità di coordinamento dei Laboratori dell'Istituto di Radioprotezione", con sede in Casaccia. Fra i suoi diversi compiti, tale Unità ha in particolare quello di gestire il rapporto con l'utenza, interna ed esterna, per gli aspetti anche non strettamente tecnici, ivi compresa compilazione, invio e archiviazione dei referti di misura.

2. Prestazioni fornite dal servizio misure della contaminazione interna

Nelle tabelle 1 e 2 sono indicate le prestazioni fornite dai Laboratori ION IRP di misura di dosimetria interna, rispettivamente nell'ambito delle misure in vivo e di quelle radiotossicologiche, indicando per ciascun laboratorio le specifiche specializzazioni.

Nelle tabelle 3 e 4 sono indicate le misure di monitoraggio effettuate nel corso del 2005 dai Laboratori ION IRP di misura in vivo e di misure radiotossicologiche per utenti interni ENEA ed Esterni.

Tabella 1: Tipologie di misure radiotossicologiche effettuate dal servizio misure della contaminazione interna ION IRP

Lab.	Tipologia di misura	Range energia o radionuclide	Sistema di rivelazione	Geometria di misura
Casaccia	spettrometria gamma urine	50 keV – 2 MeV	1 riv. HPGe coassiale	becker di Marinelli
	spettrometria alfa urine e feci	Pu-239, Pu-238, Am-241	1 riv. PIPS in vuoto	piattello elettrodeposto
	determinazione Radio urine	Ra-226	conteggio alfa	piana su piattello metallico
	conteggio beta urine	H-3, C-14, Ni	scintillazione liquida	vials da 20 ml
	conteggio beta totale urine	Sr-90, Ph-32	1 riv. Argon-metano	piana su piattello metallico
Saluggia	spettrometria di massa urine	U-238, U-235, Th-232	ICP-MS	
	spettrometria gamma urine	50 keV – 2 MeV	1 riv. HPGe coassiale	becker di Marinelli
	spettrometria alfa urine e feci	Pu-239, Pu-238, Am-241	1 riv. PIPS in vuoto	elettrodeposizione su piattello
Trisaia	spettrometria gamma urine	50 keV – 2 MeV	1 riv. HPGe coassiale	becker di Marinelli

Tabella 2: Tipologie di misura in vivo (WBC) effettuate dal servizio misure della contaminazione interna ION IRP

Lab.	Tipologia di misura	Range energia o radionuclide	Sistema di rivelazione	Geometria di misura	Schermatura
Casaccia	corpo intero tiroidea	100 keV – 2 MeV I-131	1 riv. HPGe coassiale	sedia di Marinelli	totale (bunker)
	organo specifico polmonare	100 keV – 2 MeV	1 riv. HPGe coassiale	in funzione di posizione organo	totale (bunker)
	tiroidea	10 keV 100 keV I-125	4 riv. HPGe planari	in funzione di posizione organo	totale (bunker)
	ossea	Am-241	1 riv. HPGe planare	in funzione di posizione organo	totale (bunker)
			4 riv. HPGe planari	in funzione di posizione organo	totale (bunker)
Saluggia	corpo intero tiroidea	100 keV – 2 MeV I-131	1 riv. NaI(Tl)	lettino	parziale
Trisaia	corpo intero tiroidea	100 keV – 2 MeV I-131	1 riv. NaI(Tl)	in funzione di posizione organo	parziale
			1 riv. NaI(Tl)	lettino	parziale
Bologna	corpo intero	100 keV – 2 MeV	1 riv. NaI(Tl) 9"x4"	sedia di Marinelli	totale (bunker)
	organo specifico	100 keV – 2 MeV	1 riv. NaI(Tl) 9"x4"	in funzione di posizione organo	totale (bunker)
	tiroidea	I-131, I-125	1 riv. NaI(Tl) 3"x3"	in funzione di posizione organo	solo rivelatore

Tabella 3: Misure in vivo di monitoraggio effettuate dal servizio misure della contaminazione interna ION IRP nel corso del 2005

Laboratorio	Tipologia di misura	Utenti interni ENEA	Utenti esterni	Totale
Casaccia	corpo intero alta energia	61	255	316
	polmonare bassa energia	296	137	433
	tiroidea I-125	20	55	75
Saluggia	corpo intero alta energia	55	111	166
Trisaia	corpo intero alta energia	23	10	33

Tabella 4: Misure radiotossicologiche di monitoraggio effettuate dal servizio misure della contaminazione interna ION IRP nel corso del 2005

Laboratorio	Tipologia di misura	Utenti interni ENEA	Utenti esterni	Totale
Casaccia	spettrometria gamma urine	160	46	206
	spettrometria alfa urine	38	54	92
	spettrometria alfa feci	24	34	58
	determinazione Ra-226 nelle urine	10	--	10
	scintillazione liquida urine (H-3, C-14)	84	316	400
	conteggio beta urine	138	142	280
	spettrometria di massa urine (U, Th)	117	186	303
Saluggia	spettrometria alfa urine	122	14	136
	spettrometria alfa feci	82	13	95
Trisaia	spettrometria gamma urine	45	11	56

DETERMINAZIONE DI URANIO IN URINE VIA SPETTOMETRIA DI MASSA A PLASMA INDUTTIVAMENTE ACCOPPIATO (ICP-MS)

Maria Letizia Cozzella

ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione
Casaccia

1. Premessa

L'Istituto di Radioprotezione si occupa in tutti i centri di ricerca ENEA di monitorare la potenziale contaminazione di lavoratori esposti analizzando negli escreti (urine e/o feci) l'eventuale presenza di contaminanti radioattivi. Tali controlli sono eseguiti utilizzando tecniche di spettrometria alfa, beta, gamma e misure di spettrometria di massa a plasma induttivamente accoppiato (ICP-MS). Tra i radionuclidi oggetto di controllo periodico vi è la determinazione degli isotopi dell'Uranio nelle urine.

2. Impiego della tecnica ICP-MS nella sorveglianza radiologica

Da circa tre anni nel laboratorio di spettrometria di massa dell'Istituto di radioprotezione di Casaccia viene eseguita la determinazione dell'Uranio e dei suoi isotopi senza trattamenti preliminari ma per semplice diluizione, via ICP-MS. Tale tecnica consente di determinare contemporaneamente, previa diluizione 1 a 15 del campione da sottoporre ad esame (H₂O ultrapura acidulata con 1% v/v di HNO₃ double distilled), sia la concentrazione di uranio presente nel campione che i suoi rapporti isotopici in tempi rapidi (10-15 minuti/campione) e con un D.L di circa 1-2 ng/l sull'²³⁸U. L'affidabilità delle misure eseguite viene periodicamente controllata partecipando ad intercalibrazioni internazionali in cui è richiesta sia la determinazione delle concentrazioni degli isotopi dell'uranio in urina (Procorad) che la determinazione in campioni di urina sintetica dei suoi rapporti isotopici (IRMM-Institute for Reference Material and Measurements) (tabelle 1 e 2)

Tabella 1: Risultati PROCORAD anni 2003-2004-2005

Camp 2003	ENEAval ²³⁸ U (□g/l)	PROCval ²³⁸ U (□g/l)
Sample A	15,6± 0,747	17,6
Sample B	0,14 ± 0,029	0,157
Sample C	0,021 ± 0,006	n.d
Camp 2004	ENEAval ²³⁸ U (□g/l)	PROC val ²³⁸ U (□g/l)
Sample A	21,6± 0,649	21,1
Sample B	2,2 ± 0,074	2,13
Sample C	n.d.	“blank”
Camp 2005	ENEAval ²³⁸ U (□g/l)	PROC val ²³⁸ U (□g/l)
Sample A	16± 0,195	12.3
Sample B	1,5 ± 0,074	1,15
Sample C	0.03 ± 0,002	“blank”

Tabella 2: Intercal. 2004“NUSIMEP”(IRMM)

sample A	lab ENEA	ref value
U234/U238	5,50E-05	4,98E-05
U235/U238	7,07E-03	7,04E-03
sample B	lab ENEA	ref value
U234/U238	1,10E-04	1,64E-04
U235/U238	1,102E-02	1,73E-02

3. Conclusioni

La misura dell'uranio nelle urine attraverso l'uso dello spettrometro di massa a plasma è entrata, a tutti gli effetti, nell'ambito dei metodi ufficiali che l'Istituto utilizza per il monitoraggio dei lavoratori esposti dei Centri Casaccia e Saluggia.

- [1] P. Battisti, M. Calamosca, C.M. Castellani, M.L. Cozzella, C. Cremisini, A. Luciani, G. Tarroni, *Contaminazione interna da Uranio depleto: il protocollo di misure adottato per il controllo del contingente italiano impegnato in territorio Balcanico*. Presentato al Convegno AIRP, La Maddalena, 26–28/10/2001 In 'Lo stato della dosimetria esterna ed interna in ENEA - Istituto per la Radioprotezione', A cura di G. Tarroni, ENEA RT/AMB/2001/20, ENEA, Roma, (2001),
- [2] C. Cremisini, M. Galletti, L. D'Annibale, M.L. Cozzella, R. Pettrossi *La tecnica dell'ICP/MS nella determinazione dell'uranio nelle urine: vantaggi, limiti ed alcuni esempi di applicazione*" Presentato al Convegno AIRP, La Maddalena, 26–28/10/2001 In 'Lo stato della dosimetria esterna ed interna in ENEA - Istituto per la Radioprotezione', A cura di G. Tarroni, ENEA RT/AMB/2001/20, ENEA, Roma, (2001),

ATTIVITA' DI SORVEGLIANZA AMBIENTALE PRESSO IL CENTRO RICERCHE CASACCIA

Roberto Stefanoni, Nadia Di Marco, Giovanni Gianquitto, Alberto Manzotti, Francesco Ranucci, Elvio Soldano
ENEA – ION- Istituto di Radioprotezione
Casaccia

1. Introduzione

Presso il C.R. Casaccia l'Istituto di Radioprotezione svolge l'attività di Sorveglianza Ambientale in attuazione di obblighi di legge (art. 54 D. Lgs 230/95 s.m.i.) e dei regolamenti di esercizio di impianti nuclei, i.e. impianti IPU e OPEC gestiti da SOGIN, TAPIRO e TRIGA gestiti da ENEA, installazione NUCLECO, nonché laboratori con rischio radiologico che manipolano determinate sostanze potenzialmente contaminanti per l'ambiente. I risultati del piano di sorveglianza ambientale sono raccolti, a cura dell'Istituto di Radioprotezione, nel Rapporto Annuale di Radioattività Ambientale inviato ogni anno dall'Istituto stesso, per conto della Direzione di Centro Casaccia, all'APAT, agli Esercenti ENEA e SOGIN degli impianti presenti nel sito ed a Nucleco s.p.a.

Inoltre, dal 1991, su richiesta dell'APAT, allo scopo di far fronte con tempestività ad eventuali eventi anomali sul territorio nazionale, il laboratorio di sorveglianza effettua il monitoraggio continuo della radiazione gamma presente nel particolato atmosferico.

2. Attività di sorveglianza ambientale

Il monitoraggio della radioattività ambientale comporta il campionamento sistematico, secondo le periodicità di prelievo stabilite dalle autorità competenti di matrici ambientali e alimentari in oltre 40 punti di prelievo all'interno ed all'esterno del sito CR Casaccia.

Le varie matrici ambientali e/o alimentari sono poi sottoposte alle diverse misure necessarie per la rilevazione dei possibili contaminanti, come per esempio:

- aria : misura alfa totale, misura beta totale, spettrometria gamma, spettrometria alfa, Sr-90;
- acqua : misura alfa totale, misura beta totale, spettrometria gamma, spettrometria alfa;
- latte : spettrometria gamma, Sr-90;
- sedimento : spettrometria gamma, spettrometria alfa;
- terreno : spettrometria gamma, spettrometria alfa;
- vegetali : misura alfa totale, misura beta totale, spettrometria gamma, spettrometria alfa, Sr-90.

L'attività comporta la gestione di oltre 2000 campioni ambientali e/o alimentari sottoposti ad oltre 3000 misure in un anno.

Il monitoraggio continuo del particolato atmosferico, in particolare, richiede misure di spettrometria gamma ogni 2 ore (per una misura "istantanea" della radioattività presente e dell'andamento del fondo ambientale), giornaliere e settimanali.

I risultati delle misure sono raccolti nel volume "Annuario dei dati radiometrici ambientali per il sito nucleare CR Casaccia", consegnato con frequenza annuale alla Direzione Casaccia in occasione dell'invio del Rapporto di Sorveglianza Ambientale.

3. Conclusioni

L'attività di sorveglianza ambientale svolta da oltre 30 anni intorno al sito del CR casaccia comporta attività di campionamento e di laboratorio molto intense e numerose. I dati del monitoraggio effettuato, conservati presso l'Istituto di Radioprotezione, costituiscono la documentazione sperimentale dell'impatto dell'esercizio degli impianti e delle installazioni/laboratori del Centro Ricerche ENEA sul territorio circostante.

PRINCIPALI ATTIVITA' DEL LABORATORIO ION IRP SALUGGIA

**Sandro Bortoluzzi, Giuseppe Canuto, Mario Montalto, Mauro Nocente, Dolores Arginelli,
Gianfranco Berton, Sandro Ridone, Maurizio Vegro**

*ENEA – ION - Istituto di Radioprotezione
Saluggia

1. Dosimetria interna indiretta tramite misure su escreti

I controlli analitici sono stati effettuati sui lavoratori professionalmente esposti al rischio di contaminazione interna, in gran parte dipendenti SOGIN ed in misura minore dipendenti ENEA. Nella tabella seguente è riportato il numero di analisi effettuate nel 2005 sugli escreti (urine e feci) per la determinazione del plutonio.

Escreto	Numero totale analisi
Urine	136
Feci	95

Per la messa punto di una nuova metodica di analisi relativa alla determinazione del plutonio nelle feci sono state effettuate numerose prove sperimentali di verifica ed ottimizzazione. Il lavoro sperimentale effettuato può essere tradotto, in termini strettamente numerici, nell'esecuzione di circa quaranta analisi complete. Per la verifica e la messa punto della strumentazione di analisi del laboratorio sono state effettuate, all'inizio delle campagne semestrali, le verifiche delle calibrazioni in efficienza ed in energia dello spettrometro alfa. Sempre all'inizio delle campagne di misura sono state effettuate le misure di fondo delle camerette.

2.1 Dosimetria interna diretta tramite WBC

Nella tabella seguente è riportato il numero delle misure di contaminazione interna effettuate nel 2005 dal laboratorio WBC.

Misure WBC	
Richiedente	Numero di Misure
ENEA	55
Esterni	111
Totale	166

Per la calibrazione mediante fantoccio e la verifica del corretto funzionamento dell'apparecchiatura sono state effettuate 362 misure di cui 148 con sorgenti di calibrazione e 214 misure di fondo.

2.1 Rete di sorveglianza ambientale

Fino alla fine del 2004, l'ENEA ha svolto la sorveglianza ambientale in ottemperanza agli obblighi di legge ed alle prescrizioni tecniche di esercizio dell'impianto EUREX. Dal gennaio 2005 SOGIN provvede in proprio a tale obbligo. Tuttavia, l'Istituto di Radioprotezione cura a tutt'oggi il funzionamento di una Rete di Sorveglianza Ambientale, con lo scopo di vigilare sul territorio circostante il Centro e di salvaguardare la salute della popolazione residente.

La rete di sorveglianza ambientale è basata su un programma che prevede il prelievo periodico di un insieme prestabilito di matrici ambientali. Come riportato nella tabella 2 vengono campionati: con frequenza mensile il latte, l'acqua del fiume Dora Baltea ed il fall-out; con frequenza trimestrale l'acqua di falda; con frequenza semestrale il terreno, l'acqua potabile dell'acquedotto del Monferrato, il limo e sedimenti del fiume Dora Baltea.

Inoltre viene campionato continuamente il particolato atmosferico mediante opportuno dispositivo automatico e con cadenza trimestrale vengono rilevati i ratei di dose assorbita in corrispondenza di dieci postazioni di misura ubicate all'esterno degli impianti nucleari.

Infine nella stagione di maturazione e raccolta viene campionato il mais coltivato nei campi circostanti il sito nucleare.

Nella tabella seguente sono riportati tipo, frequenza e numero delle analisi effettuate nel 2005.

Matrice	N° campioni o stazioni	Tipo di misura	Frequenza di prelievo e misura
	10	Gamma (TLD)	Trimestrale
	1	Reuter Stokes	Continua
Latte vaccino	1 (produttore locale)	Spettro ☐	Mensile
	1 (centrale latte)	Spettro ☐	Settimanale
Cereali	1(Mais)	Spettro ☐	Annuale
	1(Riso)	Spettro ☐	Annuale
Vegetali	1 (Fagioli)	Spettro ☐	Annuale
Terreno	1 (sponda sx fiume Dora Baltea)	Spettro ☐	Semestrale
	1 (sponda dx fiume Dora Baltea)	Spettro ☐	Semestrale
Acqua di falda	1 (interno sito)	Spettro ☐	Trimestrale
	1 (esterno sito)	Spettro ☐	Trimestrale
Acqua potabile	1 (Acquedotto Monferrato)	Spettro ☐	Semestrale
	1 (pozzi sito)	Spettro ☐	Semestrale
Acqua di fiume	1	Spettro ☐	Mensile
Sedimenti	1 (monte del sito)	Spettro ☐	Semestrale
	1 (valle del sito)	Spettro ☐	Semestrale
Aria	1	Spettro ☐	Continua
		Spettro ☐	Trimestrale
Fall-out	1	Spettro ☐	Mensile

In particolare, il piano comprende le consuete misure di spettrometria gamma sull'acqua potabile come previsto nelle richieste della USL locale.

Il tipo e la periodicità dei prelievi sono compatibili con le indicazioni della Comunità Europea per le reti nazionali di monitoraggio della radioattività ambientale. I dati raccolti dall'ENEA potranno dunque essere trasmessi all'APAT che, per il Ministero dell'Ambiente, gestisce la rete italiana di monitoraggio.

Inoltre, su richiesta specifica della Direzione del Centro di Saluggia sono state effettuate due analisi di spettrometria gamma su campioni di acqua potabile preconcentrati su resina a scambio ionico.

Per la calibrazione delle apparecchiature di spettrometria gamma sono state effettuate settimanalmente la misura delle variazioni dei valori di fondo dei pozzetti di misura, la verifica delle calibrazioni in energia ed efficienza dei rivelatori gamma.

LA SORVEGLIANZA DELLA RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE PRESSO IL CENTRO RICERCHE TRISAIA

**Salvatore Zicari, Nicola Silvestri, Stefano Guerra, Eustachio Montemurro, Rosetta Pentivolpe,
Giuseppe Santarcangelo, Sergio Sasso**
ENEA – ION – Istituto di Radioprotezione
Trisaia

1. Premessa

All'interno del Centro Enea della Trisaia ha sede l'Impianto ITREC che in passato aveva lo scopo di sviluppare attività di ricerca nel campo del ritrattamento di combustibile nucleare irraggiato appartenente al ciclo Uranio-Torio [1]. Dopo il 1986 le attività portate avanti hanno riguardato la gestione dei materiali nucleari presenti e dei residui radioattivi. Quest'ultima, in particolare, è stata motivo di ricerca e di significativo sviluppo tecnologico nel settore del condizionamento di alcuni tipi di rifiuti liquidi tramite confinamento in matrici di cemento. Attualmente l'impianto è passato in gestione a SOGIN S.p.a.

2. Le Attività del Laboratorio

In ottemperanza agli obblighi di legge ed alle prescrizioni tecniche di esercizio dell'impianto ITREC è necessario svolgere un programma di monitoraggio della radioattività ambientale, che è stato effettuato, fino al 2004, dall'ENEA che ha svolto annualmente tutte le analisi [2] su matrici ambientali e alimentari (Tabella 1) secondo un protocollo predeterminato e concordato con l'Autorità di vigilanza. Dal gennaio 2005, SOGIN provvede in proprio a tale obbligo. Tuttavia, l'Istituto di Radioprotezione mantiene operativo un servizio di Sorveglianza Ambientale, allo scopo di vigilare sul territorio circostante il centro ricerche.

Tabella 1 Rete di sorveglianza ambientale

Campione	Punti di prelievo	Frequenza	Misura
Particolato Atmosferico	1	giornaliera	□ totale - Spettroscopia. □
Frutta	3	trimestrale	Spettroscopia. □ Sr-90
Ortaggi	4	trimestrale	Spettroscopia. □ Sr-90
Foraggio	2	annuale	Spettroscopia. □ Sr-90
Latte	2	Settimanale/Trimestrale	Spettroscopia. □ Sr-90
Terreno	4	annuale	Spettroscopia. □
Fallout	1	mensile	Spettroscopia. □
Acqua di mare	3	trimestrale	Spettroscopia. □ Sr-90 Th naturale H-3
Acqua potabile	1	Mensile/Trimestrale	Spettroscopia. □- Sr-90
Molluschi	1	annuale	Spettroscopia. □
Pesce	2	trimestrale	Spettroscopia. □
Sedimenti	1	semestrale	Spettroscopia. □
Sabbia	3	semestrale	Spettroscopia. □
Sabbia	13	annuale	Irraggiamento diretto
Limo	10	trimestrale	Spettroscopia. □
Limo	1	annuale	Spettroscopia. □ Pu-239
Acqua di falda	8	trimestrale	□ totale - Spettroscopia. □

Il piano di monitoraggio ambientale svolto da ENEA, ricalca sostanzialmente la rete di sorveglianza originaria di tabella 1 con leggere modifiche nella frequenza di campionamenti e con l'aggiunta di alcuni punti di prelievo. In particolare, sono previsti circa 60 punti di prelievo situati sia all'interno sia all'esterno del Centro.

Per le misure effettuate sulle matrici ambientali e alimentari, si fa riferimento al Manuale operativo per la sorveglianza della Radioattività Ambientale C.R. ENEA di Trisaia [3], [4], [5], [6].

Il tipo e la periodicità dei prelievi sono compatibili con le indicazioni della Comunità Europea per le reti nazionali di monitoraggio della radioattività ambientale. I dati raccolti dall'ENEA potranno dunque essere trasmessi all'APAT che, per il Ministero dell'Ambiente, gestisce la rete italiana di monitoraggio.

In particolare ciò sarà possibile anche grazie alla presenza del Secondo Centro di Coordinamento della Rete Nazionale per il Monitoraggio della Radioattività Ambientale presso ION-IRP a Frascati, realizzato nell'ambito di una vigente convenzione ENEA-APAT.

In questo ambito è in atto una razionalizzazione delle attività di sorveglianza ambientale, che prevede la realizzazione di una rete informatica fra tutti i laboratori IRP e connessione in linea della strumentazione di misura.

Negli ultimi anni, il Laboratorio dell'Istituto di Radioprotezione affianca all'attività di Sorveglianza Ambientale e di dosimetria individuale anche attività di ricerca, sviluppo e qualificazione delle tecniche e delle procedure di monitoraggio e dosimetria delle radiazioni ionizzanti [7]. La partecipazione a recenti campagne di interconfronto nazionali ed internazionali ha confermato l'affidabilità delle prestazioni fornite, in particolare per quanto concerne le misure di Spettrometria α e di Sr-90.

3. Conclusioni

Il Laboratorio dell'Istituto di Radioprotezione del Centro ENEA Trisaia svolge da oltre trent'anni attività radioprotezionistica nel campo della Sorveglianza Ambientale, oltre che della dosimetria individuale, garantendo un servizio con capacità di intervento su un territorio che, attraverso le prossime acquisizioni ed implementazioni di strutture e mezzi, si vuole estendere ben oltre i soli confini regionali.

Tale struttura costituisce per altro un riferimento consolidato per l'intera Italia Meridionale nelle attività di ricerca, sviluppo e qualificazione delle tecniche e delle procedure di monitoraggio e dosimetria delle radiazioni ionizzanti.

[1] Doc. ITREC (86) 207 *Rapporto di Sicurezza dell'Impianto ITREC*.

[2] "Rapporti Annuali sulla Radioattività Ambientale - Sito C.R. Trisaia".

[3] ORTEC Software "Gamma Vision® – 32".

[4] Norma Italiana, *Determinazione dei principali radionuclidi nel latte* UNI 9882.

[5] E. Petagna e al. *Manuale Operativo per la sorveglianza della Radioattività Ambientale C.R. ENEA di Trisaia* (in corso di aggiornamento).

[6] G. Fraschetti, E. Petagna, *Appunti di Radioattività Ambientale, Misure di Radioattività e Dosimetria*; ENEA C.R. Trisaia – Università degli Studi Bari (Corso di Perfezionamento in Radioprotezione).

[7] M.L. Cozzella, R. Pettirossi, E. Petagna, N. Silvestri, S. Zicari, *Performance di differenti sistemi di preconcentrazione nell'analisi di ^{232}Th via ICP-MS in matrici antropiche ed ambientali* Riassunti del Convegno Nazionale di Radioprotezione – "Sanità e Ambiente: Ricerca e Radioprotezione operativa", Verona, 16-18 Settembre 2004, pag.53.

LABORATORI MOBILI PER IL MONITORAGGIO DELLA RADOATTIVITA' AMBIENTALE

Sandro Merolli e Stefano Polenta

ION – Istituto di Radioprotezione

Frascati

1. Introduzione

Nell'ambito di una convenzione ENEA-APAT (terminata il 31/12/2005) è stato realizzato il Secondo Centro di Coordinamento della Rete Nazionale per il Monitoraggio della Radioattività Ambientale presso l'IRP di Frascati.

L'Istituto di Radioprotezione, in particolare ha seguito la realizzazione di laboratori mobili per rilevamenti di radioattività ambientale, utili principalmente per rilevamenti in caso di emergenze radiologiche e/o nucleari. I laboratori mobili sono predisposti per la trasmissione dei dati di misura in tempo reale ai Centri di coordinamento la propria posizione sul territorio ed i risultati dei rilevamenti dei livelli di radioattività ambientale. Inoltre, il sistema informatico di gestione e trasmissione dati è stato utilizzato anche per la realizzazione una rete informatica fra tutti i laboratori IRP distribuiti su 5 centri ENEA.

2. Laboratori mobili

I laboratori sono installati su veicoli, in grado quindi di raggiungere le zone di interesse attraverso le vie di accesso esistenti, e sono dotati degli apparati necessari per la determinazione dei livelli di contaminazione ed esposizione presenti nel territorio posto sotto osservazione, sia con strumentazione radiometrica installata in maniera fissa che con strumentazione portatile destinata agli interventi in campo.

Il primo mezzo approntato, al momento in dotazione al Centro ENEA di Frascati che funge da centro di controllo, ha costituito il prototipo per la verifica delle specifiche di progetto ed il collaudo dell'operatività sul campo. Esso può ospitare una squadra radiometrica composta da un tecnico di fisica sanitaria esperto di strumentazione radiometrica ed addestrato all'utilizzo del software installato e da un tecnico con funzioni di autista in grado di collaborare con il fisico sanitario nell'effettuazione delle misure in campo.

Il mezzo mobile è allestito affinché sia in grado di raggiungere agevolmente la zona dove si è reso necessario l'intervento, permettere il monitoraggio della radioattività ambientale ed il rilevamento di alcuni parametri relativi alla condizioni meteo-climatiche nella zona di interesse e consentire la misura in tempo reale dei livelli di esposizione e l'analisi per la definizione dei livelli di contaminazione radioattiva nell'aria, nell'acqua e nel suolo.

Per quanto attiene la strumentazione installata, essa è costituita da:

- radiometro per misure di dose in aria;
- contaminometro per misure di livelli di contaminazione alfa, beta e gamma;
- spettrometro gamma portatile;
- campionatore d'aria per raccolta del particolato su filtro;
- centralina meteo dotata di sensori per la velocità e direzione del vento e precipitazioni;
- computer per acquisizione e trasmissione dati;
- sistema satellitare GPS;
- sistema GSM o GPRS per il trasferimento dati al centro di controllo.

Per il centro ENEA di Saluggia un mezzo, con caratteristiche identiche, è già stato completato ed un secondo è in via di completamento, mentre sono in fase di acquisizione i veicoli per l'assemblaggio dei laboratori mobili per i centri di Casaccia e Trisaia.

3. Conclusioni

La realizzazione e la gestione di laboratori mobili per il monitoraggio della radioattività ambientale, va nella direzione del più ampio obiettivo dell'Istituto di Radioprotezione, di costituire un unico sistema in grado di offrire la più ampia capacità d'intervento basandosi sull'esperienza dell'ENEA in ambito nucleare.

Infatti, si sta valutando l'opportunità di una modifica ed integrazione della dotazione dei mezzi mobili che consenta di estendere la capacità di intervento anche al monitoraggio della contaminazione interna nell'eventualità che, a seguito di incidenti od atti ostili con coinvolgimento della popolazione, si presentasse la necessità di uno screening di massa per una valutazione rapida del rischio (es. attacchi terroristici).

ELENCO DEGLI AUTORI

Amendola	Roberto	CR - Casaccia	roberto.amendola@casaccia.enea.it	p.	15
Andreocci	Leila	CR - Casaccia	leila.andreocci@casaccia.enea.it	p.	30
Arginelli	Dolores	CR - Saluggia	dolores.arginelli@saluggia.enea.it	p.	52
Baldassarre	Giovanni	CR - Bologna	giovanni.baldassarre@bologna.enea.it	p.	45
Barberis	Enrico	CR - Casaccia	Laureando Università di Torino	p.	16
Basso	Emiliano	CR - Casaccia	emiliano.basso@casaccia.enea.it	p.	17, 32, 33, 34
Basta	Mario	CR - Saluggia	mario.basta@saluggia.enea.it	p.	18
Battisti	Paolo	CR - Bologna	paolo.battisti@bologna.enea.it	p.	19, 21, 30, 40, 48
Bazzarri	Sandro	CR - Casaccia	sandro.bazzarri@casaccia.enea.it	p.	30, 48
Berton	Gianfranco	CR - Saluggia	gianfranco.berton@saluggia.enea.it	p.	48, 52
Bonarelli	Teresa	CR - Bologna	teresa.bonarelli@bolona.enea.it	p.	45
Bortoluzzi	Sandro	CR - Saluggia	sandro.bortoluzzi@saluggia.enea.it	p.	16, 23, 24, 52
Calamosca	Massimo	CR - Bologna	massimo.calamosca@bologna.enea.it	p.	25, 26, 47
Canuto	Giuseppe	CR - Saluggia	giuseppe.canuto@saluggia.enea.it	p.	16, 24, 48, 52
Castellani	Carlo Maria	CR - Bologna	carlomaria.castellani@bologna.enea.it	p.	7, 8
Coniglio	Angela	CR - Frascati	angela.coniglio@frascati.enea.it	p.	39
Cozzella	Maria Letizia	CR - Casaccia	letizia.cozzella@casaccia.enea.it	p.	27, 33, 34, 40, 48, 50
Deshpande	Trivikram	Goa University (India)	Borsista ENEA - RELINT	p.	32
D'Innocenzo	Fabrizio	CR - Casaccia	fabrizio.dinnocenzo@casaccia.enea.it	p.	48
De Stefano	Vincenzo	CR - Casaccia	vincenzo.destefano@casaccia.enea.it	p.	48
Di Marco	Ivana	CR - Casaccia	ivana.dimarco@casaccia.enea.it	p.	48
Di Marco	Nadia	CR - Casaccia	nadia.dimarco@casaccia.enea.it	p.	51
Falangi	Giorgio	CR - Bologna	giorgio.falangi@bologna.enea.it	p.	45
Fantuzzi	Elena	CR - Bologna	elena.fantuzzi@bologna.enea.it	p.	VII, 3, 38
Ferrari	Paolo	CR - Bologna	paolo.ferrari@bologna.enea.it	p.	28, 29, 35
Gianquitto	Giovanni	CR - Casaccia	giovanni.gianquitto@casaccia.enea.it	p.	51
Giardina	Isabella	CR - Casaccia	isabella.giardina@casaccia.enea.it	p.	30
Giovanetti	Anna	CR - Casaccia	anna.giovanetti@casaccia.enea.it	p.	17, 32, 33, 34
Gualdrini	Gianfranco	CR - Bologna	gianfranco.gualdrini@bologna.enea.it	p.	9, 28, 29, 35
Guerra	Stefano	CR - Trisaia	stefano.guerra@trisaia.enea.it	p.	48, 54
Luciani	Andrea	CR - Bologna	andrea.luciani@bologna.enea.it	p.	8, 10, 11, 36
Mancini	Liliana	CR - Casaccia	liliana.mancini@casaccia.enea.it	p.	30, 48
Manzotti	Alberto	CR - Casaccia	alberto.manzotti@casaccia.enea.it	p.	51
Mariotti	Francesca	CR - Bologna	francesca.mariotti@bologna.enea.it	p.	37
Montalto	Mario	CR - Saluggia	mario.montalto@saluggia.enea.it	p.	16, 23, 24, 48, 52
Montemurro	Eustachio	CR - Trisaia	montemurro.@trisaia.enea.it	p.	54
Monteventi	Fabio	CR - Bologna	fabio.monteventi@bologna.enea.it	p.	37
Merolli	Sandro	CR - Frascati	sandro.merolli@frascati.enea.it	p.	56
Morelli	Bruna	CR - Bologna	bruna.morelli@bologna.enea.it	p.	38, 45
Morelli	Giulio	CR - Casaccia	giulio.morelli@casaccia.enea.it	p.	48
Ninova	Petia	Bulgarian Academy of Sciences	borsista ENEA - RELINT	p.	17, 32, 33, 34
Nocente	Mauro	CR - Saluggia	mauro.nocente@saluggia.enea.it	p.	16, 23, 24, 52
Pentivolpe	Rosetta	CR - Trisaia	rosetta.pentivolpe@trisaia.enea.it	p.	48, 54
Penzo	Silvia	CR - Bologna	silvia.penzo@bologna.enea.it	p.	25, 26, 47
Petirossi	Roberto	CR - Casaccia	roberto.pettirossi@casaccia.enea.it	p.	27
Pillon	Mario	CR - Frascati	mario.pillon@frascati.enea.it	p.	39
Piras	Elena	CR - Casaccia	elena.piras@casaccia.enea.it	p.	15
Pittera	Salvatore	CR - Bologna	Borsista	p.	38
Polenta	Stefano	CR - Frascati	stefano.polenta@frascati.enea.it	p.	56
Ranucci	Francesco	CR - Casaccia	francesco.ranucci@casaccia.enea.it	p.	51
Ridone	Sandro	CR - Saluggia	sandro.ridone@saluggia.enea.it	p.	52
Sandri	Sandro	CR - Frascati	sandro.sandri@frascati.enea.it	p.	39
Santarcangelo	Giuseppe	CR - Trisaia	giuseppe.santarcangelo@trisaia.enea.it	p.	54
Sasso	Sergio	CR - Trisaia	sergio.sasso@trisaia.enea.it	p.	54
Silvestri	Nicola	CR - Trisaia	nicola.silvestri@trisaia.enea.it	p.	40, 48, 54
Soldano	Elvio	CR - Casaccia	elvio.soldano@casaccia.enea.it	p.	51
Stefanoni	Roberto	CR - Casaccia	roberto.stefanoni@casaccia.enea.it	p.	51
Uleri	Giancarlo	CR - Bologna	giancarlo.uleri@bologna.enea.it	p.	45
Vegro	Maurizio	CR - Saluggia	maurizio.vegro@saluggia.enea.it	p.	48, 52
Zicari	Salvatore	CR - Trisaia	salvatore.zicari@trisaia.enea.it	p.	40, 48, 54

APPENDICE:

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

Roberto Amendola

- Responsabile del Work Package 11311-X2 (*In vivo identification of t.m.b.*), Progetto Integrato MOMA (Molecular to Mammalian) dell'ASI (Agenzia Spaziale Italiana)
- Co-estensore dello Studio di fattibilità del Progetto Radiazione Cosmica e Radiobiologia dell'ASI (Agenzia Spaziale Italiana)
- Membro della Commissione Brevetti dell'ENEA.

Dolores Arginelli

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

Mario Basta

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

Paolo Battisti

- Membro del direttivo **AIRP** – Associazione Italiana di Radioprotezione 2003-2006
- Membro permanente della Sottocommissione 1 "*Terminologia nucleare*" della UNI/CEN (Commissione UNI Energia Nucleare).
- Corresponding member del Work Plan 5 coordinates research work on assessment and evaluation of internal exposures: per il Task 5.4
- Rappresentante ENEA presso il Comitato Operativo della Protezione Civile.

Sandro Bazzarri

- Membro **PROCORAD** (Association pour la Promotion du Controle de Qualité 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

Carlo Maria Castellani

- Corresponding member del Task Group **INDOS** (Internal Dosimetry) del Committee 2 (C2) dell'ICRP
- Co-Responsabile del Task 5.1 (*Assessment of Internal exposures: uncertainty study and guidelines*) del WP5 Internal Dosimetry European Union funded Project **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).
- Associate Member **EURADOS** –European Dosimetry Group.

Maria Letizia Cozzella

- Collabora con l'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 fetida*
- Coordinatrice del Gruppo di Lavoro 29: *Metodi non radiometrici per la determinazione di radionuclidi a vita lunga* UNI / CEN / Sc4.
- Membro **PROCORAD** (Association pour la Promotion du Controle de Qualité des Analyses de Biologie Medicale en Radiotoxicologie).

Elena Fantuzzi

- Membro del Council dell' **EURADOS** (EUropean RADiation DOSimetry Group)
- Membro del Working Group (WG2) dell'EURADOS "Harmonisation In Individual Monitoring".
- Membro **ICRU** (International commission on Radiation Units) Report Committee "Measurement Quality Assurance for Ionizing Radiation Dosimetry"
- Membro permanente gruppo di lavoro WG19: Passive dosimeters 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 Dosimetro**
- 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 l' 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 fetida*
- Collabora con l'Università di Tor Vergata (Roma) per una ricerca sul bystander effect : *Radiation-induced bystander effect*

Gianfranco Gualdrini

- Chairman del Work Plan 4 *Computational Dosimetry* European Union funded project **CONRAD A Coordinated Network for Radiation Dosimetry**
- Associate member **EURADOS** – Europead Dosimetry Group
- Membro dell'Editorial Board della rivista **Radiation Measurements**
- Membro dell'Editorial Board della rivista **Radiation Protection Dosimetry**
- Segretario della Commissione per la convenzione ENEA-Università di Bologna per il sito di Montecuccolino.
- E' partecipante esterno per il biennio 2005 –2007 al progetto INFN **DIREMO** *Dosimetry of Incorporated Radionuclides: Experimental and MOdelling techniques*
- Nel 2005 è stato membro del comitato scientifico del Convegno Nazionale AIRP – Associazione Italiana di Radioprotezione 2005 a Catania

Andrea Luciani

- Membro permanente del Working Group 13 : *Performance requirements for internal dose evaluation of bioassay results ISO / TC 85* (Nuclear Energy) / SC2 (Radiation Protection)
- Membro permanente del Gruppo di Lavoro 24: *Metodi di misura della contaminazione interna da radionuclidi UNI / CEN / Sc2* (Radiation Protection)
- Corresponding member del Work Plan 5 coordinates research work on assessment and evaluation of internal exposures: per il Task 5.1 *Assessment of internal exposures: uncertainties study and guidelines* e per il Task 5.2 *Research studies on biokinetic models* European Union funded project **CONRAD A Coordinated Network for Radiation Dosimetry**
- Contractor and Steering Committee member di **ENETRAP** *European Network on Education and Training in Radiological Protection*
- E' partecipante esterno per il biennio 2005 –2007 al progetto INFN **DIREMO** *Dosimetry of Incorporated Radionuclides: Experimental and MOdelling techniques*

Liliana Mancini

- Membro **PROCORAD** (Association pour la Promotion du Controle de Qualité 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).

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 2003-2006
- Corresponding member del Work Plan 6 Complex mixed radiation field at workplaces **CONRAD** *A Coordinated Network for Radiation Dosimetry*
- E' principal investigator dal 1992 nel progetto **ITER** per sviluppi e analisi di radioprotezione nel campo della fusione nucleare, con assegnazione task Euratom
- Nel 2005 è stato Segretario scientifico del Convegno Nazionale AIRP – Associazione Italiana di Radioprotezione 2005 a Catania

Nicola Silvestri

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

Salvatore Zicari

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

