

Istituto di Radioprotezione Anno 2009

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

ENEA RTI -IRP (2010) 4

Lo scopo del presente documento è 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 contributi illustrativi delle attività e delle risorse disponibili. Alcuni contributi specifici riassumono, nel formato di "extended abstract", i contenuti salienti e i risultati ottenuti nelle linee di ricerca, sviluppo e qualificazione che hanno caratterizzato l'attività dell'Istituto nel corso del 2009.

Nella sezione dedicata ai servizi tecnici avanzati sono riportate le schede tecniche descrittive dei sistemi di misura per la dosimetria individuale e ambientale, per la misurazione della concentrazione di radionuclidi naturali e la misura dell'attività e le schede degli impianti di taratura per la strumentazione di radioprotezione.

INDICE

INDICE	5
L'ISTITUTO DI RADIOPROTEZIONE: RISORSE E ATTIVITÀ	7
L'ISTITUTO DI RADIOPROTEZIONE	9
RICERCA E SVILUPPO PRESSO L'ISTITUTO DI RADIOPROTEZIONE	12
SORVEGLIANZA FISICA DI RADIOPROTEZIONE E VALUTAZIONI DI SICUREZZA RADIOLOGICA	16
MISURE DI RADIOATTIVITÀ	22
PARTECIPAZIONE A INTERCONFRONTI DOSIMETRICI INTERNAZIONALI	29
INTERCONFRONTO EURADOS 2009 PER DOSIMETRI PER ESTREMITÀ'	31
INTERCONFRONTO PROCORAD 2009	32
INTERCONFRONTO INTERNAZIONALE SUI RIVELATORI PASSIVI DI RADON PRESSO L'HEALTH PROTECTION ASSOCIATION (UK)	34
INTERCONFRONTO INTERNAZIONALE SULLA DETERMINAZIONE DI RADIONUCLIDI NATURALI IN FOSFOGESSO E ACQUA	35
PARTECIPAZIONE A PROGETTI EUROPEI E AD INIZIATIVE INTERNAZIONALI	37
COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI E PARTECIPAZIONE A PROGETTI EUROPEI	39
IL RUOLO DI IRP IN EURADOS	41
ORAMED WORK PACKAGE 1	45
ORAMED WORK PACKAGE 2	46
ORAMED WORK PACKAGE 4	47
IL PROGETTO EU-TRIMER	48
EURADOS/IAEA ADVANCED TRAINING COURSE SULLA DOSIMETRIA INTERNA	49
I LABORATORI E LE ATTIVITÀ DI IRP NEI CENTRI DI RICERCA DELL'ENEA	51
ATTIVITÀ E RICERCHE SPECIFICHE DEL PERSONALE IRP PRESSO IL CR ENEA DI BOLOGNA- MONTECUCCOLINO	53
ATTIVITÀ E RICERCHE SPECIFICHE DEL PERSONALE IRP PRESSO IL CR ENEA DELLA CASACCIA	56
ATTIVITÀ E RICERCHE SPECIFICHE DEL PERSONALE IRP PRESSO IL CR ENEA DI FRASCATI	59
ATTIVITÀ E RICERCHE SPECIFICHE DEL PERSONALE IRP PRESSO IL CR ENEA DI SALUGGIA	62
ATTIVITÀ E RICERCHE SPECIFICHE DEL PERSONALE IRP PRESSO IL CR ENEA DI TRISAIA	64
ALCUNI CONTRIBUTI SIGNIFICATIVI NELLE ATTIVITÀ DI RICERCA, SVILUPPO E QUALIFICAZIONE IN RADIOPROTEZIONE	67
MODELLI ANTROPOMORFI PER STUDI DOSIMETRICI	69
ATTIVITÀ' DI RICERCA E SVILUPPO DEL GRUPPO RADON/NORM	72

CARATTERIZZAZIONE DELLA RISPOSTA DIRETTA E INDIRETTA (BYSTANDER, INSTABILITÀ GENOMICA, RISPOSTA ADATTATIVA) INDOTTA DALL'ESPOSIZIONE A BASSE DOSI DI RADIAZIONI IONIZZANTI ED EFFETTI DEL TRATTAMENTO CON ANTIOSSIDANTI.....	75
STUDI DI OTTIMIZZAZIONE PER IL CALCOLO DELLA DOSE NELLA RADIOTERAPIA METABOLICA CON [¹⁵³ Sm] SM –EDTMP E ¹³¹ I IN MEDICINA NUCLEARE	78
SVILUPPO DELLE METODICHE PER LA SICUREZZA RADIOLOGICA PRESSO IMPIANTI PER FUSIONE NUCLEARE	81
QUALIFICAZIONE IN DOSIMETRIA ESTERNA: IL SISTEMA QUALITÀ DEL SERVIZIO DOSIMETRICO ENEA IRP.....	83
FORMAZIONE E GESTIONE DELL'EMERGENZA NUCLEARE NEL CENTRO DI RICERCHE ENEA DELLA CASACCIA	86
FORMAZIONE PROFESSIONALE IN RADIOPROTEZIONE.....	89
TIROCINIO PER ASPIRANTI ESPERTI QUALIFICATI.....	91
SERVIZI TECNICI AVANZATI E SCHEDE DESCRITTIVE DEI SISTEMI DI MISURA E DEGLI IMPIANTI	95
SERVIZI TECNICI AVANZATI	97
SERVIZIO DI DOSIMETRIA ESTERNA.....	100
SERVIZIO DI VALUTAZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DI RADON	105
CENTRO DI TARATURA PER LE RADIAZIONI IONIZZANTI.....	107
ELENCO DEL PERSONALE SUDDIVISO PER CENTRI.....	115

L'Istituto di Radioprotezione: risorse e attività

L'ISTITUTO DI RADIOPROTEZIONE

Elena Fantuzzi

1. Premessa

L'Istituto di Radioprotezione raggruppa in sé tutte le attività di radioprotezione svolte in ENEA. Il ruolo dell'Istituto di Radioprotezione in ENEA ha quindi la caratteristica di *trasversalità*, anche rispetto a obiettivi strategici esistenti o in divenire.

Alla fine del 2009 l'Istituto poteva disporre di 57 dipendenti tra ricercatori, esperti di radioprotezione e tecnici specializzati, oltre a 3 assegnisti di ricerca, in 5 Centri ENEA: 17 a Bologna, 21 in Casaccia, 7 a Frascati, 8 a Saluggia e 4 in Trisaia.

Le attività svolte rispondono ad esigenze di radioprotezione in ENEA, in ottemperanza alla normativa nazionale vigente, il D.Lgs. 230/95 s.m.i. che costituisce la attuazione nazionale delle Direttive Europee EURATOM.

Alle attività "istituzionali" si affianca un costante impegno sul versante della ricerca e della qualificazione, fondamentale per poter mantenere servizi di radioprotezione e di dosimetria adeguati e idonei ad affrontare le attuali necessità e le nuove problematiche.

Lo stato della radioprotezione dell'ENEA, è corrispondente allo stato dell'arte europeo, grazie anche alle attività di continuo aggiornamento e sviluppo ed al costante rapporto e confronto con la realtà europea e internazionale tramite la partecipazione dei suoi ricercatori ed esperti a commissioni scientifiche (ICRP- International Commission for Radiological Protection and ICRU- International Commission for Radiation Units task groups, IAEA committees,) ed ad enti di normazione e standardizzazione internazionali e nazionali (ISO, IEC, UNI). Inoltre, IRP è *Voting member* di EURADOS (EUropean RAdiation DOSimetry association, <http://www.eurados.org>), e ciò permette un elevato posizionamento strategico nelle attività di dosimetria e di radioprotezione svolte dai principali Istituti di ricerca europei.

2. Attività

Considerata anche la distribuzione geografica delle risorse in vari centri ENEA, nel 2008 sono stati introdotti 3 *coordinamenti funzionali* rispettivamente per le 3 linee principali di attività:

- a) ricerca e sviluppo
- b) sorveglianza fisica di radioprotezione e valutazioni di sicurezza radiologica
- c) misure di radioattività, dosimetria e taratura strumentazione

L'attività di *ricerca e sviluppo* si fonda su una serie di competenze tecnico-scientifiche che spaziano dalla biologia, alla chimica e alla fisica delle radiazioni, ed è rivolta prevalentemente allo sviluppo di tecniche dosimetriche, allo studio di metodologie di valutazione della dose, alle misure di radionuclidi in aria e valutazioni dosimetriche da inalazione, allo studio delle curve di rischio dose-effetto alle basse dosi, con analisi di biologia molecolare, alle valutazioni di sicurezza su impianti con presenza di rischi da radiazioni ionizzanti. Tutte le attività di ricerca si avvalgono della competenza di dosimetria numerica (che in IRP sono presenti tradizionalmente e costantemente aggiornate al livello internazionale) che, con l'ausilio delle tecniche Monte Carlo di trasporto delle radiazioni nella materia, permettono valutazioni dosimetriche spesso impossibili sperimentalmente.

L'attività istituzionale di *sorveglianza fisica di radioprotezione*, che IRP svolge *ex lege* (D.Lgs 230/95 s.m.i.) per le esigenze di tutti i Dipartimenti dell'ENEA, riguarda 2 impianti nucleari e le pratiche di categoria A e B dei circa 50 laboratori che sono distribuiti nei 9 Centri di ricerca dell'ente. Il programma di *sorveglianza fisica di radioprotezione* richiede specifiche azioni di monitoraggio ambientale ed individuale dei

lavoratori esposti (in ENEA sono oltre 400) e la misura delle esposizioni alle radiazioni negli ambienti di lavoro. L'attività comprende anche la funzione di Esperto Qualificato per i vari impianti e laboratori ENEA e la formazione dei lavoratori esposti in radioprotezione.

Inoltre, l'Istituto di Radioprotezione fornisce assistenza alla Direzione dell'Ente per la formulazione di procedure di radioprotezione, documentazione tecnica, in ottemperanza ai protocolli di sicurezza nucleare vigenti (EURATOM), nonché per le istanze di autorizzazione a pratiche comportanti rischi da radiazioni ionizzanti.

Infine, prevalentemente con le competenze della sede di Frascati, IRP collabora con le unità del dipartimento FPN dedicate alla ricerca sulla fusione nucleare, e fornisce valutazioni di radioprotezione e sicurezza radiologica per gli impianti impiegati, oltre che la consulenza e la redazione dei documenti autorizzativi necessari per l'esercizio degli stessi. Tali valutazioni comprendono sia l'esposizione degli operatori sia l'impatto ambientale di tipo "radiologico" in caso di rilasci radioattivi.

La attività di *misura della radioattività, di dosimetria delle radiazioni ionizzanti e di taratura della strumentazione* utilizzata nella pratica di radioprotezione permette di effettuare tutte le misure radiometriche e dosimetriche necessarie per l'attuazione della sorveglianza fisica di radioprotezione sopra elencate. Le attività di routine sono supportate costantemente dalle attività di studio e ricerca, modellazioni *ad hoc*, verifiche ed interconfronti, poiché uno degli obiettivi programmatici principali è il costante aggiornamento delle tecniche di misura delle radiazioni ionizzanti in analogia agli standard europei ed internazionali. Le tecniche di misura della radioattività e dosimetria sviluppate per esigenze interne all'Ente sono anche oggetto di fornitura di servizi tecnici di elevata specializzazione per il Sistema Paese sulla base di tariffe ENEA prestabilite. Al momento sono fornite oltre 40 tipologie di misure su campioni ambientali o assimilabili e 25 tipologie di misure di contaminazione interna per i principali radionuclidi, 10 dosimetri per personali e/o ambientali. Gli Utenti sono oltre 400 fra PPAA, aziende private, industrie e altri Enti di ricerca nazionali.

3. Risorse strumentali e loro qualificazione

Le infrastrutture, gli impianti sperimentali e le competenze operanti presso l'Istituto di radioprotezione sono unici in Italia per completezza e qualità. L'Istituto è infatti dotato di laboratori ben attrezzati (alcuni all'avanguardia), con diverse potenzialità e distribuiti nelle varie sedi di Bologna, Casaccia, Frascati, Saluggia e Trisaia.

A *Bologna*, nella sede di Montecuccolino, vi sono i laboratori per dosimetria personale esterna, il laboratorio per la misura della *concentrazione di radon gas* accompagnato dal laboratorio NORM (Naturally Occurring Radioactive Material), un Whole Body Counter (WBC) per la misura diretta di contaminazione interna, centro di metrologia per radiazioni ionizzanti (con le caratteristiche di un Centro Secondario di taratura SIT per fotoni, radiazione beta e neutroni).

Nei centri di *Casaccia, Saluggia e Trisaia* sono presenti i laboratori che svolgono attività di misura della radioattività ambientale e di dosimetria interna (tramite misura diretta ed indiretta con WBC e misure di radiotossicologia su campioni biologici) con diverse potenzialità e caratteristiche. I laboratori sono dotati di tutte le attrezzature 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.

Nei laboratori di *Frascati* è invece possibile effettuare misure di radon in acqua, misure a termoluminescenza e di spettrometria gamma e di trizio, e sono inoltre disponibili dispositivi di calcolo e competenze specificatamente dedicate a valutazioni di sicurezza radiologica, prevalentemente per gli impianti ed acceleratori di ricerca per la fusione nucleare.

IRP partecipa regolarmente a tutte le iniziative di interconfronto e/o test di verifica per le misure di dosimetria e di radioattività organizzate da istituzionali nazionali e internazionali a cadenze regolari e non regolari.

In particolare ogni anno:

- per la *sorveglianza ambientale*, partecipa con i laboratory di Casaccia, saluggia e Trisaia ai test di interconfronti organizzati dalla IAEA per i laboratori della rete ALMERA, nell'ambito della quale I laboratory membri possono essere cooptati per la effettuazione di misure in caso di incidenti radiologici transfrontalieri o di altra natura;
- per la *dosimetria interna* partecipa ai test di interconfronto internazionale organizzati dalla PROCORAD (società francese per la qualificazione delle misure, <http://www.procorad.org>);
- per la *misura di concentrazione di radon gas* in aria all'interconfronto internazionale organizzato dall'agenzia inglese HPA (Health Physics Agency);
- per la *dosimetria esterna* ai performance Test organizzati da EURADOS (regolarmente dal 2008), IAEA, US-DOE, etc. e alter organizzazioni

Oltre alla disponibilità dei laboratori, va menzionata anche l'elevata competenza dell'Istituto, prevalentemente concentrata nel sede di *Bologna*, nel campo della simulazione Monte Carlo del trasporto delle radiazioni e delle applicazioni di dosimetria numerica, indispensabili nel campo della radioprotezione.

4. La radioprotezione per il sistema Paese

L'utilizzo delle radiazioni ionizzanti è ormai diffuso nelle più disparate applicazioni tecnologiche e non solo legate alla produzione di energia. Ne consegue che le competenze di radioprotezione sono utili per le risposte alle esigenze quotidiane nel campo della ricerca, delle applicazioni sanitarie e tecnologiche a livello nazionale ed internazionale.

L'insieme di competenze, di risorse strumentali e di prestazioni tecniche rendono l'Istituto di Radioprotezione una realtà di risorse, certamente unica in Italia per completezza, multi-disciplinarietà e capacità di rispondere alle nuove esigenze.

Nel corso degli anni, il mantenimento e lo sviluppo delle competenze di radioprotezione in ENEA ha permesso di ottenere ottimi risultati scientifici ed a fornire valutazioni di sicurezza radiologica sia per esigenze interne all'Ente, che per il sistema Paese.

Le potenzialità di IRP rappresentano una opportunità per potenziare il ruolo istituzionale di ENEA nel campo della radioprotezione in particolare, ma non solo, in vista del "rilancio" del nucleare nel paese. Per esempio, un importante contributo di IRP è certamente posizionabile nell'ambito dei piani nazionali di smantellamento di tutti gli impianti e siti italiani, attualmente di competenza di SOGIN, che comporteranno rischi di esposizione radioattiva dei lavoratori addetti, in particolare di contaminazione interna, molto maggiori rispetto ai rischi presenti in passato nella fase di esercizio degli impianti e dal 1987 durante la fase di "tenuta in sicurezza" degli impianti stessi.

Inoltre IRP può avere un ruolo importante per la formazione degli addetti di radioprotezione nelle future centrali italiane.

RICERCA E SVILUPPO PRESSO L'ISTITUTO DI RADIOPROTEZIONE

A cura di Gianfranco Gualdrini

1. Premessa

Dalla presentazione complessiva dei compiti istituzionali e delle conseguenti attività svolte presso l'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA, risulta chiaro che questa Unità tecnico-scientifica riesce a coprire un largo spettro di problematiche legate alla radioprotezione ed alle dosimetrie associate, pur disponendo di un dimensionamento in termini di risorse uomo piuttosto limitato e frammentato nei cinque principali Centri di Ricerca dell'ENEA. Pur non essendo proponibile un confronto con le potenzialità presentate da analoghi Istituti esteri (ad es. IRSN francese, peraltro collocato in un paese di ben diverse ambizioni nel campo dell'impiego pacifico dell'energia nucleare o l'HPA inglese, già NRPB) occorre porre in evidenza le competenze e le specificità nel panorama italiano di questa struttura. .

In questo quadro è necessario evidenziare come venga dedicata ugualmente una significativa attenzione, con conseguente impiego di risorse umane, allo studio, la ricerca e gli sviluppi di tecniche spesso particolarmente complesse, che concorrono a creare una offerta di un pacchetto di esperienze considerevoli in campo nazionale ed anche internazionale. E' il caso di sottolineare come si tratti sempre di tematiche di ricerca applicata, tradizionalmente non molto valutata in ambito italiano (che preferisce la speculazione teorica, a causa di una storica deformazione culturale, il "vil meccanico" di manzoniana memoria), mentre, di contro, all'estero essa è particolarmente considerata e promossa. L'Istituto di Radioprotezione nei vari ambiti di ricerca che conduce, mai slegata dalle esigenze operative, è spesso presente in ambiti importanti dove è chiamato anche a svolgere compiti di coordinamento di attività di punta (ad es. in EURADOS) che vedono coinvolti ricercatori dai maggiori istituti europei.

A grandi linee è possibile individuare alcuni principali filoni delle ricerche IRP:

- 1-Studi di radiobiologia in regime di basse dosi
- 2-Studi di modelli biocinetici di radiofarmaci in ambito medico
- 3-Studi di modelli biocinetici in presenza somministrazione di chelanti
- 4- Misure di radioattività con particolare riferimento a situazioni di incidente
- 5- Ottimizzazione delle procedure e messa a punto di sistemi innovativi di rivelazione di Radon e Thoron
- 6- Sviluppo di metodiche per la sicurezza radiologica presso impianti per fusione nucleare
- 7- Modellistica numerica Monte Carlo per valutazioni di dose nell'uomo

2. Studi di radiobiologia in regime di basse dosi

E' noto che il dominio delle basse dosi, tipico delle esposizioni occupazionali, non è stato e non viene tuttora investigato per obiettiva impossibilità di osservare effetti indotti da tali bassi livelli di radiazione, scorporandoli da altri fattori che concorrono ad esempio alla insorgenza di tumori. Perciò tutto il sistema di limitazione delle dosi si basa su un assunto cautelativo, l'ipotesi LNT (lineare senza soglia), che sostanzialmente ipotizza un relazione lineare fra dose ed effetto ed una assenza di soglia.

Studi a valori di circa 0.1 Gy condotti presso IRP del Centro ricerche Casaccia hanno evidenziato alcuni importanti effetti, quali la risposta adattativi (migliore tolleranza delle radiazioni da parte di tessuti pre-irraggiati), effetto by-stender (influenza delle cellule irraggiate direttamente sulle cellule di un terreno cellulare adiacente ma non irraggiato) e l'evidente importanza dell'uso di antiossidanti nel contrasto agli effetti delle radiazioni.

La tematica delle basse dosi è uno dei campi principali nel quale la Unione Europea sta impegnandosi per il proprio VII Programma Quadro e certamente costituisce una sfida particolarmente impegnativa in una fase della ricerca che vede fra i campi più promettenti le tematiche legate alle biotecnologie, in cui anche la radiobiologia ha significativi

3. Studi di modelli biocinetici di radiofarmaci in ambito medico

In particolare presso IRP Saluggia da alcuni anni sono state intraprese collaborazioni con le Aziende ospedaliere del Piemonte per trasferire all'ambito medico competenze maturate nel campo della biocinetica dei radionuclidi incorporati. In particolare sono stati svolti studi sulla cinetica del samario, impiegato nelle terapie palliative delle metastasi ossee e del radioiodio somministrato in condizioni di ablazione totale o parziale di tiroide. Mentre finora si era sempre ragionato in termini di un dosaggio fisso somministrato per kg di tessuto da trattare, è stato possibile attraverso ricerche mirate più dipendenti dal soggetto trattato, ottimizzare il trattamento. L'attività costituisce una dimostrazione di come competenze sviluppate per la radioprotezione possano essere trasferite utilmente a campi affini, come quello medico

4. Studi di modelli biocinetici in presenza somministrazione di chelanti

Durante il progetto CONRAD un gruppo di lavoro specifico dedicato allo studio e alla qualificazione dei modelli biocinetici è stato stabilito all'interno del Work Package 5 di dosimetria interna. Ai lavori del gruppo hanno preso parte fra gli altri due ricercatori di IRP Bologna. Il gruppo di lavoro aveva lo scopo di effettuare il controllo di qualità dei modelli biocinetici proposti per l'affinamento delle conoscenze dei processi di distribuzione dei contaminanti nell'uomo. Questo anche a supporto delle attività di calcolo dosimetrico interne al Comitato 2 della ICRP.

All'interno delle attività di tale gruppo si è sentita l'esigenza di sviluppare un modello biocinetico che descrivesse il meccanismo di decorporazione degli attinidi attraverso la somministrazione dei sali trisodici dell'acido di-etilen-triamminopentacetico, DTPA. L'effetto che infatti viene registrato è un sensibile aumento della escrezione urinaria dei transuranici, plutonio in particolare dopo somministrazioni ripetute del farmaco.

Durante il progetto CONRAD si sono poste le basi di un modello atto a descrivere il processo di chelazione basato sulle più aggiornate modellazioni delle cinetiche del Pu e del DTPA in vivo.

Dalla prima verifica del modello sviluppato a fronte dei dati sperimentali è stato possibile riprodurre l'entità dell'incremento della escrezione urinaria dopo somministrazione di DTPA, ma non l'effetto della ripetizione delle somministrazioni che nel modello non determinano il mantenimento dell'escrezione urinaria, mentre nella realtà permettono di mantenere alta l'escrezione.

Sono quindi ancora aperti diversi problemi che attendono risposta e successiva modellazione: dove si formano i composti Pu-DTPA, se il Pu-DTPA è stabile se effettivamente la cinetica del Pu-DTPA è identica a quella del DTPA free.

Ulteriori e dettagliati studi di casi di contaminazioni umane, con l'ausilio delle risultanze sul modello animale, sono ancora necessari per poter trattare questi problemi.

La ricerca è pertanto ancora in corso, all'interno del Working Group 7 di EURADOS per la fase conoscitiva dei meccanismi di base e la successiva modellazione con la finalità della ottimizzazione dei parametri connessi con la terapia medica di decorporazione.

L'importanza del mantenimento e sviluppo di questa linea di ricerca è legata a diverse ragioni, dal punto di vista medico (ottimizzazione delle quantità e dei tempi di somministrazione del farmaco) e dal punto di vista radioprotezionistico (la corretta valutazione della effettiva introduzione e conseguente stima della dose evitata).

5. Misure di radioattività con particolare riferimento a situazioni di incidente

Nella misura della radioattività è di particolare importanza la qualificazione di tecniche di misura rapide della contaminazione interna (sia in vivo che in vitro) da applicarsi su larga scala in caso di eventi emergenziali. A questo proposito è stata avviata la sperimentazione e la validazione di una metodologia semplificata per la determinazione del ^{226}Ra in campioni di urine nonché di tecniche radiochimiche semplificate per l'analisi in parallelo dei diversi radionuclidi naturali in matrici ambientali. In particolare sedimenti e sabbie, ed è stata avviata la qualificazione di misure di spettrometria gamma in situ della contaminazione radioattiva superficiale dei suoli.

6. Ottimizzazione delle procedure e messa a punto di sistemi innovativi di rivelazione di Radon e Thoron

Da diversi anni IRP, nella sua sede di Bologna, sviluppa metodi innovative ed originali di rivelazione RADON/NORM. Questa attività, che incontra anche un ottimo riscontro di richiesta di intervento da soggetti pubblici e privati, ha avuto inizio con lo sviluppo di un prototipo per la misura del Radon ed i suoi figli, basato su una camera radon di forma conica provvista di un rivelatore CR-39. La risposta della camera e quindi il progetto del dosimetro ambientale corrispondente, si avvale all'inizio del connubio fra una alta capacità di tipo sperimentale e potenzialità di modellazione Monte Carlo che insieme consentirono di sviluppare uno strumento di misura caratterizzato da una risposta particolarmente omogenea sul sensore e quindi particolarmente ripetibile. Attualmente l'interesse di ricerca del gruppo si è spostato sulla misura del thoron, fino ad ora poco o nulla considerato nella pratica corrente seguita nei vari paesi. E' stato sviluppato uno strumento attivo di misurazione del thoron, che viene descritto nella presente pubblicazione in un contributo specifico. Da sottolineare, nel contesto complessivo del lavoro, a riprova del suo rigore, lo studio dettagliato delle incertezze associate alla procedura di misura, valutazione resa necessaria dalla normative internazionale sulla ottimizzazione ed affidabilità della strumentazione di misura e spesso di particolare complessità, se si considerano le diverse distribuzioni statistiche delle incertezze associate ai vari parametric in gioco.

7. Sviluppo di metodiche per la sicurezza radiologica presso impianti per fusione nucleare

Il Centro ENEA Frascati si è sempre tradizionalmente distinto per le attività di ricerca sulla Fusione Nucleare e di conseguenza anche la radioprotezione ha seguito questa linea principale di impegno, intorno all'impianto ITER e partecipando alle attività RFX. In quest'ultimo ambito è in fase di progetto l'impianto NBTF (Neutral Beam Test Facility), in via di realizzazione a Padova e dedicato al processo di accelerazione di neutri, da accoppiare nella macchina ITER.

Nell'ambito dello studio complessivo di sicurezza e quindi anche di radioprotezione, sono stati affrontati problemi piuttosto complessi e individuate soluzioni ad hoc per la riduzione della dose nelle zone di accesso all'impianto, mediante la previsione nel progetto di labirinti a più rami, che sono stati ottimizzati mediante l'impiego di simulazioni Monte Carlo. Tutte queste attività vedono IRP inserito nel contesto complessivo della presenza ENEA a Frascati, con stretti rapporti con le attività sperimentali, ad esempio quelle legate ad FNG (Fast Neutron Generator, una sorgente in grado di produrre una sorgente di neutroni da 14 MeV da reazione d,T) o quelle legate alle attività sugli acceleratori, che vedono operante a Frascati un gruppo leader nel campo.

8. Modellistica numerica Monte Carlo per valutazioni di dose nell'uomo

Con il progresso continuo delle prestazioni delle machine calcolatrici è ora possibile affrontare con l'ausilio di modelli di calcolo anche particolarmente complessi, il trasporto di radiazione e ottimizzare di conseguenza la progettazione di strumentazione, la determinazione di campi in sale di irraggiamento di riferimento o in situazioni operative.

Da molti anni IRP ricorre, a fianco della strumentazione ed ai relativi esperimenti di misura delle radiazioni, a simulazioni Monte Carlo sia di complesse situazioni di irraggiamento, traendo informazioni per le calibrazioni ed il test di tipo di dosimetri individuali e per la caratterizzazione di esperienze di misure in vivo per la dosimetria interna. Più recentemente IRP è riuscito a dotarsi della capacità di sviluppo avanzato di sistemi di costruzione di modelli Voxel (pixel 3-D) in grado di inserire nel modello Monte Carlo schematizzazioni ad alta risoluzione di esseri umani provenienti da TAC e RMN. Tale capacità ha consentito di estendere le capacità di intervento dalla fisica delle radiazioni per radioprotezione alla fisica medica in generale.

E' questa una delle principali ragioni della partecipazione ENEA al progetto europeo ORAMED che si occupa della radioprotezione dello staff medico in disparate applicazioni diagnostiche e terapeutiche, quail la radiologia interventistica e la medicina nucleare. In quest'ambito sono stati simulati alcuni scenari tipici di irraggiamento, ad esempio durante l'applicazione di stent coronarici e durante la manipolazione di siringhe con sorgenti di radiofarmaci in medicina nucleare.

Il progetto e' ancora in corso e terminerà nel febbraio 2011, portando con sè alcuni importanti risultati, particolarmente un importante contatto con gli ambienti delle fisiche sanitarie ospedaliere che spesso si trovano a dover trattare I lavoratori in assoluto più esposti per ragioni occupazionali.

Brevemente è il caso di menzionare l'attività di coordinamento del Gruppo Computational Dosimetry di EURADOS, curato da IRP che sta preparando una serie di iniziative a livello europeo, per stimolare il corretto uso dei modelli Monte Carlo in dosimetria. L'azione non riveste carattere solo formativo ma di vera e propria ricerca in quanto spesso I modelli vengono impiegati in condizioni nelle quali la teoria su cui si basano può perdere validità. Sono già state proposte e sono in via di proposta azioni

a) sulle misure in vivo di attinidi nel polmone, b) sulla progettazione e caratterizzazione dosimetrica di un LINAC, c) sulle tecniche di unfolding per gli spettri neutronici, d) sull'accoppiamento dei dati sperimentali e parametri Monte Carlo nel test di tipo dei dosimetri individuali, e) sulle tecniche di creazione di modelli voxel, f) sul Monte Carlo per micro e nanodosimetria, in cui si tratta la dimensione corrispondente al DNA, g) sulla dosimetria alle alte energie.

9. Conclusioni

IRP sta svolgendo un'azione tesa a mantere gli standard internazionali più qualificati e a fornire contributi di ricerca in un numero significativo anche se ovviamente non onnicomprensivo di campi legati alla dosimetria delle radiazioni. E' molto importante mantenere questi tipi di standard di qualificazione in quanto i servizi che vengono forniti, in assenza di una adeguata attività di ricerca e sviluppo, divengono rapidamente obsoleti. Nello stesso tempo, la trasversalità delle tematiche trattate evita di chiudere IRP in uno stretto campo di interventi puramente settoriali e offre ai giovani ricercatori la possibilità di cimentarsi in campi innovativi di particolare interesse non solo scientifico ma per la società civile nel suo complesso.

SORVEGLIANZA FISICA DI radioprotezione E VALUTAZIONI DI SICUREZZA RADIOLOGICA

A cura di Sandro Sandri

1. Premessa

IONIRP provvede ad effettuare la sorveglianza fisica in ENEA, tramite Esperti Qualificati (EQ), per le attività con esposizione a radiazioni ionizzanti nei Centri di Brindisi, Trisaia, Portici, Frascati, Casaccia, Bologna Montecuccolino, Faenza, Brasimone e Saluggia. Nel 2009 gli EQ incaricati presso i diversi Centri ENEA sono riportati nella tabella seguente:

Bologna (Montecuccolino) e Faenza	C.M. Castellani
Brasimone	A. Luciani e C.M. Castellani (dal 14/10/2009)
Brindisi	S. Sandri
Casaccia	M. Basta, E. Borra, L. Florita, G. Iurlaro, G. Liccione, S. Sandri
Frascati	M. Angelone, S. Polenta, S. Sandri
Portici	S. Sandri
Saluggia	M. Basta
Santa Teresa	E. Borra
Trisaia	G. Liccione

Gli EQ sono coadiuvati dagli addetti alla Radioprotezione Operativa (RPO) nei centri di Casaccia e Frascati e da personale dell'istituto con competenze analoghe negli altri centri. La sorveglianza fisica consta di attività ordinarie o di routine e di interventi straordinari, principalmente conseguenti l'attivazione di nuove pratiche e il rinnovo, la modifica o la dismissione di quelle in essere.

Gli EQ e gli addetti alla radioprotezione sono a disposizione per esigenze di radioprotezione per le esigenze di tutte le Unità dell'ENEA che comprendono: 2 impianti nucleari e pratiche di categoria A e B dei circa 50 laboratori che sono distribuiti nei 9 Centri di ricerca dell'ente. Il programma di *sorveglianza fisica di radioprotezione* richiede specifiche azioni di monitoraggio ambientale ed individuale dei lavoratori esposti (in ENEA sono oltre 400) e la misura delle esposizioni alle radiazioni negli ambienti di lavoro.

2. Attività ordinaria

Nel periodo 2008-09 le attività di sorveglianza fisica di routine (o connesse con questa disciplina) hanno riguardato tutti i Centri citati in premessa e sono state relative ai seguenti aspetti principali:

- Aggiornamento delle Relazioni di Radioprotezione per le pratiche con radiazioni ionizzanti
- Controlli periodici di buona funzionalità dei sistemi di sicurezza e protezione
- Controlli periodici di buona funzionalità dei sistemi di misura radiometrica fissi presso gli impianti e i laboratori
- Interventi periodici di Radioprotezione Operativa per l'effettuazione delle misure negli ambienti controllati
- Valutazioni di dosimetria individuale per i lavoratori soggetti a esposizione esterna
- Valutazioni delle misure di monitoraggio ottenute con WBC e delle analisi di radiotossicologia per i lavoratori potenzialmente soggetti a contaminazione interna

- Monitoraggio degli ambienti di lavoro con sistemi passivi e attivi
- Controlli relativi alle sorgenti radioattive sigillate di “alta attività” a cura dei servizi di RPO
- Gestione della documentazione relativa alle sorgenti radioattive sigillate di “alta attività” in collaborazione con i responsabili designati
- Gestione dell’Archivio Dosimetrico riguardante il personale esposto
- Istituzione e aggiornamento delle schede dosimetriche individuali
- Istituzione e aggiornamento dei libretti personali di radioprotezione (dove necessari)
- Chiusura della documentazione dosimetrica individuale per i lavoratori che hanno cessato l’attività in ENEA
- Valutazioni di dose alla popolazione relativi al monitoraggio di Sorveglianza Ambientale dei siti ENEA.

3. **Attività straordinarie**

Nel periodo 2008-09 sono state svolte attività straordinarie di sorveglianza fisica (o connesse con questa) presso quasi tutti i Centri. Nel seguito sono richiamate le principali azioni straordinarie curate dai diversi esperti qualificati nell’ambito della sorveglianza fisica nel periodo in riferimento. Generalmente le attività straordinarie sono state svolte con il supporto di altro personale IONIRP e in particolare del personale RPO dei diversi centri.

L’Esperto Qualificato Dr. Carlo Maria Castellani, con incarichi presso i Centri ENEA di Bologna Montecuccolino, di Faenza e del Brasimone ha curato in via straordinaria i seguenti interventi:

- Redazione e invio della Comunicazione Preventiva di Pratica per il Laboratorio NORM in Casamatta 1 di Montecuccolino
- Contributo alla redazione della “Nota integrativa al Piano Globale di Disattivazione dell’impianto RB-3” a cura del Direttore di impianto Dr. R. Rosa, per la parte di competenza EQ con elaborazione della analisi incidentale
- Supporto all’EQ incaricato (Dr.ssa G. Iurlaro) nell’intervento di caratterizzazione radiometrica del Laboratorio T-18 presso Casaccia (al fine della declassificazione dello stesso) con misure di esposizione, contaminazione fissa ed effettuazione di smear test sia nel locale laboratorio che nel locale filtri
- Supporto al Direttore di Impianto per il trasferimento dei contenitori di trasporto vuoti e delle resine a scambio ionico ancora presenti presso l’impianto RB3 dal centro di Montecuccolino al Reattore TRIGA di Casaccia e la mappatura gamma ambientale in RB-3 con conseguente dichiarazione di non rilevanza radiologica dell’impianto
- Incontro in Prefettura su “Piano di emergenza per trasporto materie radioattive e fissili nel territorio della provincia di Bologna” e “Piano di intervento per la messa in sicurezza in caso di rinvenimento o di sospetto di presenza di sorgenti orfane nel territorio della provincia di Bologna”
- Riunione del Task Force Montecuccolino sulla analisi di fattibilità per il trasferimento delle attività IONIRP a centro di “Manifattura Tabacchi” e per le azioni volte alla sostituzione di sorgenti neutroniche.

L’Esperto Qualificato Ing. Mario Basta, con incarichi presso i Centri ENEA di Saluggia e Casaccia ha curato i seguenti interventi di carattere straordinario:

- Avvio dell’azione per il completamento dell’iter autorizzativo per la modifica del Nulla Osta per l’Edificio 2800 del Centro di Saluggia
- Due riunioni per le valutazioni di sicurezza del CR Saluggia ex art. 35 D.Lgs 81/2008

- Una riunione per la valutazione degli esposti in base ai Piani di Emergenza del CR Casaccia
- Una riunione del Collegio dei Delegati alla Sicurezza dell'Impianto Tapiro del CR Casaccia
- L'esercitazione per il Piano di Emergenza Interna/Esterna dell' Impianto Tapiro del CR Casaccia
- L'aggiornamento e rivalutazione completa della Sorveglianza fisica di radioprotezione per il reattore nucleare di ricerca TAPIRO del C.R.E. Casaccia
- Prescrizioni e indicazioni di radioprotezione relativamente ad alcune operazioni di manutenzione straordinaria, tra le quali le attività straordinarie di miglioramenti in Sala Reattore e Controllo del TAPIRO, e valutazioni radioprotezionistiche relativamente allo spostamento degli schermi utilizzati per le attività Boron Neutron Capture Theory.

L'Esperto Qualificato PI. Lorenzo Florita, con incarichi presso il Centro ENEA di Casaccia ha curato i seguenti interventi straordinari:

- Trasmissione della Prima Variazione al N.O. di Cat B per i laboratori dell'Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti Unità IONMETR, Edificio T-5 del CR Casaccia;
- Riformulazione dell'Istanza di N.O. di Cat B dell'Unità MATQUAL, per il Bunker dell'Edificio C-06 e per il laboratorio di Imaging dell'Edificio F-65 del CR Casaccia;
- Predisposizione e invio della Comunicazione Preventiva di Pratica per il Laboratorio RADON dell'Istituto INMRI, Unità IONMETR, situato nell'Edificio T-22 (già T-2bis) del CR Casaccia;
- Trasmissione della Seconda variazione al N.O. di Cat B per i laboratori dell'Istituto INMRI, Unità IONMETR, Edificio T-5 del CR Casaccia;
- Messa a punto delle Procedure Gestionali per le sorgenti A.A. dell'Impianto Calliope Unità MATSTG edificio T-16 del CR Casaccia;
- Messa a punto delle Procedure Gestionali per le sorgenti A.A. dell'Istituto INMRI Unità IONMETR, Edificio T-5 del CR Casaccia;
- Istruttoria tecnica per Comunicazione Preventiva di Pratica per il laboratorio di irraggiamento con cabina bunker ANDREX presso Hall sud dell'edificio F-23 dell'Unità MATQUAL del C.R. Casaccia;
- Avviata istruttoria tecnica per Comunicazione Preventiva di Pratica per il laboratorio di detenzione e misura prodotti di attivazione (reperti giudiziari) dell'Unità MATQUAL, in corso di trasferimento dall'edificio F-24 del C.R. Casaccia ad altro edificio ancora da definire;
- Avviata istruttoria tecnica per declassificazione aree, causa intervenute variazioni delle attività programmatiche, per il laboratorio di Imaging dell'Unità MATQUAL, dell'Edificio F-65 del CR Casaccia;
- Riorganizzazione delle aree con rischio di radiazioni e contaminazione, dei laboratori dell'Istituto INMRI, Unità IONMETR, del C.R. ENEA della Casaccia: locali bunker 007a, 011 e 012, laboratorio di radiochimica locali 013, 014, 015 e 016, edificio T-II-05, piano seminterrato, per ripresa attività lavorativa a seguito di ristrutturazione generale e adeguamento locali;
- Posizionamento e caricamento con sorgenti radioattive (anche di A.A.) del nuovo irraggiatore della Thema da utilizzare nel bunker n. 012 edificio T-II-05, piano seminterrato, dell'Istituto INMRI, Unità IONMETR del CR Casaccia, per la taratura della strumentazione di radioprotezione;

- Partecipazione alla campagna di taratura dell'Istituto INMRI, Unità IONMETR del CR Casaccia, per il radioisotopo F-18 per uso medico, eseguita presso l'Impianto di produzione del Centro di Ricerca ISPRA, a Varese;
- Prescrizioni e indicazioni di radioprotezione relative alle operazioni di analisi non distruttive, condotte a carattere straordinario dal gruppo della Salvaguardia del Patrimonio Artistico, Unità MATQUAL dell'ENEA della Casaccia, precedenti il restauro di modelli in gesso delle statue dei cavalli dell'edificio Vittoriano in Roma, con supervisione dell'esperto qualificato e relative valutazioni radio protezionistiche eseguite presso i Laboratori di Restauro Gessi a Roma.
- Preliminari, prescrizioni e indicazioni di radioprotezione relative alle operazioni di analisi non distruttive condotte, a carattere straordinario, dal gruppo della Salvaguardia del Patrimonio Artistico, Unità MATQUAL dell'ENEA della Casaccia, precedenti al restauro della tela "L'Annunciazione" del Caravaggio, (provenienza Museo delle belle arti, Nancy Francia) e relative valutazioni radio protezionistiche eseguite presso i Laboratori dell'Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro a Roma.

L'Esperto Qualificato Dr. Giorgia Iurlaro, con incarichi presso il Centro ENEA di Casaccia ha curato i seguenti interventi straordinari principali presso il CR Casaccia:

- Supporto all'EQ incaricato ing. Giuseppe Liccione per la Istruttoria Tecnica per la dismissione delle due sorgenti di alta attività di ^{137}Cs (bunker 002 edificio T07) di Casaccia e ^{60}Co (bunker 007 edificio T06 Casaccia)
- Declassificazione e nuova destinazione d'uso della cella bunker 2 nella stanza 010 dell'edificio T7 piano cantinato e del locale bunker 007 Cella Panoramica edificio T6 piano cantinato
- Declassificazione delle aree con rischio di radiazioni ionizzanti del C.R. ENEA della Casaccia: locali 09-010 cella bunker, Piano cantinato, edificio T-II-04
- Variazione e Cessazione di Pratica con sorgenti di radiazioni ionizzanti per le attività presso gli edifici C-III-27, C-III-45 e T-II-7
- Cessazione di pratica con sorgenti di radiazioni ionizzanti per le attività presso l'edificio C-III-27 del Dipartimento BAS
- Variazione di Comunicazione di Pratica - Laboratori IRP T1
- Variazione di Comunicazione di Pratica - Laboratori IRP T3/T5
- Declassificazione momentanea delle aree con rischio di radiazioni ionizzanti del C.R. ENEA della Casaccia: locale 011 e 011A , laboratorio di radiochimica e laboratorio chimico, edificio T-II-01, piano terra
- Relazione di radioprotezione per bonifica del laboratorio di radiochimica, Edificio T-II-17, piano rialzato
- Supporto all'EQ incaricato ing. Giuseppe Liccione per la stesura delle procedure di risanamento radiologico presso alcuni locali della struttura di ricerca edificio CIII 43 di Casaccia
- Specifica di radioprotezione a supporto delle attività di declassificazione presso il locale 06 dell'Edificio T-II-18 del C.R.Casaccia
- Operazione di caratterizzazione radiometrica del Laboratorio T-18 presso Casaccia (al fine della declassificazione dello stesso) con misure di esposizione, contaminazione fissa ed effettuazione di smear test sia nel locale laboratorio che nel locale filtri
- Riclassificazione delle aree con rischio di radiazioni ionizzanti del C.R. ENEA della Casaccia: locale 011 e 011A , laboratorio di radiochimica e laboratorio chimico, edificio T-II-01, piano terra

- Riunione con personale Nucleco per le attività svolte presso l'edificio T-II-18 e per la pianificazione delle attività da svolgere con corso di formazione e informazione al personale Nucleco
- Censimento delle aree con rischio da radiazioni ionizzanti presenti nel C.R. Casaccia
- Studio del software di simulazione per l'emergenza nucleare esterna in Casaccia e redazione di schede per le attività di direttore dell'emergenza in collaborazione con Enrico Borra e Giuseppe Liccione

L'Esperto Qualificato Ing. Giuseppe Liccione, con incarichi presso i Centri ENEA di Casaccia e di Trisaia ha curato i seguenti interventi straordinari:

- Istruttoria Tecnica per la dismissione irraggiatore sito nel bunker 007 edificio T06 di Casaccia
- Istruttoria tecnica di radioprotezione per la dismissione irraggiatore con sorgente di Cs-137 sito nel bunker 002 edificio T07 di Casaccia
- Azioni di supporto per il transito di sorgenti radioattive provenienti dal C.R. Trisaia e momentaneamente depositate c/o la struttura Hall C-25 di Casaccia
- Attività di risanamento radiologico presso alcuni locali della struttura di ricerca edificio CIII 43 di Casaccia
- Istruttoria Tecnica aggiuntiva, di radioprotezione a corredo della domanda di novazione dell'laboratorio T-8 di Casaccia
- Istruttoria tecnica per la comunicazione preventiva di pratica associata al laboratorio di radiochimica stanza 113 dell'edificio R6 di Trisaia
- Istruttoria tecnica per l'attivazione del nulla osta in categoria B associata al laboratorio di radiochimica stanza N.113 dell'edificio R6 di Trisaia
- Istruttoria tecnica di accompagnamento alla pratica di variazione Nulla Osta in Cat B Laboratorio n.113 di Trisaia

L'Esperto Qualificato Dr. Sandro Sandri, con incarichi presso i Centri ENEA di Brindisi, Casaccia, Frascati e Portici ha curato i seguenti interventi straordinari:

- Registrazioni e acquisizione documentazione per impianto FTU di Frascati in seguito alla sostituzione dell'EQ S. Merolli, per cessazione rapporto lavoro ENEA, in collaborazione con S. Polenta
- Supporto alla direzione di impianto e di Centro nel corso dell'ispezione ISPRA presso impianto FTU di Frascati e preparazione delle successive relazioni di integrazione
- Conversione in Nulla Osta di cat. A per impianto FNG di Frascati, con successive verifiche delle prescrizioni
- Esame dei progetti di modifica presso l'impianto acceleratori dell'edificio n. 30 di Frascati
- Esame progetti preliminari per l'installazione di un Plasma Focus a Frascati
- Analisi finalizzate alla spedizione di materiali irraggiati dall'impianto FNG di Frascati

L'Esperto Qualificato Dr. Stefano Polenta, con incarichi presso il Centro ENEA di Frascati ha curato i seguenti interventi straordinari presso il Centro:

- Comunicazione ex art. 22 D.Lgs per nuova macchina RX presso l'edificio n. 23 (FUS)
- Progetto di radioprotezione per istanza di Nulla Osta di cat. B per la detenzione di una sorgente di Fe-55 presso l'edificio n. 23 (FUS)
- Gestione e sviluppo dell'archivio informatico dei dati dosimetrici ENEA (vedi par.5)

L'Esperto Qualificato Dr. Enrico Maria Borra, con incarichi presso i Centri ENEA di Casaccia, e S. Teresa ha curato i seguenti interventi straordinari:

- Mappatura della dosimetria esterna ambientale e personale;
- Verifica archivio dosimetrico;
- Formazione ed addestramento squadre radiometriche;
- Relazione per bonifica locale 07 dell'edificio C-47;
- Programmazione interventi di bonifica S. Teresa;
- Definizione squadre di intervento in Casaccia (all. VI del D. Lgs. 230/95 e ss.mm.ii.);
- Analisi di fattibilità di pratica con sorgenti mobili di neutroni presso il Comune di Firenze;
- Relazione preliminare per lavori straordinari al TRIGA.

4. Formazione del personale esposto

Gli EQ e il personale competente di RP assicurano la formazione del personale esposto ai rischi delle radiazioni ionizzanti per conto del datore di lavoro nei vari centri con diverse modalità e in conformità alle specifiche esigenze. Nel corso del 2009 le azioni effettuate a tal riguardo sono:

- Corso per reperibili radiometrici presso il Centro di Montecuccolino con parte teorica, visita locali e esercitazioni pratiche per valutazione di dose esterna ed effettuazione di smear test e successiva valutazione beta con contaminometro.
- Un Corso di Formazione in Radioprotezione per gli addetti dell'Impianto Tapiro del CR Casaccia
- Corso di formazione in radioprotezione per i nuovi lavoratori esposti alle radiazioni ionizzanti del C.R. Casaccia

5. Informatizzazione dell'archivio dosimetrico ENEA

IRP cura l'attività di sviluppo software per la gestione informatica dei dati dosimetrici ENEA. L'applicazione sviluppata acquisisce i dati dall'archivio dosimetrico di Bologna, dall'archivio schede posto di lavoro, e dagli archivi dei referti RTX e WBC, con l'attribuzione di aree di competenza specifiche per i diversi esperti qualificati. Le acquisizioni dagli archivi avvengono tramite conversione in ambiente XML (Extended markup language). Nel server applicativo della dosimetria è stato installato il protocollo https, basato su SSL (Secure socket layer) che consente la connessione sicura tra il server ed i clienti tramite la crittatura di tutte le comunicazioni tra l'utente e il sistema.

Nel 2009 i principali perfezionamenti eseguiti sono i seguenti:

- Messa a punto data base dosimetria con lo sviluppo delle funzioni di gestione dinamica delle password in accordo con quanto previsto dalla normativa di protezione dei dati personali; applicazione al sistema del protocollo di crittografia https; assegnazione dei privilegi di accesso agli utenti del sistema; implementazione degli algoritmi di calcolo delle dosi da irraggiamento esterno.
- Il sistema è stato testato acquisendo dati dai referti radiotossicologi di Casaccia allo scopo di provare le funzioni di generazione di file XLM in ambiente Filemaker.

6. Conclusioni

Tutte le suddette attività sono state generalmente svolte per conto del datore di lavoro e degli esercenti dei diversi impianti e quasi sempre nell'ambito di norme di legge che prevedono specifici obblighi e responsabilità per gli EQ. Le attività di sorveglianza fisica comportano l'impegno continuo di personale operativo e tecnico specializzato che agisce con competenza e autonomia sempre secondo le indicazioni degli EQ.

MISURE DI RADIOATTIVITÀ

A cura di Paolo Battisti

1. Le risorse strumentali

Raccogliendo una lunga e consolidata esperienza maturata nell’Agenzia a partire dagli anni ‘60, l’Istituto di Radioprotezione dell’ENEA (ION IRP) svolge fin dalla sua nascita attività di monitoraggio della radioattività a scopi protezionistici su campioni biologici, ambientali e di natura varia, nonché direttamente sull’uomo, fornendo prestazioni, sia per utenti interni che esterni, attraverso un insieme di laboratori dislocati nei Centri ENEA di Bologna, Casaccia, Frascati, Saluggia e Trisaia; specificatamente:

- Laboratorio misure in vivo (WBC) CR Bologna
- Laboratorio misure in vivo (WBC) CR Casaccia
- Laboratorio misure in vitro (radio-tossicologia) CR Casaccia
- Laboratorio misure di sorveglianza ambientale CR Casaccia
- Laboratorio misure spettrometria di massa CR Casaccia
- Laboratorio misure radon e trizio CR Frascati
- Laboratorio integrato misure radiometriche CR Saluggia
- Laboratorio integrato misure radiometriche CR Trisaia

Con l’attuazione di un progetto di riorganizzazione di tali laboratori, avviato alcuni anni orsono in ragione dei mutamenti verificatisi all’interno dell’ENEA a seguito del progressivo ridimensionamento delle attività nucleari, quelle che per lungo tempo erano state entità fra loro sostanzialmente indipendenti, anche se allocate nello stesso sito, e prevalentemente dedicate alle necessità inerenti i rispettivi Centri di appartenenza, costituiscono oggi un unico sistema integrato volto a fornire all’Agenzia stessa ed al Paese un servizio in grado di affrontare il più ampio spettro di problematiche inerenti il campo della misura della radioattività. Tale progetto, alla cui base era stata innanzitutto la volontà, per anni “controcorrente”, di conservare un patrimonio di competenze scientifiche altrimenti destinate a livello nazionale ad un progressivo depauperamento, è stato realizzato da un lato trasferendo, uniformando ed aggiornando metodiche e procedure operative, dall’altro razionalizzando ed implementando dotazione strumentale e specializzazioni, il tutto nella prospettiva di un *modus operandi* sinergico volto al potenziamento della capacità complessiva d’intervento e ad una sempre maggiore qualità del dato fornito.

La necessità di organizzare, distribuire ed omogeneizzare le attività, anche dal punto di vista formale, in ragione dell’entità e della dislocazione delle risorse umane e strumentali a disposizione, ha comportato l’istituzione di un’apposita “Unità di Coordinamento Funzionale” fra i cui diversi compiti si annovera:

- supervisione tecnico-scientifica e organizzativa
- controllo della corretta applicazione dei protocolli di misura
- promozione delle iniziative di qualificazione (intercalibrazioni, interconfronti)
- compilazione, invio e archiviazione dei referti di misura
- rapporti con l’utenza interna ENEA ed esterna, inclusa gestione operativa dei contratti

Per quanto concerne in particolare quest’ultimo punto, l’adozione di una procedura amministrativa, appositamente studiata in collaborazione con l’Unità di Supporto Tecnico Gestionale (ION STG), ha consentito di accrescere notevolmente l’efficienza complessiva del sistema nel esigenza peraltro peculiare in ragione delle finalità specifiche delle prestazioni richieste, il che ha sicuramente contribuito anche all’incremento delle attività per l’utenza esterna che si è andata registrando negli ultimi tempi.

2. Le attività di Servizio

Le attività del Servizio possono essere descritte suddividendole in due distinti campi di applicazione:

- monitoraggio della contaminazione interna
- monitoraggio della radioattività ambientale

2.1 Monitoraggio della contaminazione interna

L'elenco completo delle prestazioni attualmente fornite dal Servizio ION IRP per il monitoraggio della contaminazione interna sono riportate in Appendice, mentre nelle due tabelle che seguono sono rispettivamente elencate le tecniche di misura *in vivo* (whole body counting, WBC) ed *in vitro* (radiotossicologiche) impiegate, indicando le specializzazioni di ciascun laboratorio operante nel campo

Tabella 1. Tecniche di misura *in vivo* impiegate dal Servizio ION IRP nel monitoraggio della contaminazione interna

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

Dall'analisi dei dati in Tabella 3, ove sono invece riportate le misure di monitoraggio della contaminazione interna complessivamente effettuate nel corso del 2009 suddivise in relazione all'utenza (interna ENEA ed esterna a tariffa), si deve rilevare, come il "peso" delle attività svolte per utenti esterni, pubblici e privati, sino alla fine degli anni'90 sostanzialmente marginale rispetto a quello legato al monitoraggio del personale ENEA, sia oggi quantificabile in circa il 70% del totale delle prestazioni fornite. A tale riguardo vanno innanzitutto ricordati i contratti con Nucleco e Sogin (oltre il 90% delle attività verso l'esterno), nonché per ISPRA, ENEL e Vigili del Fuoco, senza con questo trascurare le frequenti richieste di prestazioni, non di rado "fuori standard", provenienti da utenti occasionali, che spesso trovano capacità di risposta, a livello nazionale, nel solo Servizio ION IRP.

Tabella 2. Tecniche di misura *in vitro* impiegate dal Servizio ION IRP di monitoraggio della contaminazione interna

Sede Lab.	Tipologia di misura	Range energia o radionuclidi tipici	Sistema di rivelazione	Modalità di misura
Casaccia	spettrometria γ	10 keV – 2 MeV	riv. HPGe coassiale	geometrie varie
	spettrometria α	^{239}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{210}Po	riv. PIPS in vuoto	piattello elettrodeposto
	determinazione radio	^{226}Ra	scintillazione liquida	soluz. in vial da 20 ml
	determinazione radionuc. β emettitore	^3H , ^{14}C , ^{241}Pu , ^{210}Pb , ^{90}Sr	scintillazione liquida	soluz. in vial da 20 ml
	conteggio β	emissione β totale	riv. Argon-metano	piattello metallico
	spettrometria di massa	^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th	ICP-MS	iniezione soluzione liq.
	conteggio α totale e/o β totale	emissione α e/o β totale	scintillazione liquida	soluz. in vial da 20 ml
Frascati	determinazione radionuc. β emettitore	^3H , ^{14}C	scintillazione liquida	soluz. in vial da 20 ml
Saluggia	spettrometria γ	10 keV – 2 MeV	riv. HPGe coassiale	geometrie varie
	spettrometria α	^{239}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{210}Po	riv. PIPS in vuoto	piattello elettrodeposto
	determinazione radionuc. β emettitore	^3H	scintillazione liquida	soluz. in vial da 20 ml
	conteggio β	^{90}Sr , emissione β totale	riv. Argon-metano	piattello metallico
Trisaia	spettrometria γ	10 keV – 2 MeV	riv. HPGe coassiale	geometrie varie
	conteggio β	^{90}Sr , emissione β totale	riv. Argon-metano	piattello metallico

Tabella 3. Misure di monitoraggio della contaminazione interna effettuate nel 2009 dai laboratori ION IRP

Tipologia di misura	Utenti ENEA	Utenti Esterni	Totale
misura <i>in vivo</i> al corpo intero (alta energia)	256	402	658
misura <i>in vivo</i> polmonare (bassa energia)	43	171	214
misura <i>in vivo</i> attività in tiroide (bassa energia)	10	64	74
spettrometria γ urine	164	--	164
spettrometria α urine	50	24	74
spettrometria α feci	36	53	89
determinazione ^{226}Ra nelle urine	12	4	16
scintillazione liquida urine (^3H , ^{14}C)	79	412	491
conteggio β totale urine	126	284	410
spettrometria di massa urine (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th)	132	110	242
determinazione attività α e/o β totale in muco nasale	5	573	578
Tutte le misure	913	2097	3010

2.2 Monitoraggio della radioattività ambientale

Per lungo tempo tale attività è stata svolta dai Laboratori IRP essenzialmente ai fini dell'attuazione dei Piani di Sorveglianza della Radioattività Ambientale prescritti per legge e concordati con l'organismo di controllo in relazione all'esercizio degli impianti nucleari ENEA.

Con l'attuazione del citato progetto di riorganizzazione del Servizio, le tecniche di misura ed analisi in dotazione, in origine studiate per le tipologie di contaminanti radioattivi e di campioni tipici del monitoraggio di siti nucleari, sono state estese ad un più ampio spettro di radionuclidi e di matrici nella volontà di rafforzare potenzialità e quindi ruolo del Servizio stesso attraverso l'acquisizione di competenze tali da poter rispondere a tutte le esigenze nel campo, una prospettiva di sviluppo per altro da tempo emersa con le sempre più frequenti richieste di caratterizzazione radiologica di materiali della più varia origine provenienti in specie dall'utenza esterna.

Come per la contaminazione interna, la rassegna completa delle prestazioni attualmente fornite sono elencate in Appendice 2, mentre in Tabella 4 sono indicate le tecniche di misura impiegate dai singoli laboratori afferenti al Servizio.

Come si può rilevare dall'analisi di Tabella 5 ove sono riportate le prestazioni fornite nel corso del 2009, l'utenza interna risulta, in questo caso, ancora del tutto preponderante. A tale proposito si deve comunque osservare che buona parte delle misure elencate come "utenza ENEA" sono riferite alle tecniche meno complesse (spettrometria gamma di campioni tal quali, determinazione attività alfa e beta totale), mentre gran parte delle misure effettuate per l'utenza esterna sono da annoverare fra quelle a più alto contenuto tecnico-scientifico e che comportano le maggiori difficoltà di effettuazione, impegno del personale incluso. Si sottolinea peraltro che con il progressivo ampliamento e la pubblicizzazione dello spettro di tipologie di analisi adottate ed oggi rese disponibili dal Servizio, già nel 2010 si prevede un notevolissimo incremento delle prestazioni a tariffa per l'utenza esterna, questo in particolare grazie ai nuovi contratti di fornitura già stipulati fra cui si citano, in particolare, quello con Nucleco per la caratterizzazione di circa 80 campioni complessi, prevalentemente da impianto, e con GOLDER spa per la determinazione, nell'ambito del Piano di Caratterizzazione del Sito di Interesse Nazionale di Gela, del contenuto di NORM in oltre 200 campioni ambientali.

3. Qualificazione delle attività

La qualificazione delle prestazioni fornite è sicuramente uno dei capisaldi posti a fondamento stesso delle attività del Servizio ed a tal fine, oltre ad un capillare lavoro interno di omogeneizzazione delle procedure di analisi e verifica dei parametri di misura, la partecipazione regolare ad iniziative di intercalibrazione ed interconfronto è da anni la prassi regolarmente adottata e perseguita. Ciò è particolarmente importante per tipologie di misura, come quelle della radioattività in campioni biologici ed ambientali, per le quali disporre di idonei standard di taratura può risultare problematico, sia per gli elevati costi finanziari che ciò comporta, sia per la difficoltà stessa di reperire sul mercato campioni metrologicamente qualificati.

Nell'ambito del monitoraggio della contaminazione interna, se per le misure *in vivo*, stante la sporadicità delle iniziative nazionali ed internazionali, l'attività di qualificazione è stata essenzialmente demandata all'attuazione di protocolli comuni di verifica supportati da campagne interne di intercalibrazione basate su fantocci di taratura prodotti in proprio, per quanto attiene invece le misure *in vitro* lo strumento principale di valutazione dell'affidabilità delle prestazioni fornite è costituito per i Laboratori IRP dalla regolare partecipazione agli interconfronti PROCORAD[®], probabilmente l'iniziativa di questo tipo più accreditata a livello internazionale.

Tabella 4. Tecniche di misura impiegate dal servizio ION IRP di misura della radioattività in matrici ambientali

Sede Lab.	Tipologia di misura	Range energia o radionuclidi tipici	Sistema di rivelazione	Modalità di misura
Casaccia	spettrometria γ	10 keV – 2 MeV	riv. HPGe coassiale	geometrie varie
	spettrometria α	^{239}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{210}Po	riv. PIPS in vuoto	piattello elettrodeposto
	conteggio α	emissione α totale	riv. argon metano	piattello metallico/filtro
	conteggio α	^{226}Ra	scintillazione liquida	soluz. in vials da 20 ml
	determinazione β emettitore	^3H , ^{90}Sr , ^{210}Pb , ^{241}Pu	vari	varie
	conteggio β spettrometria di massa	emissione β totale ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th	riv. Argon-metano ICP-MS	piattello metallico/filtro iniezione soluz.liquida
Frascati	determinazione β emettitore	^3H	scintillazione liquida	soluz. in vials da 20 ml
	determinazione α emettitore	Radon e figli	vari	vari
Saluggia	spettrometria γ	10 keV – 2 MeV	riv. HPGe coassiale	geometrie varie
	spettrometria α	^{239}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{210}Po	riv. PIPS in vuoto	piattello elettrodeposto
	conteggio α	emissione α totale	riv. Argon-metano	piattello metallico/filtro
	determinazione β emettitore	^3H , ^{210}Pb , ^{90}Sr	scintillazione liquida	soluz. in vials da 20 ml
	conteggio β	emissione β totale	riv. Argon-metano	piattello metallico/filtro
Trisaia	spettrometria γ urine	10 keV – 2 MeV	riv. HPGe coassiale	geometrie varie
	conteggio α	emissione α totale	riv. Argon	piattello metallico/filtro
	determinazione β emettitore	^3H , ^{90}Sr	riv. Argon	piattello metallico/filtro
	conteggio β	emissione β totale	riv. Argon	piattello metallico/filtro

Tabella 5. Misure del contenuto radioattivo in campioni ambientali e di natura varia effettuate nel 2009 del Servizio ION IRP

Tipologia di misura	Utenza ENEA	Utenza esterna	Totale
Spettrometria γ tal quale	834	39	874
Spettrometria γ tal quale (misure aria in continua)	3289	---	3289
Spettrometria γ previa pre-concentrazione su resina	66	16	82
Spettrometria α (determin. ^{238}Pu , $^{239/240}\text{Pu}$, ^{241}Am)	14	34	48
Determinazione attività α totale e/o β totale	1664	2	1666
Determinazione attività ^{90}Sr	87	25	112
Determinazione attività ^3H	28	25	53
Determinazione attività ^{241}Pu	---	17	17
Determinazione contenuto di ^{226}Ra	---	4	4
Determinazione contenuto massa o attività ^{238}U , ^{235}U	16	2	18
Tutte le misure	5998	163	6161

Tali interconfronti si svolgono con scadenza annuale fin dai primi anni '90 proponendo un set di prove che abbraccia le principali tipologie di analisi utilizzate in radiotossicologia ed hanno registrato nel tempo una adesione sempre più ampia da parte dei più importanti Laboratori europei ed extraeuropei operanti nel campo.

L'Istituto di Radioprotezione ENEA è inserito nel circuito PROCORAD dal 1996, dapprima con il solo Laboratorio Casaccia e successivamente anche con i Laboratori di Frascati (dal 2000), Saluggia (dal 2003) e Trisaia (dal 2005), ciascuno per le tipologie di misura di interesse.

Per quanto attiene invece le misure su campioni ambientali, funzione analoga a quella di PROCORAD è oggi svolta dai "proficiency test" ALMERA. ALMERA (Analytical Laboratories for the Measurement of Environmental Radioactivity) è un network istituito nel 1995 dalla IAEA a livello mondiale per fornire dati radioanalitici su matrici ambientali a supporto delle attività dell'Agenzia nel campo della radioprotezione e della valutazione dell'impatto radiologico in aree interessate da rilasci accidentali o intenzionali di radioattività. La nomina dei membri ALMERA viene fatta su indicazione dei Governi Nazionali, attraverso la "Permanent Mission" degli Stati Membri dell'Agenzia. Richiesta primaria cui essi devono soddisfare è la partecipazione ed il superamento di specifici "Proficiency Test", appositamente organizzati al fine di verificare e dimostrare prestazioni e capacità analitiche. L'adesione dell'Italia ad ALMERA risale al 2005 con la proposta di nomina da parte del Governo di 5 Laboratori Nazionali, fra cui i Laboratori di Sorveglianza Ambientale di Casaccia, Saluggia e Trisaia dell'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA.

Dall'atto dell'adesione ad oggi ALMERA ha organizzato ben 7 "Proficiency Test" nei quali i Laboratori IRP, se non in rarissime eccezioni, hanno fornito sempre esiti assai positivi in termini di accuratezza e precisione e spesso ben oltre il mero soddisfacimento dei criteri minimi di conformità richiesti per il superamento delle prove, così come del resto è complessivamente avvenuto nella partecipazione ai diversi interconfronti PROCORAD, nei quali in molte occasioni i Laboratori IRP si sono classificati nel gruppo dei "top lab" delle specifiche prove, con richiesta di divulgazione delle procedure analitiche adottate.

Si deve peraltro sottolineare come il progressivo, deciso miglioramento nel tempo della qualità complessiva delle prestazioni fornite dai singoli Laboratori evidenziato dagli esiti ottenuti nelle campagne di interconfronto, stia a testimoniare non solo l'importanza della partecipazione regolare a tali iniziative, ma più in generale del successo dell'intero progetto di riorganizzazione del Servizio, delle sue finalità e delle strategie adottate per il loro conseguimento.

Partecipazione a interconfronti dosimetrici
internazionali

INTERCONFRONTO EURADOS 2009 PER DOSIMETRI PER ESTREMITÀ'

B. Morelli, F. Mariotti, Maria Chiara Botta, G. Baldassarre e G. Uleri

Organizzatore EURADOS (European Radiation Dosimetry Group)
WG2 – Harmonisation of Individual Monitoring in Europe

Breve descrizione e scopo della prova L'interconfronto si pone l'obiettivo di stimare l'Equivalente di Dose Personale Hp(0,07) con dosimetri per estremità ad anello o bracciale per il monitoraggio di routine dei lavoratori esposti a radiazione fotonica e beta. Hanno partecipato 44 servizi dosimetrici da 18 paesi europei. L'interconfronto ha avuto inizio ad aprile 2009 e si è concluso a marzo 2010 con la presentazione dei risultati nell'ambito di Individual Monitoring 2010 (Atene- Grecia).

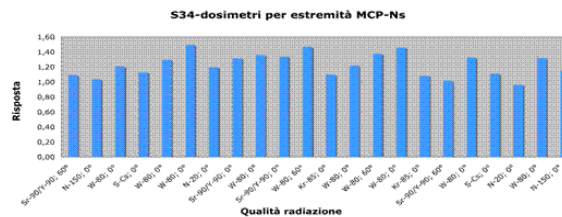
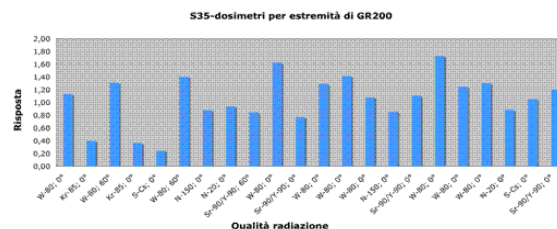
Ogni partecipante ha inviato 28 dosimetri (22 esposti, 4 di controllo e 2 di scorta per estremità per ogni sistema sottoposto a test). Gli irraggiamenti sono stati effettuati nei laboratori europei accreditati, IRSN-F e Seiberdorf Laboratories-Au nei seguenti range:

Specifiche del test

- fotoni di energia da 16 a 662 keV;
- beta di energia media da 250 a 1000 keV;
- dosi da 0,5 mSv a 1 Sv;
- angoli di incidenza $\pm 60^\circ$.

I dosimetri irraggiati sono stati restituiti ai partecipanti per le letture a settembre 2009, comunicati ed elaborati dall'Organisation Group a novembre/dicembre 2009.

Risultati



Conclusioni I risultati ottenuti hanno confermato l'affidabilità dei dosimetri in uso per dosimetria per estremità mostrando una soddisfacente prestazione per entrambi i sistemi. In particolare il sistema dosimetrico con rivelatori sottili di MCP-Ns ha dimostrato una buona prestazione anche relativamente alla risposta ottenuta per la radiazione beta, come era auspicabile per le appropriate caratteristiche dosimetriche intrinseche del rivelatore.

INTERCONFRONTO PROCORAD 2009

Paolo Battisti

Organizzatore	PROCORAD® è una società privata francese istituita allo scopo di promuovere la qualità delle misure nell'ambito della radiotossicologia.
Breve descrizione e scopo della prova	L'interconfronto, di periodicità annuale, propone serie di esercizi diversificati inerenti la misura del contenuto di varie tipologie di radionuclidi in campioni di urina e feci, consentendo l'applicazione delle principali metodologie di analisi comunemente utilizzate in radiotossicologia. All'interconfronto hanno complessivamente aderito 76 laboratori di 20 Paesi, di cui 66 provenienti dall'Europa (6 dall'Italia, di cui 4 BAS ION IRP), 6 dall'America del Nord, 3 dall'America del Sud, 1 dall'Asia. ;
Specifiche del test	

Interconfronto PROCORAD 2009: descrizione sintetica degli esercizi proposti e partecipazione

Ex.	Tipologia campione	N° campioni	Radionuclide di cui determinare il contenuto	Tot. partecipanti adesione risposte		Laboratori BAS ION IRP partecipanti
1	urina	5	trizio inorganico	49	50	Casaccia, Frascati
			trizio organico	25	17	Casaccia, Frascati
2	urina	4	carbonio (¹⁴ C)	33	33	Casaccia
3	urina	3	gamma-emettitori	48	44	Casaccia, Saluggia, Trisaia
4	urina	3	uranio	37	34	Casaccia
5	urina	3	attinidi	40	38	Casaccia, Saluggia
6	feci	3	Plutonio	40	37	Casaccia, Saluggia
			Americio e Curio	38	34	Casaccia, Saluggia
7	urina	1	Po-210	21	20	Casaccia, Saluggia

Risultati Nelle tabelle sono riportati in termini di BIAS (scarto relativo fra valore misurato e valore certificato) gli esiti forniti dai 4 Laboratori ION IRP agli esercizi PROCORAD 2009 cui hanno partecipato

Esercizio 1 e 2 (determinazione contenuto di ³H e ¹⁴C rispettivamente in 6 e 4 campioni di urina): risultati ottenuti dai laboratori ION IRP in termini di BIAS (%) rispetto al dato di attività "vero"
NR = nessun radionuclide rivelato, Ne = determinazione non effettuata

Lab. ION IRP	³ H cam.A Blank ^(*)	³ H cam.B BIAS (%)	³ H cam.C BIAS (%)	³ H cam.D BIAS (%)	³ H cam.E BIAS (%)	³ H cam.F ₁ BIAS (%)	³ H cam.F ₂ BIAS (%)	³ H cam.F ₃ BIAS (%)
Casaccia	NR	2.3	-0.8	0.6	1.2	-3.1	23	-1.5
Frascati	NR	-1.8	-8.3	-10.6	-3.1	Ne	Ne	Ne
Saluggia	NR	-5.5	-4.4	-9.6	6.9	Ne	Ne	Ne

Lab. ION IRP	¹⁴ C cam.A Blank ^(*)	¹⁴ C cam.B BIAS (%)	¹⁴ C cam.C BIAS (%)	¹⁴ C cam.D BIAS (%)
Casaccia	NR	-2.4	-3.7	-1.4
Frascati	NR	-6.6	-5.2	-3.3
Saluggia	Ne	Ne	Ne	Ne

Esercizio 3 (determinazione contenuto di radionuclidi γ -emettitori in 3 campioni di urina): risultati ottenuti dai laboratori ION IRP in termini di BIAS (%) rispetto al dato di attività "vero".

Laboratorio ION IRP	campione A BIAS (%)	campione B BIAS (%)			campione C BIAS (%)		
	Blank	⁸⁸ Y	¹²⁹ I	¹⁴¹ Ce	⁸⁸ Y	¹³⁷ Cs	¹⁴¹ Ce
Casaccia	NV	-0.2	-7.2	-1.2	0.2	1.8	-4.0
Saluggia	NV	-0.2	3.1	4.1	-0.4	0.8	-0.5
Trisaia	NV	2,5	-3.6	6.4	-1.1	2.9	-4.4

Esercizio 4 (determinazione Uranio in 3 campioni di urina) ed Esercizio 7 (determinazione ²¹⁰Po in 3 campioni di urina): risultati ottenuti dai laboratori ION IRP in termini di BIAS (%) rispetto al dato di attività "vero".

Laboratorio ION IRP	Uranio campione A BIAS (%)				Uranio campione B BIAS (%)				Uranio campione C BIAS (%)	Polonio campione A BIAS (%)
	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁸ U	U _{totale}	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁸ U	U _{totale}	U Blank ^(*)	²¹⁰ Po
Casaccia	-4.8	16.9	-3.1	-1.9	-18	-17	-13	-5.0	NR	-1.0
Saluggia	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	4.3

Esercizi 5 e 6 (determinazione attinidi in 3 campioni di urina e feci e in soluzione standard di ²³⁹Pu): risultati ottenuti dai laboratori ION IRP in termini di BIAS (%) rispetto al dato di attività "vero".

Lab. ION IRP	Urine A BIAS (%)			Urine B BIAS (%)		Urine C	Feci B BIAS (%)		Feci C BIAS (%)		Feci A	Sol. Stnd
	²³⁹ Pu	²⁴¹ Am	²⁴⁴ Cm	²³⁰ Th	²⁴¹ Am	blank ^(*)	²³⁹ Pu	²⁴¹ Am	²³⁹ Pu	²⁴⁴ Cm	blank ^(*)	²³⁹ Pu
Casaccia	1.2	18	8.0	13.5	18	NR	-7.0	4.4	-4.6	-4.9	NR	-1.0
Saluggia	12	45	-3.0	Ne	Ne	NR	0.2	10.4	6.7	3.8	NR	5.4

Conclusioni

Da un'analisi sintetica dei risultati effettuata sulla base del criterio di accettabilità del dato di misura proposto dall'ISO (BIAS compreso nell'intervallo [-25%,+50%]), si rileva la piena conformità degli esiti della totalità delle misure eseguite da tutti i Laboratori. Al di là di qualche risultato isolato, sono da segnalare le ottime performance dimostrate dai Laboratori IRP nella misura di spettrometria gamma, nella determinazione degli isotopi del Plutonio in urine e feci e nella misura di ²¹⁰Po, trizio e carbonio (¹⁴C) nelle urine. Di converso si rileva, pur in un quadro di accettabilità dei risultati, la necessità, già riscontrata nel 2008, di affinamento dei metodi per la determinazione del ²⁴¹Am nelle urine ed un evidente, se pur limitato, errore sistematico nella determinazione degli isotopi dell'Uranio per attività.

In generale, come già da diversi anni, anche in questo interconfronto PROCORAD 2009 i risultati ottenuti dai Laboratori ION IRP sono da considerarsi ampiamente soddisfacenti. A testimonianza di ciò si sottolineano per altro le menzioni di merito (Gruppo TOP Lab) inviate da PROCORAD al Laboratorio Casaccia per le determinazioni del ²³⁹Pu nelle urine e nella soluzione standard, del ²¹⁰Po, del Carbonio e del Trizio nelle urine, nonché dal Laboratorio di Trisaia e Saluggia per la determinazione dei radionuclidi gamma emettitori nelle urine.

INTERCONFRONTO INTERNAZIONALE SUI RIVELATORI PASSIVI DI RADON PRESSO L'HEALTH PROTECTION ASSOCIATION (UK)

Silvia Penzo, Massimo Calamosca ed Elisabetta Consoli

Ente, Associazione, Organizzatore	HPA, UK																							
Breve descrizione e scopo della prova	<p>Verifica della qualità della misura di esposizione al radon in aria mediante dispositivi passivi a tracce (DPT)</p> <p>Ai laboratori partecipanti è richiesto di inviare un set di 40 dispositivi di misurazione (DPT) (nel caso il laboratorio utilizzi un rivelatore passivo a tracce, come il ns. Servizio): 30 vengono esposti e 10 servono per il controllo dell'esposizione di transito. I 30 DPT vengono esposti in camera radon a 3 diversi valori di esposizione (10 DPT per ogni valore di esposizione). Al termine delle 3 esposizioni i DPT esposti vengono restituiti ai laboratori partecipanti per l'analisi. I laboratori, in base al proprio sistema di lettura e analisi, valutano le esposizioni dei 40 DPT ed inviano tali risultati a HPA che li confronta con i valori "veri" (incertezza 5%, K=1) e classifica i laboratori in 5 classi di merito (A-E). Per ogni interconfronto HPA invia una certificazione del risultato e redige un rapporto che pubblica annualmente nella sua collana HPA-RPD.</p>																							
Specifiche del test																								
Risultati di ENEA-IRP	<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="padding: 5px;">Esposizione HPA (kBq h m⁻³)</th> <th style="padding: 5px;">Esposizione valutata dal Servizio Radon (kBq h m⁻³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">109</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">117</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">390</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">391</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">1680</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">1674</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="padding: 5px;">Esposizione</th> <th style="padding: 5px;">Precisione</th> <th style="padding: 5px;">Accuratezza</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">Bassa</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">13,2%</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">7,6%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">Media</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">5,7%</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">0,2%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">Alta</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">3,1%</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">-0,4%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">media</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">7,3%</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">2,7%</td> </tr> </tbody> </table>	Esposizione HPA (kBq h m ⁻³)	Esposizione valutata dal Servizio Radon (kBq h m ⁻³)	109	117	390	391	1680	1674	Esposizione	Precisione	Accuratezza	Bassa	13,2%	7,6%	Media	5,7%	0,2%	Alta	3,1%	-0,4%	media	7,3%	2,7%
Esposizione HPA (kBq h m ⁻³)	Esposizione valutata dal Servizio Radon (kBq h m ⁻³)																							
109	117																							
390	391																							
1680	1674																							
Esposizione	Precisione	Accuratezza																						
Bassa	13,2%	7,6%																						
Media	5,7%	0,2%																						
Alta	3,1%	-0,4%																						
media	7,3%	2,7%																						
Conclusioni	<p>I risultati ottenuti (accuratezza e precisione inferiori al 10%) confermano la classificazione del Servizio Radon ENEA in classe A.</p>																							

INTERCONFRONTO INTERNAZIONALE SULLA DETERMINAZIONE DI RADIONUCLIDI NATURALI IN FOSFOGESSO E ACQUA

Silvia Penzo, Massimo Calamosca ed Elisabetta Consoli

Ente, Associazione, Organizzatore	IAEA Proficiency Test (IAEA-CU-2008-03)																
Breve descrizione e scopo della prova	Verifica della qualità della misura di attività di radionuclidi naturali (U-234, U-238, Ra-226, Th-230) in campioni solidi e liquidi di NORM mediante HPGe; in particolare per le attività svolte dal Servizio Radon è d'interesse la misura di attività di Ra-226 in campioni solidi.																
Specifiche del test	<p>Ai laboratori partecipanti sono stati inviati 1 campione di fosfogesso (250 g) e 2 campioni di acqua (500 g ciascuno), più altri 2 campioni di acqua (100 g ciascuno) per i laboratori interessati alla misura alfa e beta.</p> <p>Ai laboratori era richiesto di preparare i campioni, contarli, effettuare le necessarie correzioni (per le "vere" coincidenze, per l'autoassorbimento, ecc) per determinare il valore dell'attività (e relativa incertezza) e della Minima Attività Rivelabile dei 4 radionuclidi: U-234, U-238, Ra-226, Th-230 presenti in ciascun campione. Alla fine dell'interconfronto, la IAEA ha pubblicato un report (Draft december 2009) contenente i risultati di tutti i laboratori partecipanti.</p>																
Risultati di ENEA-IRP	<p>Campione di fosfogesso:</p> <table border="1"><thead><tr><th>Radionuclide</th><th>Attività IAEA (Bq/kg)</th><th>Attività ENEA (Bq/kg)</th><th>Final score</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ra-226</td><td>780,0 ± 31,0</td><td>775,0 ± 10,0</td><td>A</td></tr><tr><td>U-238</td><td>120,0 ± 5,5</td><td>118,0 ± 18,0</td><td>W</td></tr><tr><td>Pb-210</td><td>680,0 ± 29,0</td><td>315,0 ± 33,0</td><td>N</td></tr></tbody></table>	Radionuclide	Attività IAEA (Bq/kg)	Attività ENEA (Bq/kg)	Final score	Ra-226	780,0 ± 31,0	775,0 ± 10,0	A	U-238	120,0 ± 5,5	118,0 ± 18,0	W	Pb-210	680,0 ± 29,0	315,0 ± 33,0	N
Radionuclide	Attività IAEA (Bq/kg)	Attività ENEA (Bq/kg)	Final score														
Ra-226	780,0 ± 31,0	775,0 ± 10,0	A														
U-238	120,0 ± 5,5	118,0 ± 18,0	W														
Pb-210	680,0 ± 29,0	315,0 ± 33,0	N														
Conclusioni	I risultati ottenuti mostrano una buona accuratezza (-3,8% per il Ra-226 e -1,7% per il U-238) nella misura di attività in campioni solidi di fosfogesso per gli isotopi di interesse: Ra-226 e U-238.																

Partecipazione a progetti europei e ad iniziative
internazionali

COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI E PARTECIPAZIONE A PROGETTI EUROPEI

A cura di Elena Fantuzzi

1. Premessa

Le attività dell'Istituto sono inserite nel contesto della ricerca internazionale, in particolare europea. Inoltre, l'Istituto è Membro Votante di EURADOS (EUropean RADIation DOSimetry Group) e partner di progetti europei. Inoltre personale IRP è inserito in importanti commissioni e gruppi di lavoro internazionali come la Main Commission di ICRU (International Commission of Radiation Units and Measurements) (www.icru.org), i task group ICRP-DOCAL sulla dosimetria numerica (ICRP-DOsimetric CALculations) e ICRP-INDOS (ICRP-INternal DOSimetry) (www.icrp.org), il comitato NEA- CRPPH (Nuclear Energy Agency - Committee On Radiation Protection And Public Health, nonché comitati/gruppi di lavoro tecnici della ISO e della IEC. Nel 2009, nell'ambito del VII FP della Commissione Europea, l'Istituto di Radioprotezione ha partecipato ai progetti:

- ORAMED (Optimization of RADIation protection of MEDical staff) finanziato dal DG RD (Research and Development) (2008-2011);
- ENETRAPII, European Network for Education and Training in Radiation Protection-II;
- EU-Trimer (EUropean Technical Recommendations on Individual MOnitoring for Exetrnal Radiation) finanziato dal DG -TREN (Energy and Transport), tramite EURADOS.

Inoltre IRP, in collaborazione con il Dipartimento FPN, contribuisce a task specifici di attività di ricerca per la fusione nucleare finanziati da EURATOM e, nel 2009, ha contribuito alla realizzazione del training course sulla dosimetria interna organizzato da EURADOS e IAEA.

2. Progetti europei

2.1. ORAMED (<http://www.oramed-fp7.eu>) - Contratto N. (FP7) 211361

Il progetto ORAMED (Optimization of RADIation protection of MEDical staff) è "Collaborative Project" triennale (febbraio 2008 - gennaio 2011) finanziato dal DG R&D nell'ambito del 7° P.Q. e coordinato da SCK-CEN (Belgio). Coinvolge 10 laboratori (istituti di ricerca e ospedali universitari) e 2 ditte europee produttrici di sistemi dosimetrici. Nel 2009 le attività principali di IRP in tale ambito sono state le seguenti.

- 1- Terminate le simulazioni su modelli semplificati in radiologia interventistica (Work-package 1) si sono verificati gli effetti delle diverse qualità, dimensioni e proiezioni del fascio RX, incidente sul paziente, sulla dose assorbita dall'operatore.
- 2- (Work-package 2) Partendo dai coefficienti di conversione prodotti da IRP, si è passati allo studio del dosimetro TL, per la dosimetria al cristallino. Il lavoro di simulazione, preliminare ai test sul prototipo, è stato svolto in stretta collaborazione tra IRP, RADCARD (Polonia) e CEA (Francia).
- 3- Per la dosimetria alle estremità in medicina nucleare (Work-package 4) sono proseguite le valutazioni di dose sul modello voxel della mano ed è continuata la raccolta dei dati derivanti dalle misure eseguite sugli operatori coinvolti e provvisti di TL forniti dal Servizio di Dosimetria dell'Istituto.

2.2 EU-Trimer (<http://euradosnews.org>) - Contratto N. TREN/07/NUCL/S07.70121

Nel 2009 è terminato il progetto EU-Trimer (EUropean Technical Recommendations on Individual Monitoring for External Radiation) (durata aprile 2007-luglio 2009) finanziato dal DG-TREN della CE attraverso un consortium agreement con

il diretto contraente del progetto che è l'istituto greco GAEC (Greek Atomic Energy Commission). Il progetto ha portato alla pubblicazione da parte della Commissione Europea delle nuove raccomandazioni tecniche in tema di dosimetria individuale: EC RP 160 - Technical recommendations for monitoring individuals occupationally exposed to external radiation. Il documento è stato sottoposto all'approvazione del Gruppo di Esperti in radioprotezione ai sensi dell'art.31 del Trattato EURATOM ed ha quindi una valenza "europea" e tecnica molto significativa (si veda anche il contributo a pag. 48).

2.3 ENETRAPII (<http://enetrap2.sckcen.be/>) - Contratto N. (FP7) 232620

Il progetto ENEATRAPII intende continuare il lavoro svolto nel precedente progetto omonimo (<http://enetrap.sckcen.be/>), con lo specifico l'obiettivo di favorire l'armonizzazione e un reciproco riconoscimento delle professionalità in ambito europeo, attraverso l'adozione di un European Reference Training Programme (ERTP). Le attività di ENETRAP-II consistono principalmente nello sviluppo di requisiti europei condivisi nonché del materiale di riferimento (European Reference Standards) per la formazione in radioprotezione. In particolare si affronteranno i temi fondamentali quali il mutuo riconoscimento della formazione (education & training) e delle figure previste dalla normativa europea e nazionale (Qualified Expert e Radiation Protection Expert). Le attività si articolano in dieci Work-Packages:

- WP1 Co-ordination of the project
 - WP2 Define requirements and methodology for recognition of RPEs
 - WP3 Define requirements for RPO competencies and establish guidance for appropriate RPO training
 - WP4 Establish the reference standard for RPE training
 - WP5 Development and apply mechanisms for the evaluation of training material, events.
 - WP6 Create a database of training events and training providers (including OJT) conforming to the agreed standard
 - WP7 Develop of some course material examples (text book, e-learning modules,..)
 - WP8 Organise pilot sessions, test methodologies and monitor training scheme effectiveness
 - WP9 Introduction of the training passport and mutual recognition system of RPEs
 - WP10 Collaboration for building new innovative generations of specialists in RP
- IRP è coinvolto in tutti i work packages (con l'esclusione di 7 e 8) e il progetto avrà durata di 36 mesi, a decorrere dal 01.03.2009.

3. Contributi a task di ricerca finanziati da EURATOM

L'attività di progettazione e sviluppo di radioprotezione per l'impianto ITER NBTF (Neutral Beam Test Facility) di Padova è proseguita nel 2009 a cura del gruppo IRP di Frascati, con il coordinamento di S. Sandri, e la collaborazione del Consorzio RFX. L'attività è stata svolta nell'ambito di un *grant* europeo riconosciuto dal consorzio Fusion for Energy dell'Euratom (si veda il contributo specifico a pag. 81).

4. Conclusioni

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

IL RUOLO DI IRP IN EURADOS

Elena Fantuzzi

1. Premessa

L'Istituto di Radioprotezione è Membro Votante (Voting Member) di EURADOS (EUropean RADIation DOSimetry Group). 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.

2. ENEA-IRP come Membro Votante di EURADOS

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

L'associazione conta attualmente 54 "Voting Members" (laboratori o istituti di ricerca, dipartimenti universitari, ecc.) dell'Unione Europea e costituisce di fatto un network di istituti di ricerca nel campo della dosimetria delle radiazioni ionizzanti. EURADOS, infatti, coordina numerose attività di ricerca, sviluppo a cui partecipano decine di laboratori di riferimento in tutta Europa. A partire dal 2008 la sede legale è in Germania, presso il PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), di Braunschweig in Germania.

Per il raggiungimento dei suoi scopi EURADOS si basa sull'attività coordinata di diversi gruppi di lavoro (Working Group, WG), 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. È finanziato da progetti EU, quote di partecipazione a workshop, meeting annual, etc. e sponsor annuali (volontari) da parte dei Voting Member. 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 eletti dai Voting Members.

L'Annual Meeting, AM, e la General Assembly, GA, hanno luogo generalmente nel mese di gennaio di ogni anno, presso uno degli Istituti membri (Voting members). A partire dal 2006, in occasione dell'AM e della GA, hanno luogo anche un Scientific Symposium e una sessione di formazione, Winter School, su tematiche relative alla dosimetria. Gli atti del Scientific Symposium sono pubblicati su Radiation Protection Dosimetry in un numero speciale, mentre quelli della Winter School sono generalmente resi disponibili direttamente sul sito di EURADOS e/o raccolti in un rapporto tecnico dell'Istituto ospitante.

L'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA (ENEA-IRP) ricopre il ruolo di Voting Member fin dagli anni '80. Il responsabile dell'Istituto, Elena Fantuzzi, è dal 2004 membro del Consiglio (Council) e dal gennaio 2007 è Vice-Chairperson. Inoltre, alcuni ricercatori dell'Istituto sono membri di working group che EURADOS finanzia direttamente o attraverso la partecipazione a progetti europei

3. EURADOS Working Groups

In EURADOS nel 2009 i seguenti 7 Working Group hanno svolto attività di ricerca ed armonizzazione:

- WG2: Harmonization in Individual Monitoring in EU - membro IRP: E. Fantuzzi.
- WG3: Environmental dosimetry

- WG6: Computational dosimetry – membri IRP: G. Gualdrini (coordinatore), P.Ferrari;
- WG7: Internal Dosimetry - 3 membri IRP: P. Battisti, C. M. Castellani, A. Luciani;
- WG9: Radiation protection dosimetry in medicine
- WG10: Retrospective dosimetry
- WG11: High Energy radiation Fields

WG2: Harmonization in Individual Monitoring

Il WG è attivo dal 1997, l'ENEA partecipa sin dalla sua fondazione. La composizione del WG2 è variata nel corso degli anni. Attualmente è composta da 17 membri. Tuttavia le attività del 2009 sono state prevalentemente ristrette a due azioni:

- la redazione delle raccomandazioni tecniche sulla dosimetria individuale per esposizione esterna, finanziata specificamente dalla CE (DG TREN) con il progetto EUTrimer (European Union Technical Recommendation in Individual Monitoring for External Radiation) (vedi contributo specifico nelle pagine seguenti);
- organizzazione e realizzazione del secondo interconfronto di dosimetria esterna, questo anno per dosimetri per estremità per fotoni e radiazione beta. L'interconfronto si basa su un "performance test". Le quote di partecipazione hanno permesso di coprire i costi di gestione e di irraggiamento dei dosimetri presso i centri di taratura accreditati. Hanno partecipato 44 servizi di dosimetria appartenenti a 18 Paesi Europei con 59 sistemi dosimetrici, in particolare 46 per dosimetria ad anello, 4 per estremità delle dita e 9 per bracciali (polso/caviglia). I risultati preliminari dell'Interconfronto sono stati presentati all'Annual Meeting 2010 di EURADOS e quelli definitivi saranno pubblicati su Radiation Protection Dosimetry. I risultati sono soddisfacenti, infatti, solo il 10% risulta "outlier", cioè al di fuori dei criteri di accettabilità fissati dall'ICRP.

Il lavoro svolto dal WG2 ha un elevato valore per la radioprotezione dei lavoratori in Europa. La stessa organizzazione di un "interconfronto europeo" su base annua, anche se per tipi di dosimetri differenti, va nella direzione di un possibile confronto della prestazione dei sistemi dosimetrici in uso e del mutuo riconoscimento dei servizi dosimetrici sulla base della accertata qualità dei dati dosimetrici forniti. La partecipazione dell'Istituto di Radioprotezione al WG, sin dall'inizio e per tutta la durata dei lavori, ha permesso di mantenere la dosimetria individuale in uso in ENEA sempre all'avanguardia e al passo con lo standard europeo e parallelamente di garantire un ruolo di riferimento dell'ENEA in Italia sul tema della dosimetria individuale. Ulteriori informazioni sono disponibili sul sito di EURADOS.

WG6: Computational dosimetry

IRP coordina il Gruppo di Lavoro WG6 – Computational Dosimetry, che continua il lavoro di oltre 30 anni sulla dosimetria computazionale, inizialmente fra pochi laboratori leader in Europa, nell'ambito di azioni specifiche finanziate dalla Comunità Europea.

Attualmente il Gruppo è costituito da circa 15 'full members' e da oltre 30 'corresponding members'.

Il WG6 ha suddiviso i suoi campi di ricerca e sviluppo in 7 linee di attività/tasks assegnate ciascuno ad un coordinatore.

I diversi task, che hanno obiettivi di medio-lungo termine fino ai prossimi 4 anni, sono i seguenti:

- 1- Lung in vivo monitoring: misure sperimentali e simulazioni numeriche per determinazioni in vivo di attinidi (nello specifico ^{241}Am) nel polmone;

- 2- Neutron Spectra Unfolding: ricostruzione degli spettri neutronici dalla conoscenza dei conteggi strumentali e delle funzioni risposta dei sistemi a Sfere di Bonner (BSS) attraverso diversi software di deconvoluzione (unfolding). Tale iniziativa è di particolare interesse perché mette alla prova la capacità operativa di valutare spettri di neutroni ad esempio nei luoghi di lavoro.
- 3- LINAC design: esecuzione di un progetto completo di LINAC, sulla base delle specifiche di ditta costruttrice, e valutazione delle quantità dosimetriche associate in fantoccio ad acqua (standard di calibrazione) integrate dall'analisi complessiva delle incertezze associate
- 4- Monte Carlo and experimental parameters for Individual Monitoring: organizzazione di training course sui metodi sperimentali e di modellistica Monte Carlo, da tenersi presso il CEA Saclay, per la progettazione di dosimetri individuali in termini di $Hp(d,\alpha)$, con valutazione delle grandezze dosimetriche operazionali, dei parametri fisici in gioco (fattori di retrodiffusione da fantocci e spettri retrodiffusi).
- 5- Voxel Models Development: training course sullo sviluppo di modelli umani a voxel, che presenterà le basi algoritmiche per passare dai 'Raw Data' ottenuti da TC o RMN per produrre modelli segmentati per il Monte Carlo, attraverso tecniche di filtraggi (thresholding), metodi di region growing e modellazione manuale di affinamento finale.
- 6- Micro e nanodosimetria: la stragrande maggioranza dei codici di calcolo impiegati per la dosimetria assumono una ipotesi macro-dosimetrica, nel senso che la dose è definita come una energia media depositata in un volume omogeneo di dimensioni otticamente apprezzabili. In realtà il vero processo di ionizzazione-eccitazione avviene su scale micro e nanodosimetrica. È necessario quindi ricorrere a codici in grado di valutare le storie di deposizione di energia a livello nanometrico e simulare anche la struttura del DNA. Ciò è ovviamente complementato da misure sofisticate che solo pochissimi gruppi a livello mondiale sono in grado di svolgere. L'iniziativa culminerà in una Scuola o in un Workshop finale.
- 7- Dosimetria delle alte energie: in collaborazione con il WG11 High Energy Fields saranno individuati esperimenti per testare il dominio delle basse energie trattato dai codici Monte Carlo per le alte energie, situazioni in cui si riscontrano significative discrepanze nei risultati. Inoltre è in programma una serie multipla di studi, in particolare sulle risposte di dosimetri per le alte energie.

Tutte le tematiche trattate saranno supportate da una esperienza anche algoritmica sul trattamento delle incertezze non statistiche legate all'uso dei modelli Monte Carlo.

Sul sito di EURADOS verrà data periodicamente informazione sulle iniziative proposte nel tempo.

WG7: Internal Dosimetry

Il WG è composto da 56 ricercatori di vari istituti di ricerca europei ed anche americani e canadesi. Il lavoro è suddiviso in 5 tasks sviluppati da gruppi ristretti:

- Task 7.1.- Update of IDEAS Guidelines and Databases – coordinato da ENEA (Carlo Maria Castellani): le linee Guida IDEAS saranno aggiornate nel 2011 per tenere conto dei più recenti sviluppi della modellistica, di una proposta di norma ISO 27048 "Radiation protection — Dose assessment for the monitoring of workers for internal radiation exposure" in definizione e dei risultati del progetto CONRAD, conclusosi nel 2008, nonché dell'esperienza della applicazione a casi reali acquisita negli anni.

- Task 7.2.- Implementation and Quality assurance of Biokinetic Models: (i) Valutazione dell'influenza dei nuovi parametri di default per il modello respiratorio. (ii) Comparazione di modelli per lo iodio (nuovo da Leggett, di Berkowski, ICRP 88 senza la parte del feto e di Johansson per la medicina nucleare)(iii) implementazione del nuovo modello del cesio, (iv) la valutazione delle differenze nelle varie procedure di media sui generi nell'approccio alla dose efficace ex ICRP 103.
- Task 7.3.- Towards a DTPA Therapy Model: sono in corso gli valutazioni, grazie ad una collaborazione fra EURADOS e l'USTUR (US Transuranium & Uranium Registries), che prevedono l'interpretazione dei alcuni casi nel database di USTUR e la discussione sulle nuove idee per la modifica del modello.
- Task 7.4.- Monte Carlo Application to in-vivo monitoring of radionuclides: è stato effettuato un inter-confronto internazionale di misure e calcoli Monte Carlo con l'uso del fantoccio USTUR della gamba contenente ossa realmente contaminate. I risultati di misura e modellazione Monte Carlo sono stati presentati e discussi tra i partecipanti: IRSN (F), HML (Canada) , CIEMAT (E) e Helmholtz Zentrum Munchen (D).
- E' al via anche un nuovo Task 7.5 - Uncertainty studies on dose assessments coordinato da IRSN (F) relativo allo studio delle incertezze nella valutazione di dose con un piano di lavoro che prevede inizialmente studi di sensibilità sui parametri del nuovo modello sistemico del cesio proposto da Leggett.

Una importante attività del WG a cui hanno partecipato rappresentanti dell'Istituto di Radioprotezione nel 2009 è stato il "EURADOS/IAEA Training Course on Advanced Methods for Internal Dose Assessment Application of IDEAS Guidelines and Dissemination of CONRAD Internal Dosimetry Results"tenuto presso la Università Tecnica della Repubblica Ceca a Praga dal 2 al 6 Febbraio 2009 (vedi specifico contributo nelle pagine seguenti).

La permanenza di esperti italiani di dosimetria interna nei diversi gruppi di lavoro rappresenta la condizione indispensabile per il mantenimento e l'aggiornamento delle metodologie di dosimetria interna.

4. Conclusioni

La partecipazione alle attività di EURADOS permette ad IRP di essere costantemente in contatto con istituti di ricerca europei, ed in particolare con le unità e/o dipartimenti "analoghi" che si occupano della protezione dalle radiazioni ionizzanti. Ciò favorisce la formazione di gruppi di potenziali partner per progetti europei con obiettivi specifici in dosimetria delle radiazioni.

ORAMED WORK PACKAGE 1

A cura di Paolo Ferrari

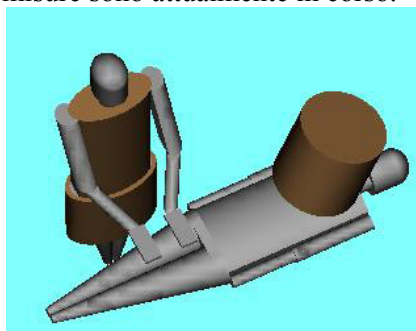
1. WP-1 in ORAMED

Il Work Package 1 (WP-1) del progetto ORAMED è indirizzato alla valutazione delle dosi alle estremità (mani, avambracci, gambe e cristallino) degli operatori dello staff medico impegnato in procedure di radiologia e cardiologia interventistica, IR/IC. Come ben noto, tali pratiche sono caratterizzate da un livello di dose più elevato, rispetto alle altre pratiche di diagnostica RX, sia per il paziente sia per l'operatore.

2. Attività nel WP-1 e contributo di IRP

L'obiettivo del WP-1 è ottenere un set di dati dosimetrici standardizzati per lo staff medico che lavora in IR/IC. Il programma di lavoro prevede una serie di negli ospedali che collaborano all'iniziativa, per alcune delle più diffuse pratiche in tale settore: 3 cardiache – angiografia cardiaca (CA) e angioplastica (PTCA), ablazione con radiofrequenza (RFA), impianto di pacemaker (PM) - e 5 di interventistica generale – angiografia (DSA) e angioplasties (PTA) degli arti inferiori, delle carotidi, renale e colangiopancreatografia (ERCP). Il protocollo impone un numero sufficiente di misure allo scopo di ottenere una buona affidabilità dei valori individuati che tengano conto della naturale distribuzione di tale tipo di misure. Le misure sono attualmente in corso.

Uno degli scopi del WP-1 è stabilire quali siano i parametri che maggiormente influenzano le dosi in tali pratiche e data la complessità degli scenari indagati (e la difficoltà di intervenire nel corso della pratica diagnostica) si è deciso di accoppiare alle misure una vasta serie di simulazioni Monte Carlo. I parametri da studiare in queste simulazioni sono:



l'energia del fascio RX; la proiezione/campo d'ingresso del fascio sul paziente; la filtrazione del fascio; la presenza di schermature; la dimensione del capo di radiazione.

Tali parametri sono stati studiati per differenti qualità di radiazione rappresentanti l'intervallo tipico delle applicazioni di IR/IC. L'IRP ha preparato i modelli per tutte le simulazioni e partecipa al calcolo delle dosi all'operatore (cristallino, avambracci, mani e gambe) per i casi che riguardano l'irraggiamento del torace del paziente. Allo scopo di ridurre i tempi di calcolo necessari all'ottenimento di una sufficiente precisione per le stime Monte Carlo si è deciso di introdurre accanto ai modelli antropomorfi (in figura) modelli semplificati. Nel corso del 2009 sono state portate a termine le simulazioni previste per questi modelli (discutendone anche la validità nel caso dell'irraggiamento del torace) e sono state effettuate una serie di valutazioni con i modelli dettagliati.

3. Risultati preliminari

Le simulazioni sono state eseguite considerando energie da 60 to 110 kVp, per filtrazioni da 3 a 6 mm Al e da 0 a 0.9 mm Cu e considerando differenti proiezioni: PA, LAO e RAO (30°, 60°, 90°), caudale e craniale (20° e 40°) e alcune combinazioni delle precedenti. Per tutte le proiezioni si osserva che, in generale, la dose diminuisce all'aumentare del voltaggio e della filtrazione del fascio e aumenta, come era atteso, all'aumentare del diametro del campo di radiazione. Tutti questi effetti dipendono fortemente però dalla regione del paziente irraggiata e dalla proiezione considerata.

ORAMED WORK PACKAGE 2

A cura di Gianfranco Gualdrini e Francesca Mariotti

1. WP-2 in ORAMED

Il Work Package 2 (WP-2) del progetto ORAMED è coordinato da IRP ed indirizzato allo studio della quantità operazione $H_p(3)$ in funzione dello sviluppo di un dosimetro idoneo alla stima della dose al cristallino in termini della grandezza operativa suddetta.

2. Attività nel WP-2 e contributo di IRP

Il rinnovato interesse per la dosimetria al cristallino è conseguenza di una serie di evidenze sulla possibilità che gli effetti deterministici da esposizione alle radiazioni ionizzanti si possano avere anche per dosi inferiori a quelle sino ad ora ipotizzate. Questo ripensamento impone una miglior definizione della grandezza operativa $H_p(3)$ sin qui trascurata nelle pubblicazioni ufficiali dell'ICRP. Per questo motivo la prima parte dell'attività del WP-2 è stata incentrata sullo studio degli aspetti definatori della grandezza operativa $H_p(3)$ che ha consentito di introdurre un nuovo modello per la caratterizzazione della grandezza costituito da un cilindro a sezione coronale quadrata di lato 20 cm di materiale ICRU 4 elementi. I coefficienti di conversione $H_p(3)$ calcolati sul cilindro mostrano una maggior rispondenza alla corrispondente dose equivalente nel cristallino, $H_{T(\text{eye-lens})}$, rispetto agli stessi calcolati su uno slab $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$ come sarebbe sottointeso nel report 47 dell'ICRU [1]. Allo scopo di rendere possibile la calibrazione di dosimetri sviluppati per la valutazione della dose in termini di $H_p(3)$ è stato costruito un fantoccio cilindrico con pareti di PMMA delle stesse dimensioni del precedente. Con opportune simulazioni sono stati valutati i fattori di retro-diffusione per vari angoli e differenti qualità di fascio.

La precedente attività è stata completamente a carico di IRP. Lo sviluppo del dosimetro è compito della ditta RADCARD[®] (Polonia) partner al contratto ORAMED. Una serie di simulazioni preliminari Monte Carlo, coordinate da IRP, sono state necessarie ai ricercatori della ditta per stabilire le migliori caratteristiche per gli spessori e i materiali utilizzati nella costruzione del prototipo di dosimetro sviluppato.

3. Risultati preliminari

Partendo da questi studi è stato sviluppato un primo prototipo di dosimetro costituito da una pastiglia TL MCP-N(LiF:Mg,Cu,P) incapsulata in una emisfera costituita di materiale plastico e atta a simulare i 3 mm di spessore che costituiscono la profondità a cui è definita la grandezza operativa. L'analisi della risposta del dosimetro a vari angoli e per differenti energie di radiazione X è stata ottenuta da una serie di simulazioni Monte Carlo confermate da misure eseguite nei laboratori francesi del CEA. Un primo set di dosimetri caratterizzati verrà distribuito negli ospedali che collaborano al progetto per consentire la raccolta di una serie di dati concernenti l'esposizione dello staff medico di cardiologia e radiologia interventistica.

[1] Mariotti F, Gualdrini G, ORAMED project. Eye-Lens Dosimetry. A new Monte Carlo approach to define the operational quantity $H_p(3)$, ENEA RT/2009/1/BAS.

ORAMED WORK PACKAGE 4

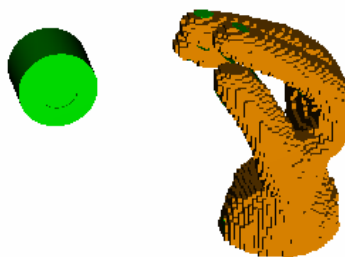
A cura di Paolo Ferrari, Francesca Mariotti e Gianfranco Gualdrini

1. WP-4 in ORAMED

Il Work Package 4 (WP-4) del progetto ORAMED è indirizzato alla valutazione delle dosi alle estremità (mani e avambracci) degli operatori impegnati in procedure di medicina nucleare nella preparazione e somministrazione di radiofarmaci per diagnostica (Tc-99m e F-18) e terapia metabolica (Zevalin[®], DOTATOC[®]).

2. Attività nel WP-4 e contributo di IRP

L'obiettivo del WP-4 è studiare la distribuzione della dose alle mani degli operatori e determinare le relazioni tra le posizioni comunemente utilizzate per la stima dell'esposizione e i punti caratterizzati dalla dose più elevata. Per tale ragione è stata avviata una campagna di misure nei dipartimenti di medicina nucleare di 33 ospedali europei. Per ognuno degli operatori coinvolti sono state distribuite coppie di guanti attrezzate di dosimetri a termoluminescenza (11 per mano) per la stima puntuale della dose. Data la complessità degli scenari in esame, lo studio dei fattori maggiormente influenzanti la dose (quali la presenza di schermature, le condizioni di manipolazione del radiofarmaco, la procedura seguita) è fatto utilizzando una serie di simulazioni numeriche Monte Carlo. Per tali simulazioni sono stati generati dei modelli voxel impiegando i dati TC della scansione tomografica di alcuni fantocci della mano creati *ad hoc* per il progetto. L'IRP è coinvolto in ORAMED sia per la parte sperimentale, sia per le simulazioni. L'istituto ha provveduto a fornire agli ospedali italiani coinvolti (Gemelli di Roma, S.Orsola-Malpighi di Bologna, Ospedali Riuniti di Bergamo, IEO di Milano, Ospedale di Bolzano-Bozen) i guanti attrezzati con TL MCP-Ns impiegati usualmente nelle attività del servizio dosimetrico. Le letture dei TL utilizzati nelle procedure di preparazione e somministrazione di Tc-99m, F-18 e Zevalin[®] (con Y-90) sono state cumulate con quelle ottenute dagli altri ospedali europei. Per quanto riguarda le simulazioni, IRP ha partecipato con uno studio sulle condizioni di equilibrio elettronico a livello dell'interfaccia tra la superficie laterale della siringa (schermata o no) e il punto di misura della dose in termini di $H_p(0.07)$ [1]. Tali simulazioni sono servite a verificare la validità dell'approssimazione al kerma nei successivi calcoli di dose. IRP sta inoltre eseguendo le valutazioni di distribuzione di dose alla mano nel caso di manipolazione del vial contenente i radiofarmaci attraverso pinze (figura a fianco).



3. Risultati preliminari

La raccolta dei dati è ancora in corso così come sono in corso le simulazioni. A titolo di esempio dei risultati attesi dal WP-4 si riportano alcuni dati derivati dall'analisi preliminare: la dose massima nel caso della somministrazione di Tc-99m è circa 1.5 (mSv/GBq), in corrispondenza dell'ultima falange del dito indice. Tale dose è inferiore a quella registrata, nello stesso punto, per F-18, 3.7 (mSv/GBq), e Y-90, 10.8 (mSv/GBq). Nel caso della preparazione tali dosi aumentano di un fattore 3-4.

[1] F. Mariotti and G. Gualdrini. "ORAMED PROJECT. Nuclear medicine application: studies on electron and photon transport". ENEA RT/2009/19/BAS.

IL PROGETTO EU-TRIMER

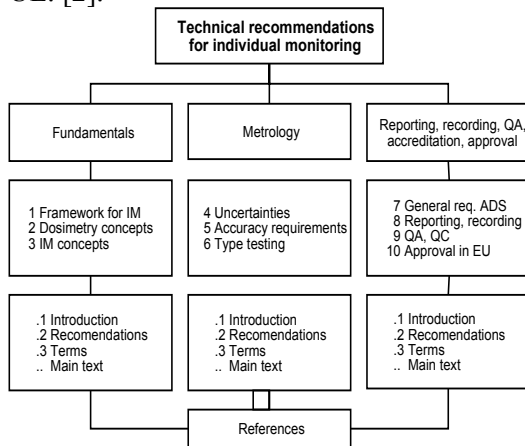
Elena Fantuzzi

1. Introduzione

Nel periodo 2007-2009, il gruppo *WG2, Harmonization of Individual Monitoring in Europe* di EURADOS ha ottenuto il finanziamento del progetto EU-Trimer (EU Technical Recommendation for Individual Monitoring of External Radiation) da parte della Commissione Europea DG TREN (*Contratto N. TREN/07/NUCL/S07.70121*). Il progetto è stato coordinato dalla *Greek Atomic Energy Commission (GAEC)* attraverso la stipula di un Consortium Agreement con EURADOS, che ha svolto la funzione di “network” di competenze e contatti con i singoli riferimenti nazionali dei Paesi membri.

2. L’obiettivo del progetto

Il progetto ha portato alla pubblicazione da parte della Commissione Europea delle nuove raccomandazioni tecniche in tema di dosimetria individuale: *EC RP 160 - Technical recommendations for monitoring individuals occupationally exposed to external radiation* [1]. Il documento è stato sottoposto all’approvazione del Gruppo di Esperti in radioprotezione, ai sensi dell’art.31 del Trattato EURATOM, ed ha quindi una valenza “europea” e tecnica molto significativa. Il nuovo documento mette insieme raccomandazioni e normative tecniche da Direttive Europee, pubblicazioni ICRP e ICRU nonché rapporti tecnici IAEA, norme IEC, ISO e pubblicazioni EURADOS. Le raccomandazioni hanno lo scopo di fornire una guida all’implementazione delle Direttive Europee e favorire la armonizzazione delle procedure di monitoraggio individuali nella UE. [2].



Il lavoro è stato svolto, prevalentemente, da un task group di 7 esperti, scelti dal Council di EURADOS, fra gli esperti di dosimetria individuali (in particolare del WG2) incaricati della stesura del testo secondo le specifiche competenze:

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

Ogni capitolo contiene una sintesi delle raccomandazioni tecniche sull’argomento trattato e costituisce un testo autoconsistente. Il documento è molto dettagliato e si rivolge a servizi di dosimetria, aziende e fornitori di sistemi dosimetrici e autorità nazionali vigilanti sulle tecniche di radioprotezione

3. Conclusioni

La pubblicazione aggiorna e sostituisce le precedenti raccomandazioni tecniche della Commissione Europea, risalenti al 1994. e può considerarsi come il testo più aggiornato nel campo delle raccomandazioni per l’individual monitoring, nonché un contributo fondamentale all’armonizzazione delle procedure a livello comunitario.

[1] EC RP 160. Technical recommendations for monitoring individuals occupationally exposed to external radiation”, (2009).

[2] http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/publications_en.htm

EURADOS/IAEA ADVANCED TRAINING COURSE SULLA DOSIMETRIA INTERNA

Carlo-Maria Castellani e Andrea Luciani

1. Premessa

Nel quadro delle attività di dosimetria interna all'interno del Progetto CONRAD "A Coordinated Network for Radiation Dosimetry", a cui ha partecipato l'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA, da parte EURADOS e IAEA si è promossa la realizzazione di un corso avanzato di dosimetria interna denominato "EURADOS/IAEA Regional Training Course on Advanced Methods for Internal Dose Assessment - Application of IDEAS Guidelines and dissemination of CONRAD internal dosimetry results". Il corso si è tenuto dal 2 al 6 Febbraio 2009 presso la Università Tecnica Ceca (CTU) a Praga. Durante la settimana di corso la CTU ha messo a disposizione le proprie infrastrutture, in particolare un'aula con 40 postazioni, opportunamente attrezzate, in modo da garantire ai partecipanti di poter eseguire il download dei materiali necessari (<http://behounek.fjfi.cvut.cz/>): le linee guida IDEAS, tre software per la valutazione di dose interna e i file di supporto per le esercitazioni da utilizzare durante il corso, comprendenti i 4 casi di studio (casi ELP) da sottoporre a valutazione da parte dei partecipanti durante il test finale.

2. Risultati del corso

18 partecipanti dai paesi aderenti a EURADOS (in rappresentanza dei seguenti stati europei: B, DK, E, FIN, UK, I, POL, SLO e dall'Argentina) e 16 selezionati dalla IAEA (in rappresentanza dei seguenti stati: Armenia, Bosnia, Bulgaria, Kazakistan, Lituania, Montenegro, Polonia, Rep. Ceca Romania, Serbia, Slovenia e Ucraina) hanno preso parte al corso. I 2 partecipanti italiani provenivano da ENEA Casaccia e SOGIN Roma.

I 4 casi ELP proposti erano relativi a condizioni di esposizione, radionuclidi implicati e tipologie di monitoraggio diverse: I quattro casi sono stati affrontati rispettivamente da 33, 22, 26, e 14 partecipanti su 34. Pertanto circa il 40% dei partecipanti ha risolto tutti i 4 casi nel tempo assegnato (7 ore). Un'analisi dei risultati ha permesso di valutare un limitato numero di risultati outlier per i diversi parametri valutati le diverse tipologie di errori (triviali, di concetto e di applicazione delle linee guida) presentate dai partecipanti. Al termine del corso i partecipanti sono stati poi sottoposti a 23 test a risposta multipla con 4 risposte di cui una sola corretta. La maggior parte dei partecipanti (29) ha raggiunto un numero di risposte corrette che può essere considerato sufficiente (60% ossia 14 risposte corrette su 23). Solo 5 partecipanti hanno ottenuto risultati inferiori. Per quanto attiene alla valutazione complessiva sullo svolgimento del corso, i partecipanti hanno valutato il corso con un punteggio medio complessivo di 4.6 punti su 5 punti massimi (22 partecipanti indicano 5 punti, 9 partecipanti 4 punti, i rimanenti 3 partecipanti 3 punti). Il feedback è stato quindi del tutto positivo.

3. Conclusioni

Il corso ha permesso di presentare le più innovative metodologie di valutazione di dose interna ad una platea di utilizzatori effettivi, provenienti da 18 nazioni europee e dall'Argentina. Si è fatto uso delle più moderne metodologie basate sul web per la distribuzione dei documenti e per la raccolta dei materiali elaborati. Tutto ciò dimostra l'ottimo successo sia in termini di disseminazione delle metodologie di dosimetria interna che del riscontro da parte dei partecipanti a questa iniziativa formativa, alla quale l'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA ha contribuito in modo sostanziale.

I laboratori e le attività di IRP nei centri di ricerca
dell'ENEA

ATTIVITÀ E RICERCHE SPECIFICHE DEL PERSONALE IRP PRESSO IL CR ENEA DI BOLOGNA-MONTECUCCOLINO

A cura di Carlo Maria Castellani

1. Premessa

Il personale di IONIRP a Montecuccolino annovera complessivamente 17 addetti, di cui 11 laureati.

A Montecuccolino, sono presenti i laboratori

- del Centro di Metrologia per Radiazioni Ionizzanti - con caratteristiche di Centro Secondario di Taratura SIT per fotoni, radiazione beta e neutroni - per la taratura di strumentazione di radioprotezione e dosimetria individuale.
- del Servizio di Dosimetria Personale Esterna - con tecniche di misura a termoluminescenza, a stato solido (CR-39), e ad attivazione,
- per la misura della concentrazione di radon gas (e l'effettuazione del Servizio di Valutazione della concentrazione di radon in aria) accompagnato dal laboratorio NORM (Naturally Occurring Radioactive Material) per misure di radionuclidi "figli del radon" e radionuclidi naturali in genere,
- un Whole Body Counter (WBC) per la misura diretta di contaminazione interna per radioisotopi gamma emettitori ed il relativo know how per lo sviluppo dei modelli e la qualificazione in valutazione di dose in dosimetria interna.

2. Laboratori e attività qualificanti

2.1 Centro di taratura

Il Centro di Taratura per strumentazione attiva e passiva dispone di laboratori attrezzati (5 sale irraggiamento), completi di sorgenti di idonea intensità, banchi ottici, strumentazione di riferimento (camere secondarie) e competenze, per l'effettuazione di tarature di strumentazione atta alla rivelazione di radiazioni X, gamma, beta e neutronica. Nonostante alcune apparecchiature richiedano un necessario aggiornamento (l'ultimo è stato fatto in sede di trasloco delle attrezzature nel 1995), le procedure di automatizzazione dei sistemi di irraggiamento, sviluppate più di recente in ambiente Labview, garantiscono l'operatività del centro.

Attualmente la maggiore criticità è relativa alla procedure legate alla richiesta di nuovo accreditamento SIT. Tale lavoro, previsto anche in collaborazione con IONMETR Casaccia, permetterà la nuova operatività, anche metrologica, del centro.

Il centro dispone di sorgenti ed ambienti per taratura di strumentazione attiva e passiva in campo neutronico o misto che risultano di interesse fondamentale per la caratterizzazione dosimetrica (nelle grandezze operazionali richieste dalla legislazione italiana) dei campi presenti all'interno dei reattori nucleari o nelle attività afferenti il ciclo del combustibile, sia per la verifica iniziale, che per la sorveglianza fisica agli operatori in caso di manutenzioni straordinarie. Attività di ricerca e qualificazione in campo sperimentale relativamente alla spettrometria neutronica sono in corso in ambito internazionale ed in collaborazione con INFN Frascati.

2.2 Servizio di dosimetria personale

Il Servizio di Dosimetria Personale costituisce una struttura di qualità attrezzata di sistemi di lettura di materiali termoluminescenti, con caratterizzazione individuale del singolo rivelatore, di un laboratorio di attacco chimico per rivelatori a tracce di neutroni (CR-39) e di un sistema automatico di lettura di tracce nucleari. Dispone, inoltre, di catene di valutazione per sistemi dosimetrici di criticità ambientali e personali.

Il Servizio fornisce attualmente 230 enti esterni per complessivi 80000 dosimetri annualmente distribuiti.

Le tipologie di dosimetri fornite comprendono: X e gamma al corpo intero, neutroni termici e gamma entrambi a termoluminescenza (TL), neutroni veloci a CR-39, estremità: anello e bracciale (a TL anche con spessore sottile per radionuclidi beta emittenti ad energie deboli) (anche sterilizzabili), dosimetro di criticità personale ed ambientale e relative metodologie di valutazioni di dose in base alle richieste grandezze operazionali.

2.3 *Laboratorio Radon e Naturali*

Il servizio garantisce attività di routine, attività finalizzate al mantenimento della qualità della misura e attività legate a commesse esterne. Esso si avvale di un laboratorio chimico per l'attacco dei rivelatori a stato solido posti all'interno dei dosimetri, un sistema automatizzato di lettura ed identificazione di tracce nucleari, un laboratorio (NORM) con possibilità di esposizioni controllate ad atmosfere di ^{222}Rn e ^{220}Rn .

Come aggiornamento e sviluppo del servizio fornito il dosimetro Radon, brevettato nel 2006, viene al momento sperimentato in accoppiamento con altro dosimetro potenziato nella capacità di permeazione dei gas radioattivi, per la rilevazione dei prodotti di decadimento del toron (^{220}Rn) oltre che del radon (^{222}Rn).

In relazioni ai nuovi orientamenti WHO e ICRP relativamente alla valutazione dosimetrica relativa ai coefficienti di dose da radon, che dovrà essere contabilizzato su base dosimetrica come tutti gli altri radioisotopi in dosimetria interna, il Servizio Radon si sta attrezzando per poter effettuare valutazioni di dosimetria interna da radon, toron e progenie. Sono stati realizzate camere di esposizione e un dispositivo per generazione controllata di atmosfere toron sulla base di una sorgente a emanazione di torio. La qualificazione della strumentazione è avvenuta sia da confronto con il PTB tedesco che mediante l'accettazione di paper con peer-review internazionale.

Oltre 30 sono gli utenti del servizio e ciò comporta la fornitura periodica di più di 500 dosimetri e la lettura di oltre 100 rivelatori.

2.4 *Modellistica numerica*

La competenza di modellistica numerica è spesso richiesta in molte applicazioni dosimetriche. La dotazione strumentale è relativa all'insieme dei codici Montecarlo di trasporto della radiazione come MCNPX (per fotonica, neutronica, elettronica e alfa) assieme a codici *ad hoc* per la creazione di file di input, particolarmente rivolti alla utilizzazione di fantocci voxel derivati da scansioni CT o RM del corpo intero o di parti di esso. Ulteriori facilities sono relative a codici per il rendering geometrico (quali SABRINA, Moritz e IDL).

Le applicazioni principali sono in dosimetria (progetto Europeo ORAMED) e nella qualificazione di sistemi di misura, come lo studio della risposta di un sistema di spettrometria neutronica basato su sfere di bonner con rivelatori sia passivi che attivi.

2.5 *Whole Body Counter*

Presso il centro di Montecuccolino è presente un contatore del corpo umano intero (Whole Body Counter) ad alta energia (gamma emittenti con radiazioni superiori a 100 keV) e un monitor per la valutazione di attività localizzata in organi di elezione (quali iodio in tiroide).

La dotazione sperimentale permette la valutazione dei maggiore gamma emittitori di energia superiore ai 100 keV (quali prodotti di fissione e attivazione) uniformemente distribuiti nell'organismo o localizzati nel polmone o in altri organi di elezione, anche in seguito ad eventi di contaminazione interna incidentali. La strumentazione attualmente presente seppure qualificata e funzionante, dovrebbe essere aggiornata mediante sostituzione del cristallo rivelatore con cristallo al germanio, in vista dell'effettuazione di un servizio di misura di attività al corpo intero.

Per quanto attiene i metodi di valutazione di dose da contaminazione interna questi vengono aggiornati sulla base delle attività di qualificazione internazionale a cui l'addetto IRP partecipa (a part time) ad es. working group all'interno di EURADOS) con effettuazione di attività internazionali e di formazione . Le competenze di sviluppo di modelli biocinetici per dosimetria interna attualmente sono in stand by per congedo di ricerca del ricercatore addetto.

2.6 Attività di Esperto Qualificato

Le attività di Esperto Qualificato di centro sono espletate per quanto attiene le fasi di progettazione, verifica iniziale e periodica dei dispositivi di protezione e misure di sorveglianza ambientale per le attività presenti nei centri di Faenza (RA) , Brasimone (BO) e Montecuccolino. L'aggiornamento delle procedure di verifica dei dispositivi e dei controlli di sorveglianza fisica ambientale e personale, viene effettuato anche sulla base delle prescrizioni emanate dagli organi di controllo centrali e periferici . Vengono seguite le pratiche di autorizzazione presso le amministrazioni competenti a livello centrale o periferico.

ATTIVITÀ E RICERCHE SPECIFICHE DEL PERSONALE IRP PRESSO IL CR ENEA DELLA CASACCIA

A cura di Enrico Borra, Anna Giovanetti e Giorgia Iurlaro

1. Premessa

L'unità di Radioprotezione, IONIRP, operante nel Centro ENEA di Casaccia è composta da 21 dipendenti, di cui 3 laureati, a cui si aggiunge 1 assegnista di ricerca. In sintesi le attività svolte dall'unità IONIRP nel centro della Casaccia sono brevemente riassunte nei seguenti paragrafi.

2. Attività di Sorveglianza Ambientale

Il Servizio di Sorveglianza Ambientale effettua sistematicamente misure di radioattività su campioni ambientali ed alimentari, prelevati nelle vicinanze della Casaccia. Oltre al controllo dell'esposizione esterna il servizio di sorveglianza ambientale esamina le seguenti matrici, per ognuna delle quali si compiono specifiche determinazioni radiometriche: particolato atmosferico, acque geografiche, acqua potabile, sedimenti fluviali, suolo, vegetali (ortaggi, foraggio), cereali, latte. Ogni matrice subisce generalmente un opportuno trattamento chimico/fisico prima di essere sottoposta alle necessarie misure ed analisi.

Il Servizio provvede, inoltre, alla misura di alcuni campioni potenzialmente ad alta attività provenienti dagli impianti (campioni in fase acquosa, terreni, parti o pezzi di materiale metallico o plastico, filtri, smear-test) e fornisce attività di servizio per utenti esterni all'Enea.

Il laboratorio è inserito nel piano di emergenza nucleare esterna e coordina quattro squadre, addestrate per interventi diretti sul territorio e per le operazioni di trattamento radiochimico e di misura dei campioni prelevati.

2.1 *Strumentazione a disposizione*

Il laboratorio di misure fisiche del Servizio di Sorveglianza Ambientale dispone di 3 linee di misura per spettrometria gamma con rivelatore HPGe, più una linea con rivelatore HPGe a finestra sottile di Be (con efficienza relativa del 15%), interfacciate con un computer dedicato e software per analisi e gestione dati. Un'altra linea di misura per spettrometria gamma con rivelatore HPGe è dedicata alle misure di campioni da impianto o potenzialmente assai contaminati.

Il laboratorio si avvale di un sistema per spettrometria alfa, costituito da 4 camere di conteggio con elettronica integrata e da un mixer per il loro utilizzo simultaneo, che permette il collegamento fino ad un massimo di 16 camere. Le misure di attività alfa totale e beta totale, utili per individuare tempestivamente livelli di radioattività superiori alla media, vengono eseguite con un multicontatore a basso fondo.

Il laboratorio di Sorveglianza Ambientale possiede anche un sistema cambiacampioni a basso fondo con contatore proporzionale a flusso di gas per la misura simultanea delle emissioni alfa e beta-gamma totale, che consente di analizzare fino a 50 campioni distinti in successione.

3. Attività di Esperto Qualificato

L'Esperto qualificato si occupa delle valutazioni di tipo tecnico, delle misurazioni strumentali e delle indicazioni di carattere organizzativo nell'ambito della tutela del rischio da radiazioni ionizzanti.

Una semplificazione dei compiti dell'esperto qualificato può riassumersi nelle comunicazioni al datore di lavoro e nelle attribuzioni di propria competenza. Nel primo caso lo stesso EQ effettua valutazioni preventive e valutazioni in seguito a variazioni oltre

che le comunicazioni periodiche previste dalla legge (ad es. dose assorbita dai lavoratori). Nel secondo caso effettua verifiche e misurazioni atte a garantire per quanto di competenza il rispetto dei principi di radioprotezione. Aggiorna per conto del Datore di Lavoro la documentazione di sorveglianza fisica.

Viene inoltre affidata all'esperto qualificato di Centro la Direzione dell'Emergenza nel caso di incidente nucleare presso uno degli impianti presenti in Casaccia, con la finalità di coordinare tutte le operazioni da effettuare al fine di garantire l'incolumità delle persone e la salvaguardia dei beni presenti all'esterno dell'impianto.

4. Attività di dosimetria interna

Il Servizio Misure di Contaminazione Interna riunisce in un unico sistema il laboratorio di misure in vivo, quello di misure radiotossicologiche ed, infine, il laboratorio di misure di spettrometria di massa con ICP-MS.

Il Servizio di Dosimetria Interna dispone nel C.R. Casaccia di due sistemi indipendenti per le misure in vivo della contaminazione interna, dedicati rispettivamente alle misure a bassa energia (10 keV - 100 keV) e ad alta energia (100 keV - 2 MeV).

Inoltre il controllo della contaminazione interna avviene mediante la determinazione del contenuto di radioattività degli escreti, con metodi radiometrici presso il Laboratorio di Radiotossicologia, organizzato in due sale da chimica completamente attrezzate, di cui una dedicata al pretrattamento dei campioni biologici per la spettrometria alfa e l'altra dedicata alla preparazione dei campioni da sottoporre agli altri tipi di esami. Recentemente è stata introdotta la tecnica della spettrometria di massa con plasma induttivamente accoppiato, che vanta un'elevata sensibilità per i radionuclidi a lunghissima vita media, in particolare U-238, U-235 e Th-232, per i quali le consuete tecniche radiometriche risultano eccessivamente laboriose e non sempre soddisfacenti.

In caso di emergenza, i tecnici di dosimetria interna sono in grado di fornire, in tempi rapidi, le prestazioni di WBC ad alta e bassa energia, spettrometria gamma di urine, conteggio alfa e beta totale delle urine e del muco nasale, misura di Sr-90 nelle urine, conteggio a scintillazione liquida delle urine (per la misura di H-3 e C-14), misura di Ra-226 nelle urine, fluorimetria dell'uranio nelle urine ed, infine, ICP-MS delle urine (per la misura di U, Th e Pu).

5. Attività di radiobiologia

L'Istituto di Radioprotezione dell'Enea in collaborazione con alcune università conduce studi con lo scopo di analizzare se la trasmissione del danno radio indotto indiretto è associata all'alterazione del metabolismo ossidativo cellulare e se la somministrazione di antiossidanti diminuisce il danno genetico. Si utilizzano cheratinociti umani (HaCatat) irraggiandoli al fine di verificare: il danno genetico mediante Comet assay, gli stress ossidativi e la deplezione topoisomerasi come indice di danno genetico misurata mediante western blot. Il laboratorio è dotato di: microscopio a fluorescenza, di cappa chimica, di microscopio elettronico a trasmissione e di ultramicrotomo.

6. Attività di Radioprotezione Operativa

Al personale del Servizio di Radioprotezione Operativa viene demandata l'esecuzione delle direttive emesse dall'esperto qualificato (Art.77 del D.Lgs.230/95), secondo le regole di buona tecnica e dell'esperienza acquisita. Le azioni del Servizio di Radioprotezione Operativa mirano a garantire la prevenzione ed il controllo del rischio radiologico, mediante un insieme di interventi in aree caratterizzate da specifiche problematiche e peculiarità. In caso di emergenza radiologica la RPO è di supporto all'esperto qualificato ed all'impianto per una caratterizzazione radiometrica degli ambienti e del personale coinvolti nell'incidente.

6.1 *Strumentazione in dotazione alla radioprotezione operativa*

Misure di irraggiamento: teletector - radiometro portatile con due rivelatori Geiger-Muller competitivi; sonde a scintillazione, avente come elemento sensibile uno scintillatore organico, ad alta sensibilità (5 nSv), che consente misure rapide ed accurate di equivalente di dose ambientale; sonde a scintillatore plastico in combinazione con uno scintillatore ZnS(Hg), contatori proporzionali cilindrici ad He-3, circondato da un moderatore sferico in polietilene (rem-counter); dosimetri attivi a lettura diretta per fotoni e neutroni. Misure di contaminazione-misure dirette: contatori proporzionali a flusso di gas butano di cui uno dotato di una sonda specifica per la rivelazione di tritio; un contatore proporzionale sigillato; misure indirette: un cambia-campioni automatico, avente come rivelatore un contatore proporzionale a flusso di gas Ar/metano; una scala di conteggio singolo, dotata di un contatore proporzionale sigillato; un cambia-campioni automatico a scintillazione liquida; misure di spettrometria gamma: uno spettrometro con rivelatore HPGe; uno spettrometro portatile con rivelatore a NaI(Tl).

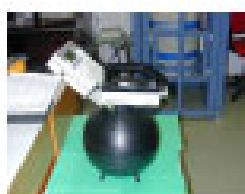
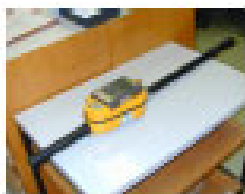
7. **Archivio dosimetrico**

Il Servizio di Archivio Dosimetrico costituisce un importante supporto alle mansioni che la legge attribuisce all'esperto qualificato ed è essenziale per il rispetto della normativa da parte del Datore di Lavoro. Tra i compiti dell'archivio c'è quello dell'istituzione, dell'aggiornamento e della conservazione della documentazione di sorveglianza fisica relativa a ciascun lavoratore esposto.

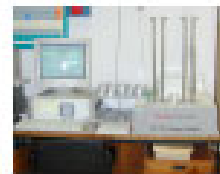
8. **Formazione e addestramento**

Nell'ambito dell'applicazione della normativa di tutela dal rischio di radiazioni ionizzanti, per conto del Datore di Lavoro del Centro ENEA della Casaccia, l'Istituto di Radioprotezione organizza e gestisce corsi di formazione rivolto ai lavoratori esposti (dipendenti e/o ospiti). Parallelamente viene consegnato un opuscolo informativo, realizzato dalla stesso Istituto, sui rischi da radiazioni ed un CD contenente ulteriori informazioni ed indicazioni (normativa e materiale didattico). La partecipazione di ciascun lavoratore ad ogni incontro viene registrata su un apposito verbale.

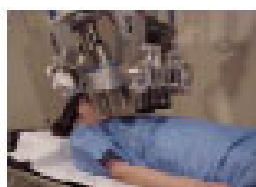
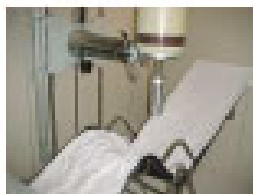
Aalcune immagini delle attrezzature e della strumentazione presenti nel C.R. Casaccia



Sistemi di misura per fotoni (a sinistra) e per neutroni, rem-counter.



Contaminametro (a sinistra) e contatore proporzionale per radiazione alfa e beta



Valutazione della contaminazione interna: tramite sistemi di conteggio in vivo, WBC



Laboratorio di radiotossicologia

ATTIVITÀ E RICERCHE SPECIFICHE DEL PERSONALE IRP PRESSO IL CR ENEA DI FRASCATI

A cura di Sandro Sandri

1. Premessa

L'unità di Radioprotezione, IONIRP, operante nel Centro ENEA di Frascati è composta da 7 dipendenti, di cui 2 laureati ed Esperti Qualificati (EQ) di III grado, e 1 assegnista di ricerca. Per le specifiche attività di studio e sviluppo nel campo della fusione nucleare sono attualmente in corso delle collaborazioni con il consorzio RFX di Padova che comportano la presenza presso l'unità IONIRP di 2 fisici a contratto (entrambi EQ di III grado).

In sintesi le attività svolte dall'unità IONIRP a Frascati sono le seguenti:

- sorveglianza fisica della radioprotezione per le attività con esposizione a radiazioni ionizzanti (RI), tramite Esperti Qualificati (EQ) e personale di radioprotezione operativa (RPO),
- gestione della dosimetria individuale,
- gestione della dosimetria ambientale effettuata anche con metodi passivi,
- gestione delle sorgenti radioattive sigillate impiegate per taratura e sperimentazione,
- gestione della strumentazione portatile di misura,
- gestione di laboratori per misure radiometriche,
- progettazione di soluzioni radioprotezionistiche per le strutture del Centro,
- gestione e coordinamento delle istruttorie autorizzative per nuove installazioni o modifica di quelle esistenti
- studi e sviluppi nel campo della misura delle RI e per la messa a punto di specifiche procedure

2. Impianti presenti nel sito di Frascati

Le attività di Radioprotezione sono necessarie considerato che nel C.R. Frascati sono presenti tre impianti principali già autorizzati ed eserciti ai sensi della norma prevista dall'art. 55 del DPR 185/64:

- l' acceleratori dell'edificio n. 30, della sezione FISACC
- il Frascati Neutron Generator (FNG) della sezione FUS
- il Frascati Tokamak Upgrade (FTU) della sezione FUS

Per i primi due è stata ottenuta la conversione per impiego di cat. A ai sensi dell'art. 28 del D.Lgs. 230/95 e s.m.i., mentre per l'impianto FTU si è ancora in attesa del provvedimento di conversione.

Il primo di questi impianti è costituito da più installazioni situate nell'edificio n. 30 del Centro (3 acceleratori di elettroni e un acceleratore di protoni) mentre gli altri due sono costituiti da una macchina ciascuno.

Nel Centro non sono presenti "impianti nucleari", così come definiti nel D.Lgs. 230/95, per i quali sia necessario predisporre un piano di emergenza esterna.

La situazione degli impianti principali del CR Frascati è riassunta nella tabella 1 in cui sono riportati denominazione degli impianti, Unità che li gestiscono e caratteristiche principali.

Tabella 1 – Impianti del C.R. Frascati rilevanti dal punto di vista radioprotezionistico.

Denominazione	Sigle	Unità di appartenenza	Caratteristiche principali
Frascati Neutron Generator	FNG	FUS	Generatore di Neutroni (impiego di trizio)
Frascati Tokamak Upgrade	FTU	FUS	Macchina Sperimentale per Fusione Nucleare
Acceleratori dell'Edificio 30 (Linac, Microtrone, Linac FEL, Linac Protoni)	LIN, MIC, PROT	FIS	3 Acceleratori di elettroni con energie fino a 5 MeV e 1 di protoni fino a 7 MeV

Oltre ai tre impianti principali citati in quanto precede, presso il CR Frascati sono presenti macchine radiogene minori e 95 sorgenti sigillate impiegate essenzialmente per taratura di strumenti e dispositivi. Le piccole macchine radiogene sono costituite da generatori RX per alimentazione laser e per analisi sui materiali, in particolare sono presenti anche due diffrattometri. Le sorgenti sigilla sono normalmente gestite dall'unità IONIRP che di volta in volta le assegna in prestito temporaneo (anche di lungo periodo) agli utilizzatori. Per tutte le pratiche con impiego di RI e per le due Unità di appartenenza (FUS e FIS) IONIRP fornisce i seguenti servizi:

- Esperto Qualificato
- Radioprotezione Operativa
- Dosimetria Esterna
- Sorveglianza Ambientale
- Radiotossicologia (solo per impianto FNG di FUS)
- Controllo della Radioattività Naturale (^{222}Rn)
- Detenzione e gestione delle sorgenti radioattive sigillate
- Archivio Dosimetrico

3. Infrastrutture e risorse strumentali

L'IRP nel Centro di Frascati utilizza per i propri fini sia infrastrutture e strumentazione proprie sia le dotazioni di altre Unità. In alcuni casi il ricorso a strutture e strumentazione di altre Unità è reso necessario dalle modalità di gestione dell'impianto specifico, in altri casi per l'ottimizzazione delle dotazioni strumentali.

3.1 *Laboratorio di spettrometria gamma*

Comprendente due sistemi spettrometrici al GeHP con relativo software di analisi, temporaneamente presso l'unità FUSNUC. Per l'attività di servizio il laboratorio è impiegato nelle misure di attivazione su campioni prelevati da uno qualunque degli impianti.

3.2 *Laboratorio di scintillazione liquida*

Comprendente due contatori per scintillazione liquida con caricatore multicampione, uno dei quali consente misure di basso fondo. Per l'attività di servizio il laboratorio è impiegato per la misura della contaminazione da trizio su varie matrici derivanti dai controlli effettuati presso l'impianto FNG e per le misure di radiotossicologia (senza trattamento dei campioni) effettuate saltuariamente per la determinazione del trizio nelle urine degli operatori dello stesso impianto.

3.4 *Dosimetria ambientale esterna con dosimetri passivi*

Comprende un sistema per dosimetri basati su LiF con riscaldamento ad azoto gassoso ed uno (in via di sostituzione) per dosimetri a bulbo basati su CaF_2 con riscaldamento a

filamento incandescente. Per le attività di servizio il laboratorio è impiegato per il controllo dell'esposizione esterna gamma e neutronica nei locali di tutti gli impianti del Centro e nelle aree attorno al Centro dove è richiesta una risposta in tempi brevi oppure dove è preferibile una periodicità di lettura particolare.

3.5 Presidio di radioprotezione operativa

Centralizzato per tutti gli impianti del Centro presso l'edificio n. 35 e dotato di strumentazione portatile per la misura di radiazioni ionizzanti. Sono a disposizione strumenti, per la misura di esposizione esterna da radiazione gamma e neutronica, di contaminazione superficiale gamma, beta e alfa e di contaminazione da trizio. Il buon funzionamento di tale strumentazione è verificato periodicamente presso l'unità IRP, con una frequenza meno elevata gli strumenti sono tarati presso centri SIT.

3.6 Centrale di comando del sistema di controllo automatico dell'esposizione esterna Il sistema controlla l'esposizione esterna sia gamma sia neutronica. E' composta dalla centralina del sistema di acquisizione e dalla stazione hardware e software per l'acquisizione, l'analisi e la presentazione dei dati. Il sistema è stato sviluppato completamente dall'unità IONIRP di Frascati.

ATTIVITÀ E RICERCHE SPECIFICHE DEL PERSONALE IRP PRESSO IL CR ENEA DI SALUGGIA

A cura di Mario Montalto

1. Premessa

L'unità di Radioprotezione, IONIRP, operante nel Centro ENEA di Saluggia è composta da 8 dipendenti, di cui 3 laureati, e 1 assegnista di ricerca.

2. Laboratori e principale strumentazione presenti nel sito

La struttura di IRP presente nel centro di Saluggia dispone di:

- un laboratorio per la preparazione dei campioni;
- tre laboratori chimici;
- due laboratori per misure fisiche di radioattività;
- un laboratorio classificato come zona controllata.

La strumentazione presente nei diversi laboratori consente di eseguire le seguenti misure e valutazioni:

- Spettrometria gamma costituita da quattro rivelatori al germanio, con elettronica DSP (Digital Signal Processing) e software per l'analisi degli spettri;
- Spettrometria alfa, dotata di 24 celle di misura del tipo a bassissimo fondo strumentale;
- Spettrometro a scintillazione liquida a bassissimo fondo con cambio campioni automatico;
- WBC (Whole Body Counter) con camera schermata del tipo shadow shield a tunnel con lettino regolabile e rivelatore a NaI(Tl) per il riconoscimento e la misura degli isotopi emettitori gamma.

3. Attività di ricerca e di servizio

Le attività sperimentali di ricerca e di servizio sono suddivise secondo tre aree tematiche: monitoraggio radiometrico ambientale, radiotossicologia e radioprotezione in medicina nucleare oltre che di radioprotezione operativa.

Inoltre, le competenze acquisite consentono al Laboratorio di svolgere alcune attività di analisi chimica e radiochimica su commissione anche per conto di terzi. In particolare il laboratorio è in grado di effettuare:

- Separazione e determinazione radioanalitica di differenti radioisotopi in matrici contaminate a qualsiasi contenuto di attività.
- Analisi chimiche: determinazione di parametri di processo e di qualità su campioni radioattivi.

3.1 Monitoraggio Ambientale

Per il monitoraggio ambientale il laboratorio possiede un'esperienza maturata in oltre quattro decenni con lo sviluppo e la gestione della rete di sorveglianza radiologica degli impianti nucleari che ha consentito di acquisire molti dati sperimentali relativi al trasferimento dei radionuclidi nell'ambiente. Inoltre sono state studiate molte tecniche analitiche per la determinazione di radionuclidi in matrici alimentari (latte vaccino, cereali, vegetali, acqua potabile). Il laboratorio è inserito nella Rete ALMERA organizzata dalla IAEA e partecipa agli interconfronti organizzati.

Attualmente il Laboratorio svolge per conto del Deposito Avogadro analisi dell'acqua di falda per la determinazione di trizio, Sr-90 e radionuclidi gamma emettitori.

3.2 *Radiotossicologia*

Nel campo della radiotossicologia il laboratorio ha sviluppato diverse metodiche radiochimiche per la separazione di radionuclidi (ad esempio ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{241}Am , ^{210}Po) in campioni biologici, con identificazione e misura dell'attività dei radionuclidi (α e β/γ emettitori) tramite tecniche di spettrometria. Vengono effettuate misure dirette dell'attività dei radionuclidi γ -emettitori presenti nel corpo umano tramite Whole Body Counter, con rivelatore a NaI(Tl) nella zona d'energie comprese tra 0,1÷2 MeV.

3.3 *Fisica medica*

Le dotazioni logistiche, tecniche e strumentali, e l'insieme delle competenze acquisite e sviluppate dal personale nell'ambito degli impianti nucleari, visto il crescente utilizzo di tecnologie nucleari nel settore medico, consentono al laboratorio di svolgere attività di ricerca e sviluppo in tematiche di dosimetria interna e di fisica medica per i pazienti sottoposti a trattamenti terapeutici con radiofarmaci e per gli operatori sanitari che operano con materiali radioattivi. In quest'ottica è stato avviato il lavoro sperimentale per l'elaborazione di un modello biocinetico e dosimetrico del radiofarmaco [^{153}Sm]Sm-EDTMP, impiegato nella radioterapia metabolica delle metastasi ossee dolorose. Oltre alle attività di ricerca e di servizio svolge attività di formazione nel settore Radiochimico e delle Tecniche di Separazione ed Analisi Radioisotopica e delle misure nucleari studenti dei corsi di laurea in Chimica e Fisica Ambientale e Biomedica e della Scuola di Specializzazione di Fisica Sanitaria dell'Università di Torino.

ATTIVITÀ E RICERCHE SPECIFICHE DEL PERSONALE IRP PRESSO IL CR ENEA DI TRISAIA

A cura di Salvatore Zicari

1. Premessa

Il personale di IONIRP in Trisaia è di 4 unità (1 laureato) e si occupa di Sorveglianza della Radioattività Ambientale, Servizi di Dosimetria Personale Interna (WBC e RTX), Ricerca e Sviluppo con anche partecipazione a programmi di interconfronto nazionali ed internazionali.

2. Descrizione delle attività

L'Istituto di Radioprotezione fornisce al C.R. ENEA di Trisaia i seguenti servizi:

- Esperto Qualificato, Archivio Dosimetrico e Servizio di Dosimetria Esterna;
- Sorveglianza Ambientale;
- Analisi radiochimiche per Dosimetria Interna (Radiotossicologia-RTX) e Whole Body Counter (WBC);
- Gestione, manutenzione e controllo della strumentazione radiometrica di Emergenza;
- Partecipazione attiva nel programma della Convenzione stipulata tra C.R. ENEA Trisaia e Comando Provinciale Vigili del Fuoco di Matera.

Inoltre, l'Istituto di Radioprotezione svolge attività di ricerca, sviluppo e qualificazione delle tecniche e delle procedure di monitoraggio e dosimetria delle radiazioni ionizzanti, nonché attività di servizio di radioanalisi anche mediante l'acquisizione di commesse con utenti esterni.

Il personale IRP di Trisaia è inoltre inserito in programmi di interconfronti nazionali ed internazionali quali quelli organizzati da APAT, PROCORAD, IAEA e EURADOS.

2.1 *Funzione di Esperto Qualificato, Servizio di Dosimetria Esterna e RPO*

L'esperto qualificato è responsabile della sorveglianza fisica ai sensi della D.L. 230/95 e ss. mm.; il controllo dosimetrico del personal esposto è effettuato tramite la distribuzione di dosimetri individuali. All'esperto qualificato e ai tecnici di Radioprotezione operativa (RPO) è demandato il compito di mantenere calibrati ed efficienti i sistemi di misura della radiazione. Il Laboratorio è infatti dotato di:

N° 4 Geiger-Muller: Marca "Italelettronica" Mod. 141/BF.

N° 2 Scintillatori: Marca "Automess" Mod. Scintomat 6134A.

N° 2 Anemometri per la rilevazione della direzione e velocità del vento.

N° 4 Staplex per il campionamento del particolato atmosferico durante la situazione di emergenza.

N° 2 Pozzetti con schermatura in piombo per la misura β/γ del particolato atmosferico campionato durante la situazione di emergenza (in dotazione alle automobili delle Squadre Radiometriche Esterne: SRE1 e SRE2).

N° 3 Gruppi elettrogeni.

2.2 *Servizio di Sorveglianza Ambientale*

L'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA ha gestito la rete di sorveglianza radiometrica ambientale nell'area circostante al sito della Trisaia dal 1973 al 2004, quando, con la cessione degli impianti a S.O.G.I.N. Spa, la sorveglianza è passata a carico di S.O.G.I.N. stessa. Allo scopo di non disperdere il capitale di conoscenze, anche operative, connesse a tale attività si è deciso, a partire dal 2005, pur con criteri non più legati alle necessità dell' esercente, di proseguire il monitoraggio radioattivo nel territorio circostante al Centro Ricerche di Trisaia. Il tipo e la periodicità dei prelievi scelti sono

compatibili con le indicazioni della Comunità Europea per le reti nazionali di monitoraggio della radioattività ambientale. Tale monitoraggio prevede:

- Campionamento delle matrici ambientali e alimentari quali aria, terreno, acque, latte, frutta, ortaggi, pesce, ecc.
 - Trattamento chimico-fisico ed analisi radiochimiche dei suddetti campioni.
 - Misure di intensità di esposizione eseguite direttamente in campo.
 - Misure di radioattività, eseguite mediante un'ampia gamma di sistemi di rivelazione.
- Nella tabella 1 sono riportati le modalità e le tipologie di campionamento eseguite.

Tabella 1: Campioni sottoposti a misura per la sorveglianza ambientale,

Misure per Rete di Sorveglianza Ambientale 2009													
Punti di misura	Matrice	Tipo di analisi	Frequenza di prelievo	Frequenza di misura	Numero di Matrici prelevate	Spettr. γ	Sr-90	α/β totale	Th	^3H	Misura di dose in aria	Misura di rateo	Totale misure
1	Particolato Atmosferico	Spettr. γ	G	G / S / M / T	250	250+52+12+4 = 318							318
		α/β totale		G / G'			250+250 = 500						500
1	Latte	Spettr. γ / Sr-90	S	S / T	52	52	4						56
1	Acqua potabile	Spettr. γ / β totale / Sr-90	M	M / T / T	12	12	4	4					20
2	Acqua di Falda esterno Centro	Spettr. γ / β totale / Sr-90	T	T / T / T	8	8	8	8					24
1	Acqua di Falda interno Centro	Spettr. γ / β totale / Sr-90	T	T / T / T	4	4	4	4					12
3	Acqua di Mare	Spettr. γ / Sr-90 / Th / ^3H	T	T / T / T / T	12	12	12		12	12			48
1	Fall out	Spettr. γ	M	M	12	12							12
1	Limo esterno Centro (I)	Spettr. γ	M	M	12	12							12
1	Limo esterno Centro (II)	Spettr. γ	T	T	4	4							4
2	Limo interno Centro	Spettr. γ	T	T	8	8							8
1	Limo interno Centro (Oxigest)	Spettr. γ	M	M	12	12							12
1	Acque bianche interno Centro	Spettr. γ / β totale	M	M	12	12		12					24
1	Acque nere Interno Centro	Spettr. γ / β totale	M	M	12	12		12					24
6	Terreno	Spettr. γ	A	A	6	6							6
3	Sabbia di Mare	Spettr. γ	T	T	12	12							12
2	Pesce	Spettr. γ	T	T	8	8							8
1	Foraggio	Spettr. γ / Sr-90	A	A / A	1	1	1						2
4	Ortaggi	Spettr. γ / Sr-90	T	T / T	16	16	16						32
1	Cereali	Spettr. γ / Sr-90	A	A / A	1	1	1						2
3	Frutta	Spettr. γ / Sr-90	T	T / T	12	12	12						24
20	Dosimetri Perimetrali		ogni 45 gg.	ogni 45 gg.							160		160
13	Irraggiamento diretto sul litorale Jonico			A								13	13
70						534	62	540	12	12	160	13	1333

G = Giornaliero (misura immediata)
G' = Giornaliero (misura dopo sette giorni)
S = Settimanale

M = Mensile
T = Trimestrale
A = Annuale

2.3 Attività di Dosimetria interna: Radiotossicologia e Whole Body Counter (WBC)

Il servizio di Dosimetria interna (Radiotossicologia e WBC) fornisce prestazioni sia ai dipendenti ENEA, sia ai dipendenti delle ditte che operano nello stesso centro. Con una periodicità e modalità definite dall'E.Q. del C.R. Trisai i lavoratori esposti vengono sottoposti al prelievo di urine (il campione viene sottoposto ad analisi di spettrometria γ) e misurazione con WBC (Whole Body Counter). Tale misura consiste nella spettrometria γ sul corpo intero effettuata con uno rivelatore per radiazioni γ con rivelatore collocato al di sopra dell'addome dell'individuo.

3. Attività svolte nei vari laboratori

3.1 Laboratorio campioni ambientali

Le attività svolte in questo laboratorio sono finalizzate innanzitutto alla ricezione dei campioni ambientali e a tutte le fasi di pretrattamento prima delle loro analisi sia chimiche che radiochimiche: ad esempio pulizia, triturazione, filtrazione e deposizione nel contenitore finale pronto per l'analisi. In tale laboratorio sono presenti banchi di lavoro, un mulino, una cappa aspirante, delle bilance, un lavandino.

3.2 *Sala forni*

In tale locale sono presenti dei forni e delle muffole, un essiccatore e delle cappe aspiranti. I forni sono dedicati all'espletamento della fase di essiccazione delle matrici ambientali; le muffole, invece, sono dedicate ai campioni ambientali ed alimentari, cioè alla fase di incenerimento, calcinazione/mineralizzazione.

3.3 *Laboratorio Campioni Radiotossicologici*

Tale laboratorio corredato di cappe aspiranti, di banchi di lavoro, di lavandino, di lavavetreria e apparecchiatura per la produzione di acqua demineralizzata, è dedicato alla ricezione ed alla manipolazione di campioni biologici prima della loro analisi, nonché all'effettuazione di attività di studio e ricerca.

3.4 *Laboratorio di Radioattività Ambientale*

In questo laboratorio chimico vengono svolte le attività di preparazione chimico-fisica del campione prima che questo venga sottoposto all'analisi vera e propria quali la lavorazione chimica e chimico-fisica del campione per la determinazione dello ^{90}Sr che, in cui sono previste delle precipitazioni, filtrazioni, dissoluzioni, passaggio su resine, ulteriori precipitazioni, deposizioni su piattello e altri trattamenti chimici. Messa a punto di nuove tecniche analitiche per la determinazione di radionuclidi di interesse radiotossicologico in matrici ambientali, alimentari e biologiche.

3.5 *Laboratorio Chimico di Media Attività*

In tale laboratorio, equipaggiato di opportuni banchi di lavoro, di lavandino, di idonea cappa aspirante, di armadio schermato in piombo, di pozzetto schermato in piombo e di opportuni scarichi, si svolgono quelle attività di pretrattamento ed analisi di campioni potenzialmente contaminati o con sospetta contaminazione. In generale, in tale laboratorio vengono effettuati tutti quei pretrattamenti su campioni con sospetta contaminazione. Inoltre, tramite Nulla Osta rilasciato dalla Prefettura di Matera, tale Laboratorio è autorizzato alla detenzione ed all'impiego in cat. B delle sorgenti di radiazione sigillate e non sigillate necessarie per le attività svolte dall'Istituto di Radioprotezione.

3.6 *Laboratorio di Misure Fisiche*

Questo laboratorio ospita delle apparecchiature idonee alla effettuazione di analisi di spettrometria α e γ , nonché conteggi α e γ su tutti i campioni ambientali, alimentari e biologici ricevuti dal Laboratorio ION-IRP del C.R. Enea di Trisaia ed è dotato di: Due sistemi di spettrometria γ con rivelatori al Germanio iperpuro e corredato di idonea elettronica; un rivelatore per radiazioni beta molli (tipicamente 3H) a scintillazione liquida (obsoleto in fase di sostituzione); due scale di conteggio per misure alfa e beta totale con rivelatori al ZnS(Ag) e plastici in anticoincidenza (obsoleto, sostituito con uno strumento LB 770 Berthold).

3.7 *Laboratorio Chimico di Controllo Qualità*

Tale laboratorio, corredato di cappa aspirante, armadi di sicurezza per acidi/basi e per infiammabili, di opportuni banchi di lavoro, di lavandino, di uno spettrofotometro per emissione atomica e di un contatore proporzionale a basso fondo per radiazioni α e β , (LB 770 della Berthold), è dedicato alla verifica della resa chimica dell'intero processo di determinazione di ^{90}Sr nei campioni, nonché alla determinazione di altre attività chimico-analitiche previste dal piano di Sorveglianza Ambientale e dalle attività per terzi.

Alcuni contributi significativi nelle attività di
ricerca, sviluppo e qualificazione in
radioprotezione

MODELLI ANTROPOMORFI PER STUDI DOSIMETRICI

Gianfranco Gualdrini e Paolo Ferrari

1. Premessa

Fin dalla fine degli anni 60 la necessità di supportare le misure della dose assorbita da radiazioni con la valutazione teorica delle quantità radioprotezionistiche e operazionali, ha implicato la necessità di ricorrere a modellazioni semplificate o a modelli antropomorfi complessi impiegati in codici di calcolo. Miglioramenti molto significativi sono stati introdotti nel corso degli anni, passando dalle analisi su modelli umani stilizzati a modelli realistici derivati dall'elaborazione di set di immagini TC o RM. Questi ultimi hanno reso possibili nuove stime dei coefficienti di conversione per la dosimetria esterna e delle frazioni specifiche assorbite per le valutazioni di dosimetria interna. Tali valutazioni hanno consentito di mettere in evidenza dei limiti dei precedenti modelli antropomorfi di tipo analitico (la serie ORNL-MIRD) e per tali ragioni anche l'ICRP, nella recente pubblicazione 103, ha introdotto l'uso di modelli *voxel* per le stime ufficiali dei coefficienti di conversione.

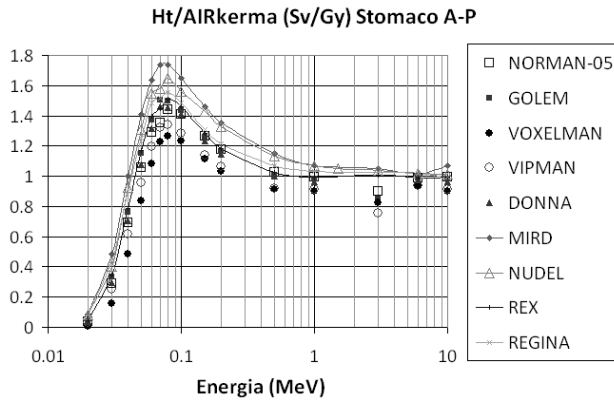
I modelli *voxel* non sono limitati esclusivamente alla stima delle quantità di radioprotezione ma trovano largo impiego nella ricerca dosimetria e nell'ottimizzazione della strumentazione di misura, come nel caso della caratterizzazione di sistemi di valutazione della contaminazione interna. Questo è il caso, ad esempio, dei modelli plastici antropomorfi attivati con sorgenti tarate (di solito ^{241}Am) e impiegati per la calibrazione di Whole Body Counter. Da tali fantocci è possibile ottenere un modello *voxel* con il quale simulare in modo accurato il trasporto di radiazione e, quindi, l'efficienza del sistema di conteggio.

2. Evoluzione dei modelli numerici antropomorfi

Fin dai primi studi pionieristici svolti durante il Progetto Manhattan, ci si pose il problema di come valutare la dose agli operatori coinvolti nelle attività sperimentali. Fu allora sufficiente basarsi su semplici modelli sferici, parallelepipedi o cilindrici nei quali valutare analiticamente l'energia depositata dalla radiazione incidente su di essi. Uno di tali modelli, di tipo cilindrico, risulta ancora adottato nelle direttive IAEA sulla dosimetria di criticità. Va inoltre ricordato che il Comitato a suo tempo costituito fra Governo USA e Governo giapponese per la rivalutazione delle a seguito dell'impiego delle atomiche su Hiroshima e Nagasaki, oltre a ricorrere ad una serie di studi sperimentali svolti su modelli di abitazioni nel deserto del New Mexico, prevede anche campagne di calcolo con codici Monte Carlo sviluppati presso i laboratori di Los Alamos e di Oak Ridge. Su questo percorso, intorno agli anni '60 del XX secolo, si sviluppò una scuola di modellistica numerica presso ORNL, guidata da G. Kerr e K. Heckerman che, basandosi sul documento ICRP 23 contenente le caratteristiche dell'uomo "standard" caucasico-occidentale, approntarono i primi modelli analitici antropomorfi MIRD per valutazioni di dosimetria interna [1]. Da questa famiglia derivarono anche i ben noti ADAM ed EVA sviluppati in Germania presso il GSF di Monaco (ora Helmholtz Zentrum). Su questo tipo di fantocci antropomorfi analitici si è basata tutta l'attività di valutazione dei coefficienti di Dose Equivalente agli organi per la determinazione della Dose Efficace. Con l'aumento delle potenze di calcolo e la possibilità di sfruttare i dati tomografici si individuò adulti anche la qualità dei modelli è andata migliorando e si è arrivati, nell'ultimo decennio del secolo scorso, alla creazione dei modelli *voxel* e alla loro fioritura (per brevità citiamo GOLEM, DONNA, ELGA del GSF, ZUBAL di Yale, VIP-MAN del Rensselaer Polytechnic Institute, NORMAN del NRPB, OTOKO e ONAGO del Jaeri e MAX e FAX Universidade Federal de Pernambuco)

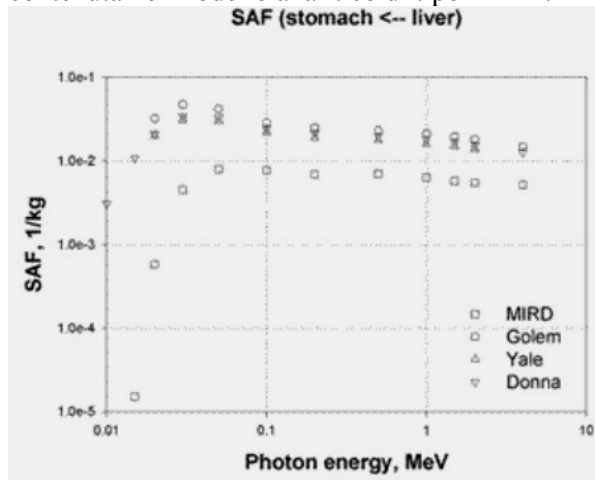
3. Confronto tra modelli analitici e voxel: l'accuratezza dei voxel

La fortuna dei *voxel* deriva, sostanzialmente, dall'elevata accuratezza con la quale riescono a rappresentare l'individuo umano, ma anche dalla possibilità di inserirli in codici di calcolo in grado di simulazione del trasporto della radiazione. Ciò ha permesso la verifica dei coefficienti di conversione e delle frazioni specifiche assorbite fino ad allora calcolate per mezzo dei modelli tipo MIRD:



Per la dosimetria esterna (in figura il coefficiente di conversione per lo stomaco per irraggiamento A-P), si può notare come esiste una variabilità intrinseca tra i modelli voxel. Essendo infatti derivati da individui differenti (benché simili tra loro) questo comporta una conformazione diversa della struttura che incide sulla stima dei coefficienti per un 10-20% per energie inferiori a 100 keV.

Tale è anche la discrepanza con il modello analitico MIRD (oltre al MeV non si notano differenze sostanziali tra l'analitico e i voxel). Questo sta ad indicare che oltre alla variabilità tra i *voxel* (che rispecchia la variabilità tra gli individui da cui sono stati ottenuti) esiste anche una "distanza" dovuta all'effetto di "stilizzazione" del corpo umano contenuta nel modello analitico di tipo MIRD.



Tale discrepanza è più evidente per la dosimetria interna. In questo caso si può osservare che nella stima delle SAF è fondamentale la disposizione e le relazioni tra gli organi interni del corpo. Nel modello analitico MIRD gli organi sono più distanti di quanto non sia nella realtà. Nella figura a fianco tale effetto si evidenzia (assorbimento nello stomaco per una sorgente posta nel fegato) nella sottostima falsata, di un fattore da 3 a 10, della frazione di energia assorbita rispetto allo stesso caso simulato con modelli voxel.

In questo caso è abbastanza netto l'accordo tra i modelli voxel. Ciò è indice del fatto che la sottostima ottenuta con il modello analitico è dovuta proprio all'eccessiva stilizzazione del modello di tipo MIRD nella rappresentazione degli organi interni dell'addome umano.

4. Sviluppo di modelli computazionali antropomorfi in ENEA

La tradizione di sviluppo di modelli numerici antropomorfi in IRP è più che ventennale [2]. A seguito delle prime applicazioni, con gli allora modelli di riferimento analitici derivati dal MIRD (ADAM ed EVA), si è sviluppata un'attività di ricerca che ha trovato la sua applicazione diretta nella qualificazione di sistemi dosimetrici.

In tale ambito, un primo modello di tipo voxel di un fantoccio plastico, rappresentante una testa umana, in sostituzione di un precedente modello analitico, è stato impiegato per la qualificazione di WBC impiegati nella rivelazione di radionuclidi osteotropi (attinidi). Successivamente il modello di Yale (VOXELMAN) è stato inserito nel codice MCNPX,

tramite un'apposita patch sviluppata in collaborazione con i ricercatori di FPN. Ciò ha permesso di eseguire studi sui coefficienti di conversione e le frazioni specifiche assorbite su un modello in grado di rappresentare con buona accuratezza l'individuo adulto.

Parallelamente, sfruttando le capacità "standard" di MCNPX, è stato possibile utilizzare il modello voxel NORMAN (grazie ad un accordo specifico con NRPB, ora HPA-UK, proprietario dei dati) e modificarlo in base al nuovo schema di calcolo della dose efficace proposto dall'ICRP (ICRP 103), che richiede la stima della dose equivalente in alcuni organi e tessuti non presenti nello schema precedente (ICRP 60), e che non erano quindi stati individuati nell'originale modello NORMAN. Il fantoccio ottimizzato, chiamato NORMAN-05, è stato impiegato per calcolare i coefficienti di conversione per campi fotonici (fino a 1 GeV) e neutronici (fino a 20 MeV).

Le competenze sviluppate in tale campo hanno permesso a IRP di prendere parte, con esito positivo, ad un interconfronto, promosso nell'ambito del progetto CONRAD, rivolto alla verifica della qualità della simulazione Monte Carlo a supporto della calibrazione di sistemi di monitoraggio in vivo. L'interconfronto si basava sulla simulazione della misura con rivelatori HPGe attraverso l'impiego di un modello voxel di un fantoccio plastico rappresentante un ginocchio umano (modello di Spitz, Università di Cincinnati), opportunamente attivato con sorgenti di Am-241.

I modelli numerici antropomorfi, del corpo intero o di una sua parte, possono rappresentare un valido supporto anche nel caso della qualificazione delle misure di dosimetria retrospettiva. In tale ambito, IRP ha sviluppato il modello di un dente molare, denominato *moxel*, ottenendo il *voxel* dall'elaborazione dei dati provenienti dalla microTC di un dente umano.

5. Conclusioni: i modelli analitici sono quindi obsoleti?

Al termine di questo contributo sembra spontaneo porsi la domanda: *ma i modelli computazionali analitici servono ancora a qualcosa?*

Va detto, che pur nella brevità dello spazio disponibile, si è cercato di sottolineare soprattutto gli aspetti critici dello sviluppo di modelli antropomorfi e le raccomandazioni internazionali hanno l'obbligo di ricorrere agli strumenti più avanzati di valutazione. Cosa diversa sarebbe affidarsi ad un impiego massiccio di metodi sofisticati in un solo punto della procedura quando la maggior parte degli altri punti della procedura soffrisse di incertezze sproporzionate.

Per tale ragione i modelli analitici conservano ancora una loro validità nell'ambito della radioprotezione: essi rivestono ancora una certa rilevanza per la relativa facilità di utilizzo che rende più semplice simulare scenari di irraggiamento, anche molto complessi, con elevata accuratezza. E' il caso degli studi dosimetrici per l'incidente di criticità accaduto in Giappone a Tokai-mura, dove sono stati utilizzati modelli numerici analitici per riprodurre più facilmente e rapidamente lo scenario incidentale occorso [3]. Ma è anche il caso del progetto ORAMED, a cui partecipa IRP, dove sono usati i modelli *voxel*, per la definizione puntuale della dose sulla superficie della mano dell'operatore in medicina nucleare, ma anche i modelli analitici, dove la complessità dello scenario d'irraggiamento dell'operatore in radiologia interventistica (e i diversi parametri che intervengono) rende eccessivo (e forse inutile) l'uso di un modello che non sia quello analitico.

[1] M. Cristy and K. F. Eckerman. *Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources. part i: Methods*. Technical report, ORNL, 1987.

[2] G. Gualdrini and P. Ferrari. A review of voxel model development and radiation protection application at ENEA Radiation Protection Dosimetry, 2010

[3] A. Endo and Y. Yamaguchi. Analysis of dose distribution for heavily exposed persons in the first criticality accident in Japan. Radiation Research, 2003.

ATTIVITA' DI RICERCA E SVILUPPO DEL GRUPPO RADON/NORM

Massimo Calamosca e Silvia Penzo

1. Premessa

Nonostante l'assenza di un definito ruolo ENEA nel campo della protezione dalle radiazioni ionizzanti di origine naturale, il Servizio Radon di Bologna ha continuato la sua azione di ricerca e sviluppo operativo, partendo da due considerazioni: il rischio associato all'esposizione ai figli del radon e del thoron è tuttora complessivamente sottostimato; allo scopo di poter sempre più efficacemente ridurre tale rischio è ancora necessario introdurre nuovi strumenti specifici per la valutazione di tutte le componenti di rischio, in particolare tenendo conto dell'esigenza di migliorare la qualità delle misure da utilizzare in un approccio di valutazione del rischio di tipo dosimetrico. In quest'ottica sono state messe a punto nuove tecnologie per la definizione della qualità della misurazione della concentrazione in aria del thoron, e definite alcune procedure di riferimento sia per la sua misurazione che per la determinazione del rischio di esposizione a tale noxa in termini di dose efficace nei locali di lavoro, mediante un approccio modellistico.

2. Circuito di calibrazione per dispositivi di misurazione del ^{220}Rn (thoron)

La calibrazione di dispositivi passivi a tracce (DPT) per la misurazione della concentrazione in aria del ^{220}Rn [1] è stata realizzata nel nostro laboratorio NORM allestendo un circuito chiuso di esposizione, composto da una nuova sorgente di thoron, una camera per l'esposizione dei DPT, un nuovo strumento per la misurazione attiva del thoron (TnM) ed una pompa di ricircolo (vedi figura 1).

La nuova sorgente di thoron, i cui dettagli sono presentati in [1], permette l'esposizione ad una alta concentrazione di ^{220}Rn con la possibilità di minimizzare la contaminazione da ^{222}Rn , realizzando una sorgente con emanazione di thoron costante nel tempo e con vita infinita.

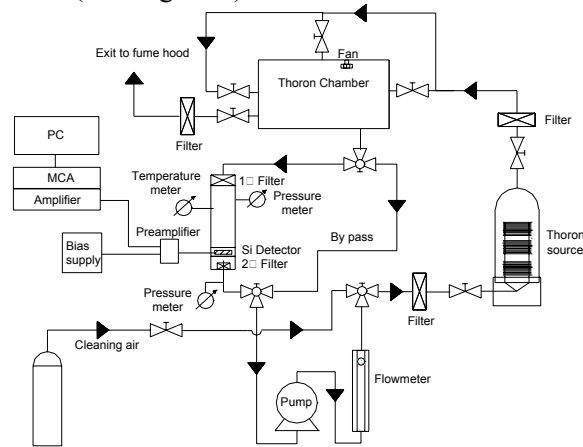


Figura 1: Lay-out del circuito di esposizione del thoron.

Il nuovo strumento di misurazione attiva del thoron si basa sul metodo dei due filtri di Thomas, e risulta uno strumento molto duttile e preciso. In occasione della messa a punto del circuito di calibrazione si è effettuata una valutazione completa del bilancio delle incertezze, che hanno portato a determinare per il suo coefficiente di risposta una incertezza relativa standard pari al 2,1% [1].

Con la tecnica di esposizione e controllo utilizzata nel 2008 si è ottenuta un'incertezza relativa dell'esposizione ($K=1$) inferiore al 10% con una concentrazione in camera di 47 kBq/m^3 .

3. Un nuovo dispositivo passivo a tracce per la misurazione dell'indice di concentrazione di thoron in aria

Il rapido tempo di decadimento fisico del ^{220}Rn ha fatto sì che il suo contributo al rischio di esposizione delle popolazioni fosse finora trascurato, di fatto determinando l'attuale significativo ritardo nello sviluppo della tecnologia di misurazione rispetto al radon. Venendo a decadere il concetto di concentrazione media del thoron di un locale chiuso, non risulta definibile un fattore di equilibrio con i suoi prodotti di decadimento (PDTn) (a cui si ricorda è associato un potenziale alfa 14 volte superiore a quello dei PDRn). I dati ambientali sono pertanto ottenibili solo con sistemi attivi, molto costosi e caratterizzati da risposte generalmente non di tipo integrato su lunghi periodi. Il Servizio Radon ha sviluppato una procedura di valutazione della dose efficace dovuta all'inalazione dei PDTn, che si basa sulla misurazione dell'indice di concentrazione di thoron, ovvero su una misurazione passiva eseguita a distanze fisse dalla parete e dal pavimento [2]. L'obiettivo di questa misurazione consiste nel determinare un valore di concentrazione riferibile, direttamente confrontabile con valori misurati in condizioni analoghe, e quindi un'immediata individuazione e classificazione delle zone a rischio; inoltre la misura opportunamente integrata porta alla valutazione dei parametri di esalazione di thoron dalla parete e del coefficiente di diffusione della stanza, parametri necessari per l'approccio modellistico [3] presentato al punto 3.

Per la valutazione dell'indice di concentrazione di thoron è stato progettato un nuovo dispositivo passivo a tracce, partendo dalla modifica del nostro DPT standard per il radon. Si tratta di uno strumento innovativo, da impiegare accoppiato al DPT radon, dove è stato principalmente, ma non solo, ridotto il tempo di equilibrio per il gas radon, che passa da 20,8 min a 3,1 min.

Il dispositivo è stato calibrato nella nostra camera thoron (punto 2) e verrà brevettato non appena si saranno ottenute le conferme metrologiche attualmente (2010) in corso al PTB ed al NIRS. La calibrazione interna del DPT thoron è stata eseguita effettuando la valutazione della dipendenza della sensibilità [2] dallo spessore rimosso del rivelatore, quantità che dipende dal tempo di attacco chimico e dalle condizioni intrinseche di risposta del materiale (CR-39) del rivelatore, variabili nel tempo e a seconda dell'uso. L'approccio sperimentale eseguito è descritto in dettaglio in [2].

Nella figura n. 2 viene mostrata la dipendenza della sensibilità del nuovo dispositivo all'esposizione al thoron (in alto) ed al radon (in basso) al variare delle condizioni di attacco chimico.

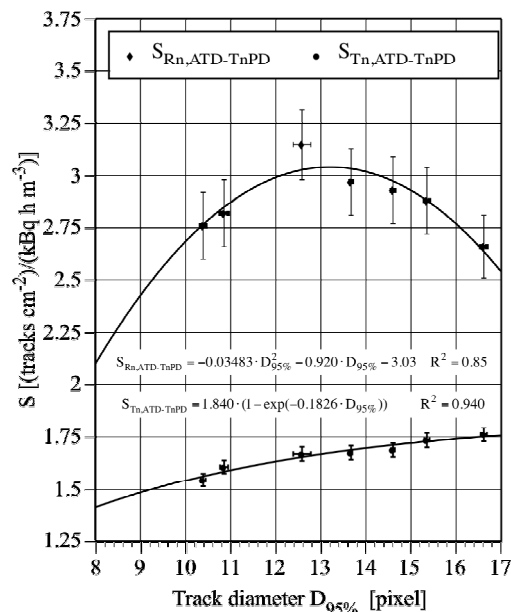


Figura 2: Andamento della sensibilità al thoron ed al radon del DPT thoron in funzione del diametro massimo (95%) della traccia.

4. La valutazione del rischio thoron mediante misurazione passiva

La determinazione della concentrazione dei suoi figli a partire dalla misura dell'indice di concentrazione del thoron prevede l'impiego di un modello e la determinazione dei suoi parametri, tra cui il valore del rateo medio di esalazione del thoron dalle pareti, il rapporto superficie/volume e il rateo di ventilazione del locale e i valori riguardanti il plate-out dei PDTn. I valori di questi parametri si trovano anche in

letteratura; tuttavia tali coefficienti dipendono fortemente dalla struttura e dalle condizioni d'uso del locale di misura, mentre altri (ad esempio l'esalazione) sono tipici delle caratteristiche delle pareti e delle condizioni climatiche, in particolare della differenza tra temperatura interna ed esterna. Per ottenere una misurazione della concentrazione di ^{212}Pb e di ^{212}Bi accurata è necessario dapprima calcolarli sperimentalmente e direttamente per ogni locale, in modo da poter generalizzare i risultati ai locali con tipologia analoga.

Utilizzando la funzione che definisce l'andamento della concentrazione di thoron in funzione della distanza dalla parete e la misurazione della concentrazione di thoron, per un periodo di 4 mesi (3/02/09 ÷ 17/06/09), a diverse distanze dalla parete (10, 20, 30, 40 e 50 cm) (vedi figura 3) si sono calcolati i valori del rateo di esalazione ed il coefficiente di diffusione efficace in 5 stanze campione, caratterizzate da un alto indice di concentrazione di thoron. Il valore del ricambio d'aria (λ_v) di un locale è stato calcolato [3] mediante il metodo della diluizione della concentrazione di SF_6 , un gas tracciante immesso nel locale.

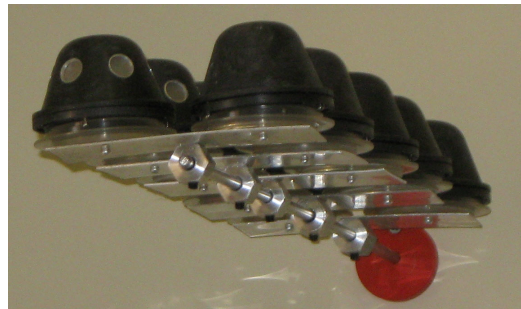


Figura 3: Installazione utilizzata per la determinazione dell'esalazione e del coefficiente di diffusione del thoron.

I restanti parametri (plate-out ed attachment) sono stati valutati teoricamente utilizzando formule note in letteratura ed adattate alle specifiche delle zone di lavoro investigate. In tal modo si è determinata la concentrazione media e la relativa incertezza delle concentrazioni dei PDTn (sia in forma attached che unattached) che sono state confrontate con una serie di misurazioni attive eseguite con uno strumento di campionamento attivo progettato nel ns. laboratorio [3]. I rapporti tra le EEC calcolate e quelle misurate mostrano che la valutazione del rischio tramite la misura passiva è mediamente conservativo (media logaritmica 1,13), e nei casi singoli di sottovalutazione gli scarti sono contenuti nei limiti delle incertezze di misura.

5. Conclusioni

Gli obiettivi la cui realizzazione è stata descritta nei punti 2, 3 e 4, e che costituiscono l'attività di ricerca e sviluppo del gruppo radon nascono essenzialmente dalle esigenze di studio ed approfondimento collegate alla commessa con il Ministero dell'Economia e delle Finanze; nel corso di tale commessa è stata riscontrata una presenza significativa di NORM nei materiali da costruzione, tale da richiedere la messa a punto di tecniche non convenzionali per un'affinata e completa determinazione del rischio in locali di lavoro ad alta densità di lavoratori. I risultati ottenuti hanno permesso di adempiere completamente a quanto indicato come specifiche per tale commessa, che è stata portata a termine nei tempi programmati, ovvero entro l'anno 2009.

[1] Calamosca M. and S. Penzo. "How to assess the sensitivity and related uncertainty of a new solid state passive thoron measuring device". Appl. Radiat. Isot. 67, 854-859, 2009.

[2] Calamosca M. and S. Penzo. "A new CR-39 nuclear track passive thoron measuring device". Radiat. Meas. 44 1013-1018, 2009.

[3] Penzo S. e M. Calamosca. "La valutazione del rischio thoron mediante misurazione passiva". ISBN 978-88648-10-1. XXIV Congresso AIRP – Frascati 28-30/10/2009.

CARATTERIZZAZIONE DELLA RISPOSTA DIRETTA E INDIRETTA (BYSTANDER, INSTABILITÀ GENOMICA, RISPOSTA ADATTATIVA) INDOTTA DALL'ESPOSIZIONE A BASSE DOSI DI RADIAZIONI IONIZZANTI ED EFFETTI DEL TRATTAMENTO CON ANTIOSSIDANTI

Anna Giovanetti

1. Premessa

Alla base dei criteri e delle pratiche radio-protezionistiche vi è l'ipotesi che l'effetto principale delle radiazioni sia dovuto all'interazione diretta delle radiazioni con il DNA. L'ipotesi *single hit*, insieme ai dati epidemiologici sulle popolazioni giapponesi sopravvissute alle bombe, ha portato alla formulazione del modello dose-risposta lineare senza soglia: LNT, attualmente in uso.

Studi recenti hanno dimostrato che anche le cellule non irraggiate ma in contatto con quelle irraggiate possono esprimere mutazioni e aberrazioni cromosomiche (*bystander effect*), che esposizioni a basse dosi possono attenuare l'effetto di un'esposizione successiva a dosi maggiori (risposta adattativa) e che cellule discendenti da cellule irraggiate, apparentemente non danneggiate, possono mostrare danno genetico fino a 30 generazioni dopo (instabilità genomica) (Azzam et al 2004).

I meccanismi alla base di questo danno indiretto non sono stati del tutto spiegati. I risultati di alcune ricerche hanno dimostrato il coinvolgimento del metabolismo ossidativo cellulare, la produzione di molecole di segnale e, in animali irraggiati, un aumento dello stato infiammatorio negli organi ematopoietici. (Wright and Coates, 2006) E' utile ricordare che uno dei principali tumori radio-indotti, la leucemia mieloide è stato associato all'interazione tra microambiente nel midollo e cellule staminali.

Presso il laboratorio di radiobiologia IRP in Casaccia è stata dimostrata la persistenza di instabilità genomica in topi esposti ad una singola dose di 0,1 Gy di raggi X, associata all'aumento nell'indice apoptotico in milza e midollo osseo (Giovanetti et al 2008).

Gli effetti indiretti prevalgono nel caso delle basse dosi e inducono, per questo *range* di dose, a riconsiderare la stima del rischio prevista dal modello LNT. Per poter stabilire eventuali nuovi criteri in radioprotezione è necessario comprendere i meccanismi biologici alla base di questi fenomeni. Programmi di ricerca sono in corso negli US e in Giappone e recentemente la EC ha lanciato una piattaforma, Melodi, per recensire e coordinare le ricerche biologiche nel campo delle basse dosi.

Considerando il ruolo svolto dai radicali ossigeno nella trasmissione del danno indiretto, è stato ipotizzato che il trattamento con sostanze antiossidanti (propoli, mix vitaminico, melatonina, SOD etc.) possa minimizzare il danno biologico indotto dalle radiazioni ionizzanti (Weiss and Landauer 2009). Se questa ipotesi fosse confermata vi sarebbero importanti implicazioni per i lavoratori esposti, i pazienti sottoposti a radiazioni diagnostiche o terapeutiche e in caso di incidente.

2. Attività IRP di di radiobiologia nel CR ENEA Casaccia nel 2009.

Nel 2009, in collaborazione con l'Università "Roma Tre", Prof Incerpi, e "Tor Vergata" di Roma Prof Rufini e Prof Pedersen, è stato condotto un programma di ricerca con lo scopo di capire se la trasmissione del danno indiretto era associata all'alterazione del metabolismo ossidativo cellulare e se la somministrazione di antiossidanti diminuiva il danno genetico. Di seguito vengono presentati alcuni risultati preliminari che saranno integrati dai prossimi esperimenti.

2.1 Metodi

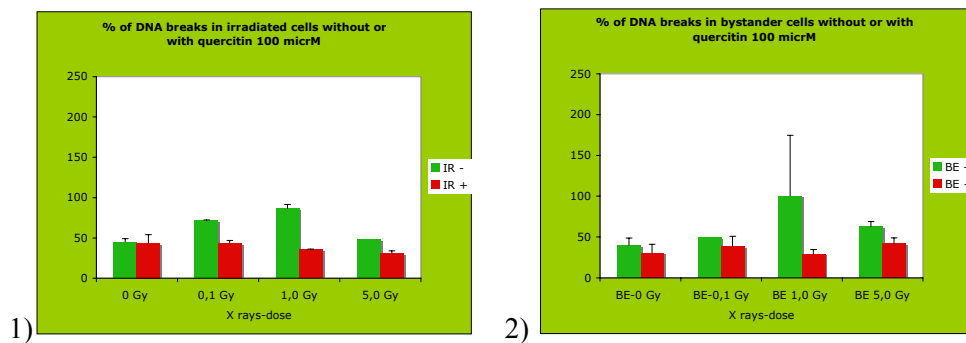
Sono stati utilizzati cheratinociti umani (HaCatat) irraggiati con 0; 0,1; 1; 5 Gy di raggi X (Gilardoni 300). Per verificare l'effetto bystander, 1 h dopo l'irraggiamento il terreno delle cellule trattate è stato filtrato e somministrato a cellule non trattate. L'antiossidante quercitina è stato aggiunto 1 h prima dell'irraggiamento. Le cellule sono state analizzate 24 h dopo il trattamento al fine di verificare:

1. Danno genetico mediante Comet assay.
2. Stress ossidativi stimolando le cellule con composti in grado di generare ROS (cumene, FeSO₄, H₂O₂) e analizzando le proprietà antiossidanti di 5,6, diidrossiflavone e quercitina.
3. Deplezione topoisomerasi come indice di danno genetico misurata mediante western blot.

2.2 Risultati

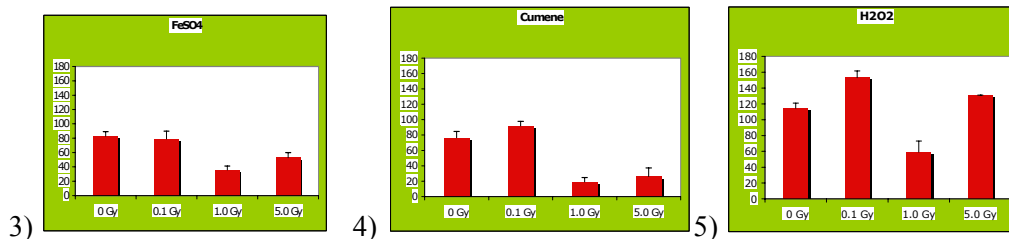
Danno genetico

Nelle cellule irraggiate (Fig 1) il danno genetico mostra un andamento dose dipendente fino a 1 Gy, il livello basso di danno per 5 Gy può essere dovuto alla morte delle cellule più danneggiate. La somministrazione di quercitina diminuisce in maniera significativa il danno. Nelle cellule *bystander* (BE) il danno maggiore è stato osservato nelle cellule trattate con il terreno dalle cellule irraggiate (IR) con 0,1 Gy, la somministrazione di quercitina diminuisce drasticamente il danno genetico suggerendo il coinvolgimento dello stress ossidativo nel danno *bystander* da basse dosi (IR=-senza q.; IR+= con q.).

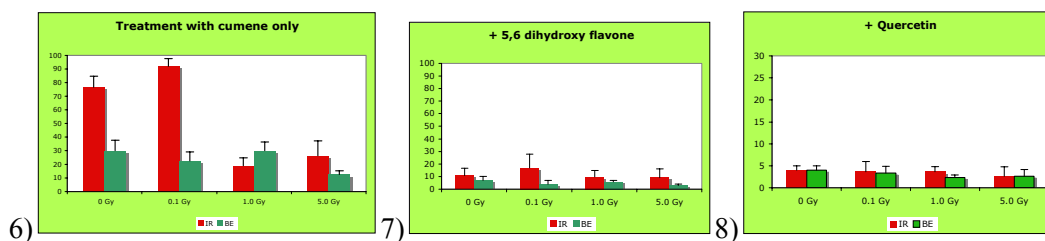


Produzione di specie ossigeno reattive (ROS)

Se le cellule IR vengono stimolate, il livello di ROS aumenta leggermente per 0,1 Gy e diminuisce di molto per 1 Gy e un po' meno per 5 Gy. Potrebbe significare che le cellule 1 e 5 Gy hanno più capacità di contrastare i ROS generati (Fig 3, 4, 5).

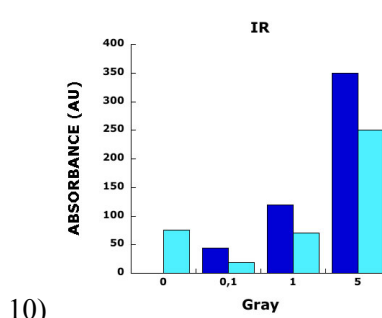
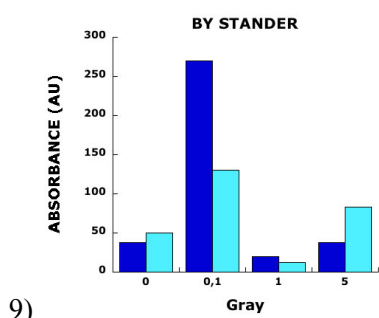


Nelle cellule BE la stimolazione a produrre ROS è meno efficace rispetto alle cellule IR come risulta nella Fig 6. L'aggiunta dell'antiossidante 5,5 diidrossiflavone diminuisce la produzione di ROS sia nelle cellule IR che nelle BE (Fig 7). Tale diminuzione è maggiore in seguito al trattamento con quercitina (Fig 8) considerando che nel grafico la scala non è più fino a 100 ma fino a 30.



Cleavage della Topo 1

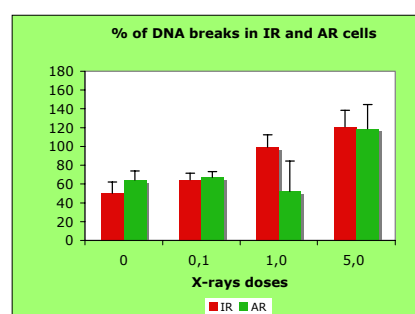
Nelle cellule IR (Fig 9) le radiazioni inducono cleavage della Topo 1 in modo dose-dipendente (barre blu), l'aggiunta di quercitina induce una diminuzione della cleavage. Nelle cellule BE (Fig 10) il cleavage è maggiore nelle cellule che hanno ricevuto il terreno dalle IR 0,1 Gy, anche in questo caso la quercitina induce la riduzione del danno.



Questi risultati per quanto preliminari indicano un ruolo attivo degli antiossidanti e in particolare della quercitina nel prevenire i danni da radiazione diretti e indiretti. Sono stati oggetto di una presentazione a invito al 6° *Indo-Italian workshop on Chemistry and Biology of Antioxidants*, Delhi 10-11 dicembre 2009, dove sono state poste le premesse per collaborazioni scientifiche per la scelta degli antiossidanti e lo studio del meccanismo di azione.

3. Risposta adattativa

Nel corso del 2009 è anche iniziata una linea di ricerca sugli effetti protettivi causati da una pre-esposizione a dosi basse rispetto a successive esposizioni a dosi medio-alte. Cellule Hacat sono state irraggiate con 0; 0,1; 1; e 5 Gy di raggi X e 24 h dopo irraggiate in vitro con 2 Gy di raggi X. I risultati preliminari (Fig 11) indicano un andamento dose-dipendente nelle cellule IR e una diminuzione del danno genetico nelle cellule AR pre-irraggiate con 1 Gy.



- Azzam EI, Little JB. 2004, *The radiation-induced bystander effect: evidence and significance*. Hum Exp Toxicol. 23(2):61-5.
- Giovanetti A, Deshpande T, Basso E. 2008, *Persistence of genetic damage in mice exposed to low dose of X rays*. Int J Radiat Biol. 84(3):227-35.
- Weiss JF, Landauer MR. 2009 *History and development of radiation-protective agents*. Int J Radiat Biol. 85(7):539-73.
- Wright EG, Coates PJ. 2006. *Untargeted effects of ionizing radiation: Implications for radiation pathology*. Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis 597:119-32.

STUDI DI OTTIMIZZAZIONE PER IL CALCOLO DELLA DOSE NELLA RADIOTERAPIA METABOLICA CON [¹⁵³Sm] Sm –EDTMP E ¹³¹I IN MEDICINA NUCLEARE

Sandro Ridone, Dolores Arginelli e Mario Montalto

1. Premessa

Nel presente contributo sono descritte brevemente alcune della attività seguite dai ricercatori IRP di Saluggia nel corso del 2009 dedicate alle applicazioni medicali di radionuclidi in radioterapia metabolica.

2. Attività con ¹⁵³Sm

Il radiofarmaco [¹⁵³Sm]Sm-EDTMP è da tempo somministrato nelle cure palliative delle metastasi ossee dolorose, con un'attività standard di 37 MBq/kg, senza che venga fatta una valutazione preventiva delle caratteristiche individuali del paziente, in assenza anche di un modello biocinetico specifico per questo tipo di molecola [1, 2]. A tal fine abbiamo voluto sviluppare una metodica per determinare la cinetica in vivo del radiofarmaco stabile distinto dal radionuclide dissociatosi dal carrier, che ha un diverso destino metabolico [3], di cui nel calcolo della dose agli organi target e non-target è opportuno tenere conto.

2.1 Metodi e risultati

Per valutare la stabilità della molecola in vivo è stata messa a punto una tecnica radiocromatografica su strato sottile (TLC, Thin Layer Chromatography), precedentemente validata tramite prove in vitro, su campioni ematici, prelevati a tempi nell'arco delle 24 h a pazienti sottoposti al trattamento. I campioni sono stati eluiti su un supporto di gel di silice su fibra di vetro con una miscela eluente composta da H₂O:CH₃OH:NH₄OH (4:2:0.2). La quantità di radiofarmaco indissociato e di radionuclide libero è stata valutata su una serie di prelievi ematici effettuati nell'arco delle 24 h su pazienti sottoposti alla radioterapia metabolica. Dal momento che la stabilità del complesso è risultata tra l'80% e il 90% nella fase di distribuzione dalla circolazione sistemica al resto dell'organismo, è stato sviluppato, in prima approssimazione, un modello biocinetico per il [¹⁵³Sm]Sm-EDTMP, che trascurasse la componente slegata, anche in virtù del fatto che il 45% del samario circolante è captato comunque dall'osso [2]. Tale modello a compartimenti può essere descritto da un sistema di equazioni differenziali:

$$\begin{aligned} \dot{A}_P &= +k_{21} \cdot A_T - k_{13} \cdot A_P - k_{12} \cdot A_P - k_{el} A_P - \lambda \cdot A_P \\ \dot{A}_T &= +k_{12} \cdot A_P + k_{21} \cdot A_T - \lambda \cdot A_T \\ \dot{A}_S &= +k_{13} \cdot A_P - \lambda \cdot A_S \\ \dot{A}_E &= +k_{el} \cdot A_P - \lambda \cdot A_E \end{aligned}$$

Si riconoscono un compartimento centrale plasmatico (1, P), un compartimento di passaggio (2, T) corrispondente ai tessuti o all'aliquota di radiofarmaco non fissato all'osso, un compartimento corrispondente allo scheletro (3, S) e un compartimento esterno (E) corrispondente all'escrezione urinaria. Tale modello tiene conto sia delle costanti di trasferimento da un compartimento all'altro, k_{ij} , sia della costante di eliminazione k_{el} e infine della costante di decadimento fisico λ del ¹⁵³Sm. In Figura 1 sono riportati i valori di dose relativi alle superfici ossee e al midollo rosso. Da un altro

45% dell'aliquota di radiofarmaco slegato è stata ricavata l'attività cumulata e, di conseguenza, la dose al fegato [3]. In Tabella 1 sono riportati i valori riferiti a tre trattamenti.

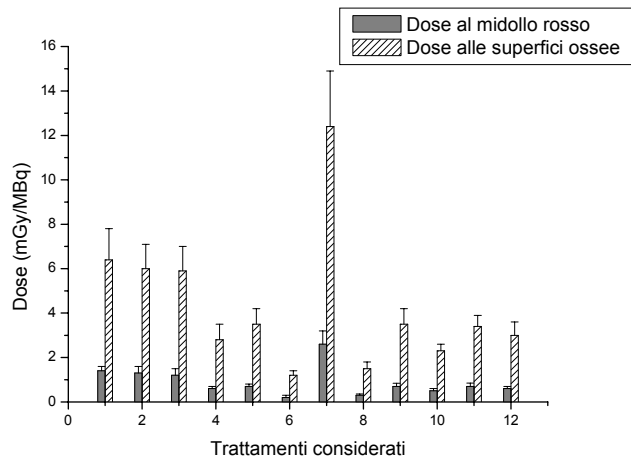


Figura 1: dose al midollo e alle superfici ossee relative ai trattamenti presi in considerazione

Tabella 1: dose al fegato riferita a tre casi di trattamento: proporzionale all'attività somministrata e assoluta.

Dose al fegato		
Paziente	Proporzionale all'attività somministrata [mGy/MBq]	Assoluta [mGy]
A	$(1.78 \pm 0.01) \times 10^{-3}$	5.16 ± 0.01
B	$(7.96 \pm 0.01) \times 10^{-3}$	21.1 ± 0.1
C	$(3.54 \pm 0.01) \times 10^{-2}$	42.9 ± 0.1

2.2. Conclusioni

I valori di dose ottenuti negli organi target e non-target hanno messo in evidenza una notevole variabilità biologica nell'uptake del radiofarmaco da parte dei soggetti trattati, elemento che indica la necessità di superare il semplice dosaggio basato sul peso del paziente. In particolare in quattro pazienti presi in considerazione per la stima dosimetrica al fegato è emerso che, pur essendo i valori comunque bassi, in un caso la dose era circa 30 volte maggiore rispetto a quanto riportato in letteratura [1]. Stiamo attualmente aumentando la statistica dei casi per individuare dei predittivi parametri sulla biocinetica e l'accumulo del radiofarmaco.

3. Attività con ^{131}I

Il calcolo "patient-specific" della dose da radiazione richiede la conoscenza della massa del tessuto nel quale si distribuisce il radionuclide che, decadendo, rilascia la dose. La misura di un qualsiasi volume di una sostanza radioattiva tramite indagine SPECT è generalmente affetta da una considerevole imprecisione, poiché la gamma camera ricostruisce volumi di dimensioni maggiori di quelle reali. Questo effetto è maggiormente evidente per volumi "piccoli", inferiori ai 10 cm^3 , mentre man mano che le dimensioni reali aumentano quelle misurate si avvicinano al volume reale [4]. Questa problematica è avvertita particolarmente nella radioterapia metabolica con ^{131}I , effettuata dopo la tiroidectomia della ghiandola per l'ablazione dei tessuti residui dall'asportazione chirurgica, in quanto la dose esatta nei tessuti tiroidei non è ancora ben conosciuta.

Pertanto è stata cercata una relazione tra volume visualizzato dalla gamma camera e volume reale attraverso la determinazione di curve di calibrazione.

3.1. Metodi e risultati

I volumi reali sono stati realizzati tramite l'uso di siringhe da 1, 2, 5 e 10 mL, riempite con differenti volumi (0.1-10 cm³) di alcuni radionuclidi medicali (^{99m}Tc, ^{117m}Sn, ¹¹¹In, ¹³¹I) in soluzione acquosa. Per il calcolo del volume reale è stato valutato quello di un cilindro di raggio pari al raggio della siringa e altezza uguale alla lunghezza di liquido radioattivo nella siringa. Il valore ottenuto è stato confrontato con il volume misurato attraverso l'indagine SPECT con gamma camera, impiegando due diversi metodi di calcolo del volume: l'uno basato sulla selezione automatica dei Volumes of Interest (VOI) (metodo VOI-AnalysisTM) e l'altro sulla selezione manuale delle dimensioni nelle immagini trasversale, sagittale e coronale (metodo General TomoTM). La stima dei parametri delle curve di best-fit è stata effettuata utilizzando i programmi MS EXCEL 2003-2007TM e LAB Fit V 7.2.46TM. Sono stati valutati, inoltre, diversi metodi di ricostruzione dell'immagine: FBP, OSEM, Flash 3DTM, con o senza correzione per lo *scatter*. Il più appropriato è risultato essere il Flash 3DTM della Siemens con proiezioni corrette per lo *scatter*, in quanto ricostruisce bene l'immagine con le dimensioni inferiori e più vicine a quelle reali. Le curve di calibrazione ottenute per i volumi considerati e sistema di acquisizione utilizzato sono della forma: $V_{\text{Ricostruito}} = a \cdot (V_{\text{Misurato}})^b + c$.

A partire da queste basi sperimentali abbiamo focalizzato la nostra attenzione sull'impiego dello ¹³¹I, per il calcolo della dose con il metodo di Maxon [5]. Le curve di calibrazione ricavate per lo ¹³¹I sono state applicate per valutare il volume della massa tiroidea residua su due pazienti dopo asportazione chirurgica della ghiandola, rispettivamente 7 e 9 giorni dopo la somministrazione di 3.7 GBq (paziente A) e 1.1 GBq (paziente B) di radiofarmaco. La valutazione è avvenuta successivamente per motivi clinici, anche se ciò potrebbe inficiare la corretta determinazione del volume dei tessuti rimanenti: infatti tale volume si riduce della metà tra il momento della somministrazione dell'attività terapeutica dello ¹³¹I e l'indagine SPECT sui volumi dei tessuti residui. I due metodi, VOI-AnalysisTM e General TomoTM, hanno dato risultati in accordo tra loro nel calcolo della massa, tuttavia la dose ai tessuti residui per i due pazienti è stata calcolata con il metodo automatico, in quanto più pratico, e corrisponde a 460 Gy (A) e 860 Gy (B).

3.2 Conclusioni

Per entrambi i pazienti (indicati con A e B) i risultati ottenuti con i due metodi sono risultati in accordo tra loro. La dose valutata per il Paziente A è, inoltre, in accordo coi risultati di altri studi, mentre per il Paziente B è più alta, probabilmente a causa del fatto che la massa era inferiore. La massa dei tessuti tiroidei rimanenti può essere valutata tramite indagini SPECT utilizzando curve di calibrazione, ma è auspicabile verificare questi risultati aumentando la casistica dei pazienti.

[1] <http://www.emea.europa.eu/humandocs/PDFs/EPAR/Quadramet/H-150-PI-en.pdf>.

[2] ICRP Publication 53.

[3] ICRP Publication 30, Part 3 including Addendum to Parts 1 and 2.

[4] S.R. Cherry et al., "Physics in Nuclear Medicine", Saunders (Philadelphia, USA, 2003).

[5] S.R. Thomas, H.R. Maxon, J.G. Kereiakes, E.L. Saenger, "Quantitative external counting techniques enabling improved diagnostic and therapeutic decisions in patients with well differentiated thyroid cancer", *Radiology*, 1977, 122: 731-737.

SVILUPPO DELLE METODICHE PER LA SICUREZZA RADIOLOGICA PRESSO IMPIANTI PER FUSIONE NUCLEARE

Sandro Sandri

L'attività di studio, sviluppo e progetto relativa alla determinazione delle dosi individuali e collettive del personale operante presso futuri impianti a fusione nucleare e alle metodiche di radioprotezione applicabili agli impianti per fusione nucleare, in genere, è in corso presso l'unità IONIRP di Frascati fin dai primi anni '90. In quest'ambito alcune attività dedicate alle strutture in via di realizzazione per l'impianto ITER sono state parzialmente finanziate negli ultimi anni attraverso l'associazione ENEA-Euratom sulla fusione e attraverso il Consorzio RFX.

Il Consorzio RFX negli ultimi due anni ha anche messo a disposizione dell'unità IONIRP due fisici a contratto che hanno operato principalmente presso il CR Frascati avendo come tutor il dr. S. Sandri.

Dalla fine del 2008 è stato rinnovato un contratto con il consorzio RFX per la conduzione di studi progettuali per l'impianto NBTF (Neutral Beam Test Facility). L'impianto in via di realizzazione a Padova, consta di due strutture di prova per gli acceleratori di neutri NBI (Neutral Beam Injector) che saranno in seguito installati in Francia sulla macchina per la fusione nucleare ITER.

Tra la fine del 2008 e la fine del 2009, per il progetto NBTF sono continuate le attività di radioprotezione relative alla fase preliminare alla richiesta di autorizzazione all'esercizio. In particolare sono state seguite le fasi finali della progettazione e sono state affrontate le problematiche per ottenere il permesso alla costruzione degli edifici. Sono stati effettuati incontri finalizzati alla determinazione dei requisiti e dei criteri di radioprotezione per l'impianto NBTF. Le riunioni si sono svolte presso il Consorzio RFX con la partecipazione delle ditte e degli studi tecnici coinvolti nella progettazione della facility. Durante l'anno sono inoltre stati pianificati alcuni incontri con le istituzioni e gli organi di controllo che, in fase di istruttoria tecnica, saranno preposti al rilascio del beneplacito per l'esercizio dell'impianto.

In questa fase sono stati prodotti documenti descrittivi del progetto di radioprotezione da fornire agli organi di controllo, tra i quali i VVF.

Nel seguito saranno descritti gli accorgimenti di radioprotezione adottati per il bunker dell'esperimento principale (MITICA) e del test sorgente (SPIDER).

Per l'esperimento principale è stato rivisto il progetto delle schermature di calcestruzzo armato attorno all'iniettore, in parte fissa ed in parte rimovibile. Al di sotto dell'iniettore, collocato all'incirca a livello del pavimento, è previsto un spazio interrato di circa 3 metri per le operazioni di manutenzione e accesso delle diagnostiche.

Al di sotto dell'iniettore, in prossimità del calorimetro è stato progettato un cavedio interrato per il passaggio dei tubi dei sistemi ausiliari verso l'edificio adiacente.

Da un punto di vista radioprotezionistico l'analisi della diffusione della radiazione attraverso queste importanti penetrazioni negli schermi ha richiesto l'impiego di codici di calcolo e di formule empiriche disponibili in letteratura. In base all'esperienza maturata presso analoghe strutture sono stati poi indicati le soluzioni architettoniche e il materiale da adottare nei vari casi per ottimizzare le esposizioni di personale e popolazione in modo da rispettare specifici vincoli di progetto.

Per l'accesso pedonale all'interno dei bunker ospitanti le due facility sono stati progettati dei labirinti a più rami. Per la macchina ad intensità più elevata (denominata MITICA) è stata anche prescritta una porta di accesso, scorrevole o a battente, da realizzare in materiale leggero di adeguato spessore (valutati 30 cm polietilene + 3 mm piombo).

Una analisi specifica è stata condotta, in collaborazione con colleghi dell'unità FUS, per la determinazione della produzione e diffusione di trizio all'interno del bunker principale (MITICA). Il risultato di questo studio ha dimostrato che la quantità di trizio prodotta non è tale da richiedere la presenza di una depressione del locale rispetto all'ambiente esterno. Tuttavia, tenendo in considerazione anche le necessità di installare schermature removibili, si è reso necessario predisporre all'interno del bunker un sistema di ventilazione forzata (5 ricambi orari). Inoltre è stata prescritta un'attesa di almeno 10 minuti con il funzionamento della ventilazione forzata prima dell'entrata del personale all'interno del bunker.

Al fine di condurre le fasi di pre-istruttoria autorizzativa, nel corso dell'anno è stata pianificata una serie di incontri con le istituzioni e gli organi di controllo coinvolti nel rilascio del benestare in fase di istruttoria tecnica. Nello specifico sono stati fissati incontri con il Comando Provinciale dei VVFF di Padova, con tecnici dell'ARPA Veneto e con funzionari del comune di Padova.

All'inizio del 2010 sarà consegnata la relazione tecnica di competenza dell'esperto qualificato, dr. Marco D'Arienzo, per l'istanza autorizzativa relativa alla macchina minore (SPIDER) dell'impianto NBTF. La richiesta per la macchina MITICA sarà inviata successivamente all'ottenimento del primo nulla osta.

QUALIFICAZIONE IN DOSIMETRIA ESTERNA: IL SISTEMA QUALITÀ DEL SERVIZIO DOSIMETRICO ENEA IRP

B. Morelli, F. Mariotti, Maria Chiara Botta, G. Baldassarre e G. Uleri

1. Premessa

La qualità dei prodotti e dei servizi è il primo obiettivo di qualsiasi organizzazione per ottenere un certo livello di prestazioni che incontrino le aspettative del cliente.

In Italia non sono ancora stati specificati i criteri e le modalità per ottenere il riconoscimento dei Servizi di Dosimetria Personale come richiesto nel D.Lgs. 241/00 e non vi sono richieste sul “Sistema Qualità” da parte degli organismi di controllo come avviene invece in molti paesi dell’Unione Europea dove la verifica del Sistema di Gestione per la Qualità (QMS) di un Servizio è parte integrante del procedimento di valutazione per ottenere il riconoscimento.

L’applicazione in un Servizio di Dosimetria di un “Sistema di Gestione per la Qualità” è un modo per dimostrare che il servizio è competente e capace di produrre risultati tecnicamente validi, che soddisfano le esigenze del cliente, ossia misurazioni di dose accurati e affidabili anche secondo requisiti contenuti negli Standard Europei.

L’accreditamento in base allo Standard EN ISO/IEC 17025:2005 (1) (procedimento con cui un organismo riconosciuto attesta formalmente la competenza di un’altra organizzazione a svolgere funzioni specifiche), permette di garantire che il servizio di dosimetria opera in qualità sia per le procedure tecniche che gestionali. La pratica di accreditamento in base a questo Standard si è largamente diffusa nei paesi dell’Unione Europea ma non ancora in Italia dove vige solamente la certificazione su base volontaria di conformità alle norme ISO 9001:2000.

Il Servizio Dosimetrico dell’ENEA IRP si pone l’obiettivo, di richiedere l’accreditamento, secondo il suddetto Standard, all’organismo di accreditamento competente, Accredia (unico Ente Nazionale di Accreditamento riconosciuto dallo Stato il 22.12.2009, nato dalla fusione di SINAL e SINCERT).

2 Il Sistema di gestione per la qualità del Servizio Dosimetrico

L’attività di un servizio di dosimetria personale esterna consiste essenzialmente nell’invio periodico al cliente dei dosimetri richiesti che rientrano al servizio per la determinazione della risposta dosimetrica al termine del periodo di utilizzo.

Un metodo per stabilire un Sistema di Gestione per la Qualità, è suggerito nelle linee guida IAEA (2) nell’identificazione dei processi dell’attività del servizio di dosimetria, nella determinazione della sequenza e delle interazioni tra i processi, nell’individuazione dei criteri e dei metodi per garantire la qualità il controllo e il monitoraggio ed infine nell’implementazione delle azioni necessarie per ottenere i risultati pianificati e continui miglioramenti.

Nelle guide tecniche redatte da organismi internazionali (3) come nelle raccomandazioni della Commissione Europea (4) è fortemente raccomandato che qualunque organizzazione che svolga questo tipo di attività comprenda come parte integrante nella propria gestione, un Programma di Assicurazione della Qualità (QA), operativo mediante controlli di qualità (QC) su parametri critici individuati nelle varie fasi dei processi dell’attività del servizio di dosimetria.

Il Servizio Dosimetrico dell’ENEA-IRP, ha sempre avuto come obiettivo principale l’affidabilità del dato dosimetrico fornito e ha sviluppato e implementato nel corso degli anni della sua attività, procedure di controllo (QC) sulle varie fasi critiche dei processi che toccano in modo soddisfacente i punti chiave suggeriti nelle raccomandazioni. Inoltre

partecipa periodicamente ad interconfronti internazionali ed effettua studi e ricerche ai fini del miglioramento della prestazione del sistema dosimetrico alla luce dello sviluppo delle nuove tecniche disponibili.

Il Sistema di gestione per la qualità che coinvolge l'intera attività del Servizio, ha comportato lo sviluppo, l'implementazione e la gestione di un programma di QA, la documentazione dei metodi, delle procedure e risultati dei test; la consapevolezza della qualità e la formazione del personale, la verifica della conformità per l'accettazione dei nuovi materiali, il mantenimento e controllo della strumentazione e dei processi, la verifica delle "facility" di calibrazione la valutazione delle incertezze dei risultati delle misure ed infine la verifica della prestazione complessiva del sistema.

Nella Figure 1 sono mostrati i risultati dell'anno 2009 del performance test (QA-test) del cliente fittizio relativamente al dosimetro per corpo intero per fotoni.

La Tabella 1 mostra la frequenza delle procedure del programma di assicurazione della qualità.

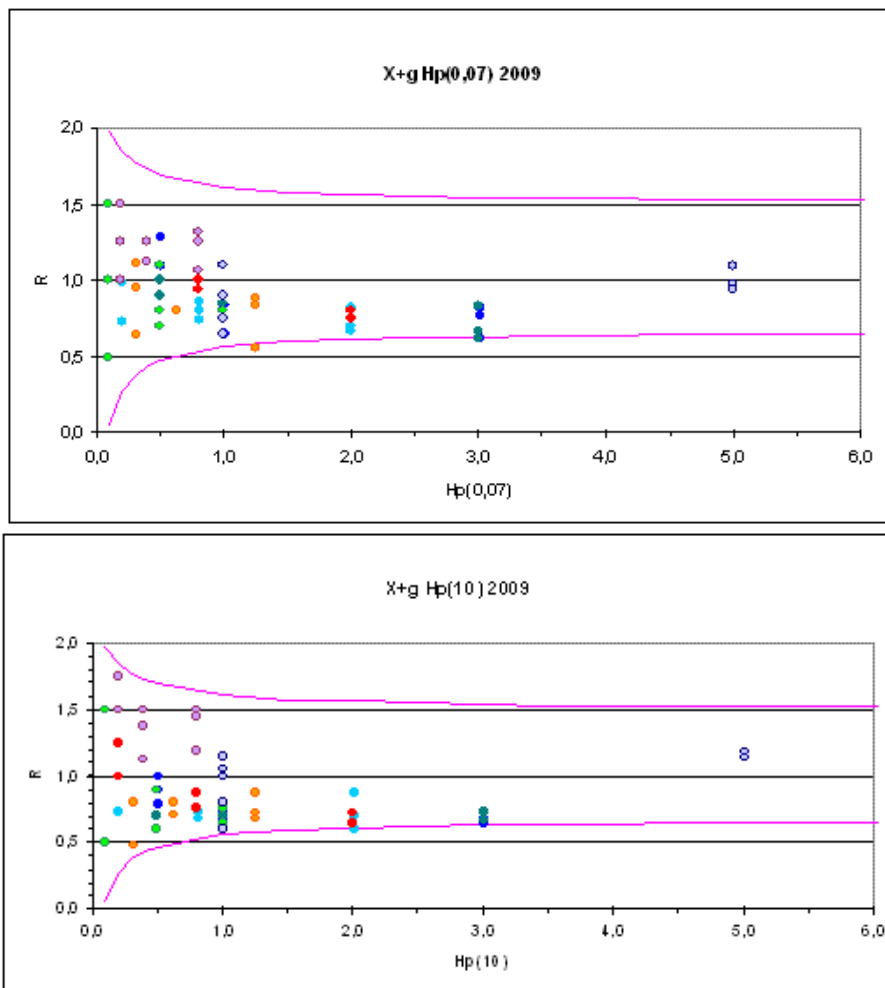


Figura 1: Risultati del QA-test anno 2009 dove R è la risposta ($R=H_p(d)_{\text{mis}}/H_p(d)_{\text{vero}}$) per il dosimetro per corpo intero per fotoni per la grandezza Hp(0.07) e Hp(10).

3. Conclusioni

La realizzazione, l'implementazione, il mantenimento ed il continuo aggiornamento di un Sistema di Gestione per la Qualità in un Servizio di Dosimetria richiede un notevole costo sia in termini di impegno che di risorse. D'altra parte tutta l'attività e la gestione del servizio ne traggono vantaggio e sono di stimolo per predisporre un continuativo e costante programma di miglioramento delle performance.

Tabella 1: Frequenza delle procedure del programma di assicurazione della qualità.

Frequenza	Giornaliera	Ogni 45 giorni	Trimestrale	Annuale	Biennale o superiore
Servizio di Dosimetria Personale		Calibrazione	Taratura dosimetri per neutroni veloci		
		Performance test di QA			
	Stabilità del lettore				
	Stadio del processo				
	Back-up dei dati, dei risultati dosimetrici e del software gestione servizio				
			Verifica interna del SGQ	Revisione del SGQ	
Cliente				Verifica soddisfazione del cliente	
Facility di calibrazione esterne					Intercalibrazioni
					Interconfronti

[1] European Standard. "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories" EN ISO/IEC 17025:2005/AC:2006.

[2] International Atomic Energy Agency. *Quality management system for technical services in radiation safety*. Prepared by IAEA Division of Radiation and Waste Safety, Radiation Monitoring and Protection Services Section. Vienna (2003).

[3] International Atomic Energy Agency. "The Management System for Technical Services in Radiation Safety". IAEA Safety Guide N. GS-G-3.2. IAEA Safety Standards. Vienna (2008).

[4] European Commission, "Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation" Radiation Protection N. 160 (2009).

FORMAZIONE E GESTIONE DELL'EMERGENZA NUCLEARE NEL CENTRO DI RICERCHE ENEA DELLA CASACCIA

Enrico Borra e Giorgia Iurlaro

1. Premessa

Presso il C.R. Casaccia, in adempimento a quanto previsto dal “Piano di Emergenza Esterna per il C.R. Casaccia”, l’Istituto di Radioprotezione (IRP) si occupa delle valutazioni radiometriche nel sito e nelle aree adiacenti per garantire le misure della radioattività ambientale. L’Istituto di Radioprotezione si avvale delle strutture e delle competenze dei Laboratori di Sorveglianza Ambientale presenti nel sito Casaccia e degli Esperti Qualificati impegnati nel ruolo di Direttore dell’Emergenza. Uno degli aspetti più importanti nella gestione di una emergenza nucleare è l’abilità di stimare in tempi rapidi le conseguenze di un incidente/anomalia nella prima fase dell’emergenza, raccogliere tutte le informazioni e misure da confrontare con i livelli di riferimento di emergenza derivati che sono correlati alla necessità di attuare contromisure. In accordo con il Piano di Emergenza del C.R. Casaccia ogni anno si esegue una prova di emergenza, sotto la supervisione degli ispettori ISPRA. L’IRP provvede alla formazione e all’aggiornamento del personale reperibile del C.R. Casaccia coinvolto attraverso incontri, lezioni ed esercitazioni per il personale delle Squadre Radiometriche, dei laboratori di radiochimica, dei laboratori di misura della radioattività, sotto la supervisione del Centro di Coordinamento Radiometrico.

2. Attività di formazione e gestione dell'emergenza

In relazione alle tematiche connesse alla Emergenza di Centro sono state organizzate le seguenti attività:

2.1 *Formazione direttori emergenza*

L’IRP si è avvalso degli Esperti Qualificati con maggiore esperienza per formare i nuovi Direttori dell’Emergenza di Centro. Nel corso del 2008 è stato organizzato un “Corso di Formazione /Aggiornamento per esperti qualificati, Direttori di Impianto, Direttori di Emergenza per il piano di Emergenza Nucleare Esterna del C.R. Casaccia” in cui sono stati introdotti i riferimenti di legge sui piani di emergenza degli impianti nucleari, sono state illustrate le modalità di esercizio degli impianti TRIGA e TAPIRO in condizioni normali ed eccezionali e sono stati riassunti gli incidenti di riferimento. La formazione dei nuovi direttori dell’Emergenza però non si è esaurita in tale evento, ma è un processo continuo che si rinnova durante le esercitazioni annuali in cui attraverso il confronto e la collaborazione degli Esperti Qualificati si procede verso un miglioramento delle competenze anche del nuovo personale ENEA.

2.2 *Procedure ed addestramento delle squadre di emergenza della sorveglianza ambientale*

Nel corso dell’anno è stato individuato il personale facente parte delle squadre di emergenza della sorveglianza ambientale, sono state definite le principali procedure per l’effettuazione delle misure in emergenza e le stesse sono state illustrate ed applicate dal personale durante appositi incontri di addestramento.

2.3 *Gestione dell'emergenza:*

In relazione ai diversi scenari di incidente ipotizzati durante l’esercitazione dell’Emergenza di Centro, il Direttore dell’Emergenza è tenuto ad indicare i punti in cui

le Squadre Radiometriche devono recarsi e la tipologia di misura da eseguire, anche attraverso l'aiuto di un software di simulazione dei rilasci per gli incidenti di riferimento. Gli Esperti Qualificati hanno messo a punto nuove schede per la notifica agli enti competenti dei punti di prelievo e di riepilogo misure e brevi procedure che riassumono le azioni da compiere in ottemperanza a quanto previsto dai piani di Emergenza e dalla applicazione del D.Lgs. 230 e s.m.i. Particolare attenzione è stata posta nella definizione di parametri e schede operative che consentono in prima approssimazione di eseguire calcoli dei livelli di riferimento derivati per la contaminazione dell'aria e del suolo e il calcolo della dose efficace e dose equivalente per adulti, bambini e lattanti.

2.4 Realizzazione video corso

Partendo dall'annuale esercitazione di emergenza 2008 che si è svolta in un Centro Ricerche dell'ENEA, prevista dal regolamento di esercizio degli impianti nucleari, è stato realizzato un video amatoriale che, illustrando le varie fasi dell'emergenza, descrive le strutture e le competenze interne al Centro che sono chiamate ad intervenire in prima istanza e/o contemporaneamente alle squadre di intervento previste dal piano di emergenza della Prefettura. Lo strumento video, ed in generale la formazione multimediale, rappresentano nell'ambito della formazione una importante evoluzione che, abbinata alla presenza di un tutor, rendono massima l'efficacia degli interventi formativi. Il video è stato pensato come importante mezzo di formazione di tutto il personale coinvolto nelle operazioni previste durante l'emergenza nucleare di Centro e in generale può essere di utile impiego per illustrare in modo efficace le azioni da compiere nella prima fase di emergenza nucleare. Le riprese eseguite nei tre principali luoghi in cui si sviluppano gli interventi a seguito dell'allarme di Centro (Impianto, Sala Emergenza e Punti di Campionamento) consentono una visione complessiva delle azioni svolte dal personale. Si può notare l'importanza del continuo aggiornamento delle informazioni e dei dati per un controllo degli eventi in relazione ai rischi radioprotezionistici.



Figura 1: Strumentazione impiegata per il campionamento della matrice terreno.



Figura 2: Squadra radiometrica impegnata nelle misure durante le esercitazioni di emergenza.

3. Conclusioni

Considerata la complessità degli interventi che ciascun lavoratore reperibile deve attuare durante le diverse fasi dell'emergenza nucleare nel C.R.Casaccia, risulta di fondamentale importanza l'organizzazione di incontri di addestramento periodici, oltre alla usuale prova di emergenza prevista dai regolamenti di esercizio degli impianti nucleari. Gli strumenti finora realizzati (opuscoli, manuali, video, eccetera) e le competenze sempre maggiori acquisite dal personale IRP facilitano la realizzazione di un programma di formazione continua, indispensabile per una corretta applicazione delle procedure previste dal piano di emergenza del CR Casaccia e da quello della Prefettura di Roma.

Formazione professionale in radioprotezione

TIROCINIO PER ASPIRANTI ESPERTI QUALIFICATI

Sandro Sandri, Giuseppe Ottaviano, Stefano Polenta e Giorgia Iurlaro

1. Premessa

Nel corso del 2009 è proseguita l'attività di formazione a tirocinio per esperti qualificati curata dall'istituto di radioprotezione dell'ENEA. In particolare sono stati seguiti un totale di sei tirocinanti presso il C.R. Frascati, a cura del tutor dr. Sandro Sandri, con la stretta collaborazione dei dr. Giuseppe Ottaviano e Stefano Polenta, tutti EQ di III grado, e due tirocinanti presso il C.R. Casaccia a cura del tutor dr.ssa Giorgia Iurlaro. I tirocini sono stati svolti sulla base delle indicazioni contenute nell'allegato V al Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 241, che richiede uno specifico tirocinio per l'accesso all'abilitazione da Esperto Qualificato. Il periodo di tirocinio necessario è di almeno 120 giorni lavorativi per ognuno dei tre gradi di abilitazione, sotto la guida degli esperti qualificati incaricati della sorveglianza fisica, e deve essere notificato alla Direzione Provinciale del lavoro in modo preventivo.

I tirocini devono essere svolti:

- per l'abilitazione di 1° grado presso strutture che utilizzano apparecchi radiologici che accelerano elettroni con tensione massima, applicata al tubo, inferiore a 400 kV;
- per l'abilitazione di 2° grado presso strutture che utilizzano sorgenti costituite da macchine radiogene con energia degli elettroni accelerati compresa tra 400 keV e 10 MeV, o da materie radioattive, incluse le sorgenti di neutroni la cui produzione media nel tempo, su tutto l'angolo solido, sia non superiore a 10^4 neutroni al secondo;
- per l'abilitazione di 3° grado presso strutture che utilizzano acceleratori di elettroni di energia superiore a 10 MeV o acceleratori di particelle diverse dagli elettroni, o presso impianti di cui al Capo VII del D.Lgs 230/95 e s.m.i.

I tirocini sono stati accordati agli aspiranti EQ dall'Esercente degli impianti e delle pratiche con rischi da radiazioni ionizzanti e/o dal responsabile dell'Istituto di Radioprotezione in accordo con l'EQ incaricato della sorveglianza fisica. I Centri ENEA di Bologna, Casaccia, Frascati, Saluggia e Trisaia offrono globalmente la possibilità di svolgere i suddetti tirocini nell'ambito delle attività di sorveglianza fisica di radioprotezione che l'Istituto stesso svolge attraverso gli EQ e gli addetti di radioprotezione operativa. In particolare presso i C.R. Frascati e Casaccia, dove sono stati effettuati i tirocini del 2009, sono disponibili strutture adeguate per lo svolgimento di tutti e tre i gradi di abilitazione.

2. Svolgimento del tirocinio presso l'Istituto di Radioprotezione

Le dotazioni strumentali e le competenze dell'Istituto di Radioprotezione in diversi Centri ENEA sono complete e danno la possibilità potenziale di svolgere tutti i tirocini per i tre gradi di abilitazione da Esperto Qualificato. Questa opportunità è già stata offerta con pieno successo presso i Centri di Bologna, Saluggia, Casaccia e Frascati.

Presso il Centro di Frascati nel 2009 sono stati completati 6 periodi di tirocinio per altrettanti candidati per l'abilitazione di 1°, 2° e 3° grado (due per ogni grado). Nel C.R. Casaccia due tirocinanti hanno completato due periodi per il 1° grado e sono in corso i due periodi successivi per il 2° grado.

Il programma per i tre gradi di abilitazione è stato organizzato in moduli che hanno incluso lezioni teoriche, esercitazioni pratiche e tirocinio operativo vero e proprio in supporto alle attività di sorveglianza fisica svolte presso il centro di ricerca.

Per il 1° grado il programma svolto è stato il seguente:

MODULO 1: teoria e esercitazioni

- Interazioni fotoni X – materia.
- Dosimetria delle radiazioni ionizzanti Grandezze e unità di misura; Teoria della cavità (Bragg-Gray).
- Effetti biologici delle radiazioni ionizzanti.
- Rivelazione dei fotoni X.
- Principi di funzionamento dei rivelatori di particelle; Dosimetria individuale.
- Principi di funzionamento delle macchine radiogene (< 400kV).
- Progettazione e verifica delle schermature.

MODULO 2: normativa e applicazioni

- Principi della radioprotezione.
- Raccomandazioni internazionali vigenti (ICRP 60) e nuove raccomandazioni (ICRP 103).
- Normativa nazionale
 - D. Lgs. 230/95 e s.m.i.: Capo VIII: Protezione sanitaria dei lavoratori; Capo IX: Protezione sanitaria della popolazione;
 - D. Lgs. 185/00: Protezione del paziente.

MODULO 3: pratica operativa

- Utilizzo di alcuni rivelatori di fotoni X.
- Funzionamento delle macchine radiogene:
 - Carico di lavoro.
- Esempi di progettazione e verifica delle schermature
- Sopralluogo e misure presso alcuni impianti dell'ENEA
- Organizzazione della radioprotezione: Ruolo degli Esperti Qualificati; Registro di Sorveglianza Fisica; Comunicazioni preventive; Classificazione lavoratori; Classificazione aree di lavoro; Controllo di Qualità.
- Gestione delle emergenze.

Per il 2° grado il programma sviluppato è stato il seguente:

MODULO 1: teoria e esercitazioni

- Interazioni particelle cariche – materia.
- Radioattività.
- Rivelazione di particelle alfa e beta.
- Dosimetria interna: Contaminazione interna; Fisiologia dell'inalazione e dell'ingestione (modelli compartimentali); Calcolo della dose efficace per contaminazione interna; Limiti derivati.
- Acceleratori di elettroni con $E_{max} < 10\text{MeV}$.
- Cenni sulla radiazione neutronica.

MODULO 2: normativa e applicazione

- Normativa nazionale
 - D. Lgs. 230/95 e s.m.i.: Capo III-bis: Esposizione da attività lavorative con particolari sorgenti naturali di radiazioni; Capo V: Regime giuridico per importazione, commercio, trasporto e detenzione; Capo VI: Regime autorizzativo per le installazioni e particolari disposizioni per i rifiuti radioattivi.
 - D. Lgs. 52/07: Sorgenti radioattive sigillate ad alta attività e sorgenti orfane.

MODULO 3: pratica operativa

- Utilizzo di alcuni rivelatori di particelle.

- Radioattività: Sorgenti sigillate e non sigillate; Manipolazione sorgenti radioattive (glove-box); Contaminazione superficiale (smear-test) ed interna; Analisi matrici ambientali mediante scintillazione liquida; Gestione rifiuti.
- Sopralluogo e misure presso alcuni impianti dell'ENEA.

Infine per il 3° grado il programma è stato sviluppato come segue:

MODULO 1: teoria e esercitazioni

- Interazioni neutroni – materia.
- Fissione nucleare.
- Fusione nucleare.
- Classificazione dei neutroni.
- Principi di funzionamento dei rivelatori di neutroni.
- Spettrometria/Dosimetria neutronica.
- Dosimetria neutronica individuale.

MODULO 2: normativa e applicazione

- Normativa nazionale:
 - D. Lgs. 230/95 e s.m.i. Capo VII: Impianti; Capo X: Interventi.

MODULO 3: pratica operativa

- Utilizzo di alcuni rivelatori di neutroni.
- Dosimetri individuali.
- Schermature per campi neutronici.
- Progettazione di bunker.
- Sopralluogo e misure presso alcuni impianti dell'ENEA.

3. Conclusioni

L'organizzazione e lo svolgimento di tirocini per aspiranti Esperti Qualificati rientra nell'ambito dei compiti di formazione in radioprotezione che l'ENEA prevede per l'Istituto di Radioprotezione. L'attività di addestramento professionale per aspiranti Esperti Qualificati è piuttosto specifica e presenta esigenze di addestramento pratico che vanno oltre al compito generico di formazione, nel senso di fornitura di nozioni teoriche. Gli EQ e il personale dell'Istituto di Radioprotezione coinvolto in questi tirocini devono fare uno sforzo che va ben al di là dell'organizzazione di qualche lezione teorica, in quanto è necessario pensare a esercitazioni specifiche e a impegni pratici continuativi per i candidati per tutto il periodo di tempo richiesto dal D.Lgs. 230/95 (cioè 360 giorni lavorativi per tutti i 3 gradi), tenendo in considerazione la disponibilità degli impianti e dei loro gestori. Il compito di formare richiede un gravoso impegno da parte degli EQ coinvolti, ma si tratta comunque di un'attività che costituisce una potenzialità di offerta di notevole importanza sul mercato professionale. Infatti, sebbene la legge richieda tassativamente per gli aspiranti EQ un periodo di tirocinio certificato da esercente ed EQ ospitanti, non fornisce indicazioni sulle modalità effettive con cui tale tirocinio deve svolgersi né indicazione sulle strutture presso le quali rivolgersi. Si ritiene quindi fondamentale mantenere in ENEA questa competenza attraverso IRP, così che l'Agenzia continui a costituire una delle poche, ma indispensabili, "strutture ospitanti" complete per questo tipo di tirocini. L'organizzazione dei tirocini per abilitazione di EQ permette inoltre di mantenere e sviluppare in ENEA IRP la specifica esperienza nel campo della formazione in radioprotezione e contribuire, tra l'altro, a progetti di formazione nazionali e internazionali, come il progetto europeo ENETRAP che aveva appunto lo scopo di stabilire il contenuto e la modalità di formazione degli Esperti Qualificati nella Unione Europea.

Servizi tecnici avanzati e schede descrittive dei
sistemi di misura e degli impianti

SERVIZI TECNICI AVANZATI

Elena Fantuzzi

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

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

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

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

Nelle seguenti tabelle sono riportate le tipologie di misura su campioni ambientali, alimentari o assimilabili a rifiuto radioattivo che IRP è in grado di eseguire sia per scopi di dosimetria individuale sia per scopi di determinazione della contaminazione o di misura della radioattività di un campione..

Misure di monitoraggio della contaminazione interna

Misura in vivo al polmone (o altro organo) di radionuclidi con emissione fotonica da 10 keV a 100 keV
Misura in vivo al corpo intero (WBC) o ad un organo di radionuclidi con emissione fotonica da 100 keV a 2 MeV
Misura in vivo di ^{125}I in tiroide
Misura in vivo dell'attività di $^{131}\text{I}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ in tiroide
Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore in un campione di urina
Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore in un campione di feci
Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore in un campione di muco nasale
Determinazione dell'attività del ^{210}Po in un campione di urine
Determinazione mediante spettrometria gamma dell'attività dei radionuclidi gamma emettitori in un campione di urina
Determinazione mediante spettrometria gamma dell'attività dei radionuclidi gamma emettitori in un campione di urina
Determinazione mediante scintillazione liquida dell'attività di un radionuclide beta emettitore in un campione di urina senza pretrattamento
Determinazione mediante scintillazione liquida dell'attività di un radionuclide beta emettitore in un campione di urina con pretrattamento
Determinazione mediante scintillazione liquida dell'attività alfa totale o beta totale in un campione di muco nasale
Determinazione mediante scintillazione liquida dell'attività alfa totale e beta totale in un campione di muco nasale
Determinazione dell'attività beta totale in un campione di urina
Determinazione dell'attività di ^{90}Sr in un campione di urina
Determinazione dell'attività di Radio (totale) in un campione di urina
Determinazione mediante metodo fluorimetrico della massa di Uranio totale in un campione di urina
Determinazione mediante spettrometria di massa ICP-MS del contenuto di (^{238}U e ^{235}U) o Torio (^{232}Th) in un campione di liquidi biologici
Determinazione mediante spettrometria di massa ICP-MS del contenuto di Uranio (^{238}U e ^{235}U) o Torio (^{232}Th) in un campione di feci
Determinazione mediante spettrometria di massa ICP-MS del contenuto di isotopi del Plutonio in un campione di liquidi biologici
Determinazione mediante spettrometria di massa ICP-MS del contenuto di isotopi del Plutonio in un campione di feci
Determinazione mediante spettrometria di massa ICP-MS del contenuto di elementi con peso atomico non inferiore a 150 in un campione biologico
Determinazione mediante spettrometria di massa ICP-MS del contenuto di elementi con peso atomico inferiore a 150 in un campione biologico

Misure per rivelazione di esposizione esterna

Noleggio e lettura dosimetro individuale per corpo intero per radiazioni x e gamma
Noleggio e lettura dosimetro individuale CR-39 per corpo intero per neutroni veloci
Noleggio e lettura dosimetro individuale per corpo intero per neutroni termici e gamma
Noleggio e lettura dosimetro individuale per estremità per radiazione x, gamma e beta di alta energia
Noleggio e lettura dosimetro individuale per estremità per radiazione x, gamma e beta con rivelatore sottile
Noleggio e lettura dosimetro individuale per estremità per radiazione x, gamma e beta di alta energia, sterilizzabile
Noleggio e lettura dosimetro individuale per estremità per radiazione x, gamma e beta con rivelatore sottile, sterilizzabile
Noleggio e lettura dosimetro individuale per incidente di criticità
Noleggio e lettura dosimetro ambientale per incidente di criticità

Irraggiamenti per taratura strumentazione o caratterizzazione dosimetri

Taratura di complessi di misura con ratei di dose medi e alti dovuti a radiazioni X o gamma
Taratura di complessi di misura per radioprotezione ambientale od individuale

- con radiazione X o gamma
- con radiazione beta
- con sorgenti di neutroni

Irraggiamenti in aria a valori di dose prefissati

- con radiazione X o gamma
- con radiazione beta
- con sorgenti di neutroni

Irraggiamenti su fantoccio a valori di dose prefissati

- con radiazione X o gamma
- con radiazione beta
- con sorgenti di neutroni

Irraggiamenti a tempo con operatore

- con radiazione X o gamma
- con radiazione beta
- con sorgenti di neutroni

Misure radiometriche su campioni ambientali o assimilabili e su campioni vari

Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore in matrice abiotica ambientale o campione assimilabile

Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore in matrice biotica ambientale o campione assimilabile

Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore in un campione metallico assimilabile a rifiuto radioattivo

Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore in un campione non metallico assimilabile a rifiuto radioattivo

Determinazione mediante spettrometria alfa dell'attività di un radionuclide alfa emettitore su campione ottenuto da smear test o da raccolta su filtro ed assimilabile a rifiuto radioattivo

Determinazione dell'attività alfa totale o beta totale in matrice abiotica ambientale o campione assimilabile

Determinazione dell'attività alfa totale o beta totale in matrice biotica ambientale o campione assimilabile

Determinazione dell'attività alfa totale o beta totale in campione di acqua, fall-out, o campione assimilabile

Determinazione dell'attività alfa totale o beta totale in campione metallico assimilabile a rifiuto radioattivo

Determinazione dell'attività alfa totale o beta totale in campione non metallico assimilabile a rifiuto radioattivo

Determinazione dell'attività alfa o beta totale in campione ottenuto da smear test o da raccolta su filtro ed assimilabile a rifiuto radioattivo

Determinazione dell'attività alfa totale e beta totale in matrice abiotica ambientale o campione assimilabile

Determinazione dell'attività alfa totale e beta totale in matrice biotica ambientale o campione assimilabile

Determinazione dell'attività alfa totale e beta totale in campione di acqua, fall-out, o campione assimilabile

Determinazione dell'attività alfa totale e beta totale in campione metallico assimilabile a rifiuto radioattivo

Determinazione dell'attività alfa totale e beta totale in campione non metallico assimilabile a rifiuto radioattivo

Determinazione dell'attività alfa totale e beta totale in campione ottenuto da smear test o da raccolta su filtro ed assimilabile a rifiuto radioattivo

Spettrometria gamma tal quale su matrice ambientale o campione assimilabile

Spettrometria gamma tal quale su campione assimilabile a rifiuto radioattivo

Spettrometria gamma tal quale su campione assimilabile a rifiuto radioattivo

Spettrometria gamma con trattamento chimico-fisico, su campione assimilabile a rifiuto radioattivo

Spettrometria gamma per elementi in traccia

Determinazione mediante scintillazione liquida dell'attività di un radionuclide beta emettitore in un campione liquido senza pretrattamento

Determinazione mediante scintillazione liquida dell'attività di un radionuclide beta emettitore in un campione liquido con pretrattamento chimico-fisico

Determinazione dell'attività di ^{90}Sr in matrice abiotica ambientale o campione assimilabile

Determinazione dell'attività di ^{90}Sr in matrice biotica ambientale o campione assimilabile

Determinazione dell'attività di ^{90}Sr in un campione metallico assimilabile a rifiuto radioattivo

Determinazione dell'attività di ^{90}Sr in un campione non metallico assimilabile a rifiuto radioattivo

Determinazione mediante spettrometria di massa ICP-MS del contenuto di Uranio (^{238}U e ^{235}U) o Torio (^{232}Th) in un campione ambientale liquido

Determinazione mediante spettrometria di massa ICP-MS del contenuto di (^{238}U e ^{235}U) o Torio (^{232}Th) in un campione ambientale solido

Determinazione mediante spettrometria di massa ICP-MS del contenuto di (^{238}U e ^{235}U) o Torio (^{232}Th) in un campione ottenuto da smear test o da raccolta su filtro

Determinazione mediante spettrometria di massa ICP-MS del contenuto di isotopi del Plutonio in un campione ambientale liquido

Determinazione mediante spettrometria di massa ICP-MS del contenuto di isotopi del Plutonio in un campione ambientale solido

Determinazione mediante spettrometria di massa ICP-MS del contenuto di isotopi del Plutonio in un campione ottenuto da smear test o da raccolta su filtro

Determinazione mediante spettrometria di massa ICP-MS del contenuto di elementi con peso atomico non inferiore a 150 in un campione ambientale

Determinazione mediante spettrometria di massa ICP-MS del contenuto di elementi con peso atomico non inferiore a 150 in un campione assimilabile a rifiuto radioattivo

Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di elementi con peso atomico inferiore a 150 in un campione ambientale

Determinazione mediante spettrometria di massa con ICP-MS del contenuto di elementi con peso atomico inferiore a 150 in un campione assimilabile a rifiuto radioattivo

Determinazione mediante scintillazione liquida senza pretrattamento del contenuto di Radon (Rn-222) in un campione di acqua

SERVIZIO DI DOSIMETRIA ESTERNA

B. Morelli, M.C. Botta, G. Baldassarre, G. Falangi e G. Uleri

1. Caratteristiche del servizio


L'attività del Servizio di Dosimetria Esterna dell'Istituto di Radioprotezione del C.R. ENEA di Bologna consiste nel noleggio e la lettura di dosimetri personali ed ambientali per il monitoraggio della radiazione esterna per tutti i tipi di radiazione. Nato come "Laboratorio di Applicazioni di Dosimetria" negli anni '60, il Servizio si è sviluppato sia qualitativamente con l'evolversi delle tecniche disponibili in campo dosimetrico, sia dal punto di vista gestionale proponendosi anche ad un'utenza esterna su tutto il territorio nazionale. Attualmente fornisce l'utenza interna ENEA e un'utenza esterna di circa 200 clienti di diverse tipologie costituita dal 25% di aziende ospedaliere, dal un 25% di istituti di ricerca, dal 5% da decommissioning di impianti nucleari, dal 25% di industrie, e dal 20% da studi e laboratori privati, operando sulla base economica del tariffario approvato con Determinazione n. 63/2007/DG del 19.03.2007.

Il Servizio Dosimetrico dispone di 5 di dosimetri personali ed ambientali idonei alla misura dell'Equivalente di Dose Personale $H_p(d)$ ed Equivalente di Dose Ambiente $H^*(d)$ come richiesto dal D. Lgs. 241/2000. Inoltre dispone di altri 2 tipi di dosimetri per dosimetria di criticità, ambientale e personale questi ultimi forniti con periodicità annuale all'impianto EUREX (Enriched URanium EXtraction) situato presso il C.R. ENEA di Saluggia e all'impianto ex ENEA FN-Fabbricazioni Nucleari di Bosco Marengo.

Il Servizio processa in un anno circa 70.000 dosimetri anno di cui 6000 per corpo intero per fotoni, 1300 per corpo intero per neutroni termici e gamma, 1300 per corpo intero per neutroni veloci e 2000 per estremità forniti per periodo di monitoraggio di 45 e/o 90 giorni.

2. Caratteristiche tecniche

Le caratteristiche tecniche dei 3 tipi di dosimetri per corpo intero per radiazione fotonica e neutronica per componente termica e veloce, e dei 2 tipi di dosimetri per estremità per radiazione fotonica e beta sono illustrate nelle seguenti tabelle.


Tipo di Dispositivo	Dosimetro per fotoni	
Applicazioni Specifiche d'uso Sistema di rivelazione Grandezza di riferimento Normativa di riferimento Minima dose rivelabile Range di misura Dipendenza energetica Dipendenza angolare	Dosimetria personale ed ambientale Dosimetro con filtrazione simmetrica da utilizzare con codifica TLD - LiF(Mg, Cu, P) $H_p(10)$, $H^*(10)$ IEC 61066: 2008; 0,05 mSv Fotoni da 13 keV a 1.25 MeV $\pm 16\%$ per $H_p(10)$ e $\pm 4\%$ per $H_p(0,07)$ $\pm 10\%$ per $H_p(10)$ e $\pm 5\%$ per $H_p(0,07)$	

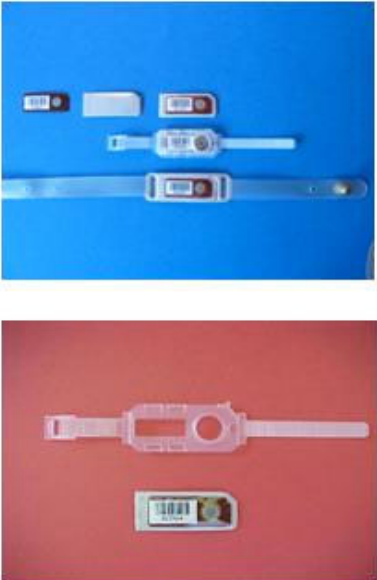
Tipo di Dispositivo	Dosimetro per neutroni termici e γ	
Applicazioni	Dosimetria personale ed ambientale	
Specifiche d'uso	Dosimetro non simmetrico, da indossare con la faccia contrassegnata dalla codifica in vista.	
Sistema di rivelazione	TLD LiF(Mg, Cu, P) 7 LiF(Mg, Cu, P)	
Grandezza di riferimento	Hp(10), H*(10)	
Normativa di riferimento	IEC 61066: 2008; EC RP160 (2009)	
Minima dose rivelabile	Dg - 0,05 mSv, Dn - 0,02 mSv	
Range di misura	Neutroni termici di energia fino a 0.4 eV (taglio del Cd) Fotoni da 1.25 MeV a ~ MeV	



Tipo di Dispositivo	Dosimetro per neutroni veloci	
Applicazioni	Dosimetria personale ed ambientale	
Specifiche d'uso	Dosimetro da indossare con la faccia contrassegnata dalla codifica in vista.	
Sistema di rivelazione	CR-39 PADC (Poly Allyl Diglicol Carbonate)	
Grandezza di riferimento	Hp(10), H*(10)	
Normativa	ISO 8529-3: 1998; ISO 12789:1997	
Minima dose rivelabile	0,1 mSv	
Range di misura	da 200 keV a 14 MeV	
Dipendenza energetica	\pm 50%	

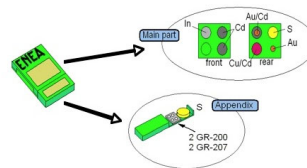


Tipo di Dispositivo	Dosimetro per estremità – GR200	
<p>Applicazioni</p> <p>Sistema di rivelazione</p> <p>Grandezza di riferimento</p> <p>Normativa di riferimento</p> <p>Minima dose rivelabile</p> <p>Range di misura</p> <p>Dipendenza energetica</p> <p>Dipendenza angolare</p>	<p>Dosimetria personale per estremità</p> <p>TLD LiF(Mg, Cu, P) – GR 200</p> <p>Hp(0,07)</p> <p>UNI 10489: 1998 - ISO 12794: 2000</p> <p>IEC 61066: 2008; EC RP 160 (2009)</p> <p>0,05 mSv</p> <p>photons from 13 keV to 202 MeV β ⁹⁰Sr (E=800 keV, E_{max}=2.27 MeV)</p> <p>± 23%</p> <p>± 14%</p>	

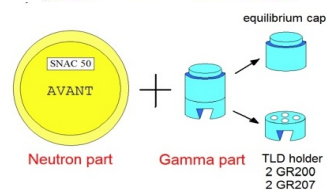
Tipo di Dispositivo	Dosimetro per estremità MCP-Ns	
<p>Applicazioni</p> <p>Sistema di rivelazione</p> <p>Grandezza di riferimento</p> <p>Normativa di riferimento</p> <p>Minima dose rivelabile</p> <p>Range di misura</p> <p>Dipendenza energetica</p> <p>Dipendenza angolare</p>	<p>Dosimetria personale per estremità</p> <p>TLD LiF(Mg, Cu, P) – MCP-Ns</p> <p>Hp(0,07)</p> <p>UNI 10489 (1998) - ISO 12794: 2000</p> <p>ISO 6980:1986; IEC 61066: 2008</p> <p>EC RP 160 (2009)</p> <p>0,05 mSv</p> <p>photons from 13 keV to 202 MeV β ²⁰⁴Tl (E_{media} ≥ 240 keV)</p> <p>± 35%</p> <p>± 9%</p>	

Le caratteristiche tecniche dei 2 tipi di dosimetri di criticità, ambientale e personale per la dosimetria da incidente di criticità sono presentate nelle seguenti tabelle.

Tipo di Dispositivo	Dosimetro Personale di Criticità
Applicazioni	Dosimetria personale di criticità
Specifiche d'uso	Valutazione della dose neutronica e fotonica degli operatori esposti in caso di incidente di criticità
Sistema di rivelazione	<p>Componente neutronica: rivelatori ad attivazione</p> <p>S (disco d=17 mm, dx=4,5 mm) Au (disco d=10mm, dx=0,06 mm) Cd (disco d=16,5 mm, dx=0,5 mm) Cu (disco d=16,5 mm, dx=0,1 mm) In (disco d=16,5 mm, dx=0,25 mm)</p> <p>Componente fotonica: 2 rivelatori TL di LiF(Mg,Cu,P) e ⁷LiF(Mg, Cu,P)</p>
Grandezze misurate	<p>Componente neutronica: Kerma, Fluenza, Dose dovuta alle Particelle Cariche Pesanti e Dose H(n,γ) in aria e su fantoccio.</p> <p>Componente fotonica: H*(10)</p>
Normativa	IAEA Technical Report Series n.211 (1982)



Tipo di Dispositivo	Dosimetro Ambientale di Criticità
Applicazioni	Dosimetria ambientale di criticità
Specifiche d'uso	Valutazione della dose neutronica e fotonica degli ambienti in caso di incidente di criticità
Sistema di rivelazione	<p>Componente neutronica: rivelatori ad attivazione</p> <p>S (disco d=50 mm, dx=3 mm) Au (6+1)mg su mylar d=50 mm dx=0,06 mm Cd (disco d=50 mm, dx=0,02 mm) Cu (disco d=50 mm, dx=0,02 mm) Mg (disco d=16,5 mm, dx=1,5 mm)</p> <p>Componente fotonica: rivelatori a TL LiF(Mg,Cu,P) e ⁷LiF(Mg, Cu,P)</p>
Grandezza misurate	<p>Fluenza spettrale nel range di energie da 0,1 eV a 12.5 MeV.</p> <p>Grandezze dosimetriche: kerma neutronico in tessuto, Dose dovuta alle Particelle Cariche Pesanti (HCP) Dose H(n,γ) dovuta ai fotoni secondari indotti dai neutroni calcolate nell'elemento 57 del fantoccio Snyder.</p>
Normativa	IAEA Technical Report Series n.211 (1982) CEA Report R-4226 (1971)



3. Qualità del servizio offerti

L'obiettivo di un Servizio di Dosimetria Esterna è quello di fornire agli utenti dosimetri personali ed ambientali idonei a misurare le dosi di radiazione ricevute dai lavoratori esposti e negli ambienti controllati con adeguata accuratezza, precisione e affidabilità. L'accuratezza e l'affidabilità della propria attività, che parte dalla fornitura del dosimetro al cliente e termina con la comunicazione della risposta dosimetrica, è garantita dal programma di Assicurazione della Qualità (QA) operativo nel Servizio mediante controlli e test su parametri critici individuati nelle varie fasi dei processi. Inoltre la costante attività di studio e ricerca supportata dalla possibilità di utilizzo delle facility di calibrazione di cui è dotato il Centro di Taratura delle Radiazioni Ionizzanti dell'istituto, rende il Servizio Dosimetrico dell'ENEA IRP competitivo per affidabilità e prestazioni con i numerosi servizi di dosimetria presenti sul territorio nazionale.

La prestazione complessiva del sistema dosimetrico è periodicamente verificata anche attraverso la partecipazione del Servizio ad interconfronti internazionali. In particolare negli ultimi 10 anni ha partecipato, ottenendo buoni risultati a numerosi interconfronti, promossi da DOE - US Department of Energy's, IAEA (International Atomic Energy Agency) ed EURADOS (European Radiation Dosimetro Group). In particolare quest'ultima organizzazione, che costituisce un riferimento di altissima qualità nel campo delle metodiche di misura in dosimetria delle radiazioni ionizzanti, ha promosso organizzato e gestito nell'anno 2008 e nell'anno 2009 rispettivamente "l'EURADOS Intercomparison 2008 for Whole Body Dosemeters" ed "l'EURADOS Intercomparison 2009 for extremity dosemeters" a cui il Servizio Dosimetrico ha partecipato riconfermando l'accuratezza della risposta dei dosimetri ENEA per corpo intero per fotoni e per estremità in termini di Hp(10) e di Hp(0.07).

SERVIZIO DI VALUTAZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DI RADON

Silvia Penzo, Massimo Calamosca ed Elisabetta Consoli

1. Caratteristiche del servizio

Nel 2009 continua l'attività del Servizio Radon, rivolta soprattutto verso l'utenza esterna relativamente alle misure ai sensi di legge (vedi tabella 2). Il 2009 vede anche concludersi la commessa al Ministero delle Finanze che nel 2009 è stata prevalentemente incentrata sulla valutazione del rischio dovuto al thoron (vedi tabella 3); sono stati infatti eseguiti diversi campionamenti con strumentazione attiva per la misura della concentrazione dei prodotti di decadimento di radon e thoron, oltre che campionamenti passivi annuali per la valutazione del rateo di esalazione di thoron dalle pareti dell'edificio, parametro necessario per il calcolo della concentrazione dei prodotti di decadimento del thoron mediante l'applicazione di un modello.

Tabella 1: Dimensionamento dell'attività del Servizio Radon – utenza interna

Periodo	N° CR ENEA	N° dosimetri	N° rivelatori
2009	2	16	52

Tabella 2: Dimensionamento dell'attività del Servizio Radon – utenza esterna

Periodo	N° ordini	N° dosimetri	N° rivelatori
2009	34	444	1047

Tabella 3: Dimensionamento dell'attività del Servizio Radon – commesse

Periodo	N° commesse	N° dosimetri	N° rivelatori	N° misure strumentazione attiva
2009	1	25 x radon 25 x thoron	150	14

Alla fine del 2009 è stata effettuata una nuova calibrazione del sistema di lettura e analisi dei rivelatori in seguito alla sostituzione della telecamera, uno dei componenti fondamentali del sistema. In seguito all'installazione della nuova telecamera è stato necessario apportare modifiche hardware e software al sistema e quindi rivalutare la relazione che lega la sensibilità e il $D_{95\%}$. Nell'occasione sono stati introdotti anche alcuni miglioramenti sia nella lettura dei rivelatori che nella valutazione dell'esposizione. La descrizione dettagliata di tutte le misure, le modifiche e i controlli effettuati, insieme alla valutazione della nuova sensibilità del sistema, sono riportati nel verbale, prot. ENEA/2009/63684/ION-IRP, secondo quanto richiesto dalle procedure generali di garanzia di qualità adottate dal Servizio.

2. Caratteristiche tecniche

Tipo di Dispositivo	Dispositivo passivo a tracce di tipo chiuso per la misurazione della concentrazione di radon in aria
Applicazioni	Misura ambientale del radon in aria
Specifiche d'uso	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilità solo alle radiazioni α • Possibilità di analisi automatica • Possibilità di conservazione e ri-analisi nel tempo • Robustezza
Sistema di rivelazione	Rivelatore a tracce "Poli Allil Diglicol Carbonato (PADC o CR-39)
Grandezza di riferimento	Esposizione al radon
Normativa di riferimento	<ul style="list-style-type: none"> • Capo III-bis D.Lgs. 241/00 • Coordinamento delle Regioni e delle Province Autonome di Trento e Bolzano (6/02/2003)
Sensibilità Minima esposizione rivelabile a priori	4,62 ± 0,24 (tracce/cm ²)/(kBq h m ⁻³) per uno spessore rimosso di 10,5 µm
Minima esposizione rivelabile a posteriori	17 ± 2 kBq h m ⁻³
Minima concentrazione rilevabile	8 ± 1 kBq h m ⁻³
Range di misura / linearità	8 ÷ 22000 kBq h m ⁻³ -



3. Qualità dei servizi offerti

Anche nel 2009, come negli anni passati, il Servizio Radon ha partecipato all'interconfronto internazionale sui dispositivi passivi presso l'HPA (UK), ottenendo come risultato la classificazione in classe A.

CENTRO DI TARATURA PER LE RADIAZIONI IONIZZANTI

Francesca Mariotti e Paolo Ferrari

1. Caratteristiche del servizio

Il Centro di Taratura è uno dei laboratori storici della sede di Bologna che istituzionalmente opera nel settore delle radiazioni ionizzanti. Il Centro consente la taratura di strumentazione di radioprotezione (rivelatori attivi: camere a ionizzazione, contatori proporzionali, contatori Geiger-Müller, scintillatori e rivelatori a semiconduttore e rem-counters) ed irraggiamento di dosimetri personali (termoluminescenza, dosimetria a tracce ed a bolle).

- Potenziali utenti (campo fotonico): lavoratori che operano nel campo dei controlli ambientali, della radioprotezione, della radiodiagnostica e della radioterapia medica e nella produzione di apparecchiature che, in modo diretto od indiretto producono radiazioni ionizzanti in campo industriale e nella ricerca.

- Potenziali utenti (campo neutronico e beta): Enti di ricerca, Servizi di Fisica Sanitaria degli ospedali dove sono impiegati acceleratori e nel campo industriale ditte che effettuano studi geologici (pozzi petroliferi) attraverso misure di riflessione di flussi neutronici o nei casi di controllo sullo stoccaggio del combustibile nucleare ancora presente in Italia.

Il servizio è effettuato su richiesta sia per utenti esterni che interni.

2. Caratteristiche tecniche

Il Centro di Taratura dispone di laboratori delimitati in un'unica area e sviluppati su sei sale di irraggiamento e cinque sale di controllo per una superficie totale di circa 300 m². È in grado di operare con riferibilità metrologica a campioni primari per radiazioni ionizzanti quali fotoni, beta e neutroni, rispettivamente per le seguenti grandezze:

fotoni (fasci filtrati X e sorgenti gamma ⁵⁵Fe, ¹⁰⁹Cd, ²⁴¹Am, ⁵⁷Co, ¹³³Ba, ¹³⁷Cs e ⁶⁰Co):

- KERMA in aria
- Esposizione
- Equivalente di dose ambientale, H*(10)
- Equivalente di dose direzionale, H'()
- Equivalente di dose personale, H_p(d)
- Rateo (di tutte le grandezze sopra indicate).


radiazioni β (⁹⁰Sr/⁹⁰Y, ¹⁴⁷Pm e ²⁰⁴Tl):

- Dose superficiale in aria
- Dose superficiale in tessuto
- Equivalente di dose personale H_p(d)
- Rateo (di tutte le grandezze sopra indicate).


neutroni (termici e veloci, fino a 4,4 MeV, con standard ISO (Cf, Cf(D₂O) e Am-Be)):

- Equivalente di dose ambientale, H*(10)
- Equivalente di dose personale, H_p(d)
- Fluenza, Φ
- Rateo (di tutte le grandezze sopra indicate).


RADIAZIONI X FILTRATE


Tipo di Misura	Taratura di complessi di misura per radioprotezione ambientale ed individuale con raggi X filtrati ed irraggiamento dosimetri personali												
Sistema di irraggiamento	<p>Tubo a Raggi X da 320 kV</p> 												
Qualità del fascio / Energia media (keV)	<p>P2(17), P3(17,3), P4(29), P5(34), P6(44), P7(68), P8(93), P9(139). High air-kerma rate series: H20(13), H30(20), H60(37), H100(57), H200(102), H250(122), H300(147). Wide-spectrum series: W60(45), W80(58), W110(79), W150(104), W200(134), W250(169), W300(202). Narrow-spectrum series: N15(12), N20(16), N25(20), N30(24), N40(33), N60(48), N80(65), N100(83), N120(100), N150(118), N200(161), N250(205), N300(248).</p>												
Intensità / dose erogabile	<p>L'intensità dei fasci riferita a 10 mA e 1 m dal fuoco è indicativamente</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">qualità P e H</td> <td style="padding-right: 10px;">da 9</td> <td style="padding-right: 10px;">a 90</td> <td style="padding-right: 10px;">mGy/min</td> </tr> <tr> <td>qualità W</td> <td>da 2,6</td> <td>a 26</td> <td>mGy/min</td> </tr> <tr> <td>qualità N</td> <td>da 0,26</td> <td>a 2,6</td> <td>mGy/min</td> </tr> </table>	qualità P e H	da 9	a 90	mGy/min	qualità W	da 2,6	a 26	mGy/min	qualità N	da 0,26	a 2,6	mGy/min
qualità P e H	da 9	a 90	mGy/min										
qualità W	da 2,6	a 26	mGy/min										
qualità N	da 0,26	a 2,6	mGy/min										
Filtrazione inerente	2,2 mm di Be												
Normativa di riferimento	<p>Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), (1976). ISO 4037-1 (1996) ISO 4037-2 (1997) ISO 4037-3 (1996) ISO 4037-4 (2004)</p>												

RADIAZIONI X FILTRATE


Tipo di Misura	Taratura di complessi di misura per radioprotezione ambientale ed individuale con raggi X filtrati di bassa energia
Sistema di irraggiamento	<p>Tubo a Raggi X da 160 kV</p> 
Qualità del fascio / Energia media (keV)	<p>Low air-kerma rate series: L10(8,5), L20(17), L30(26). Narrow-spectrum series: N10(8), N15(12), N20(16), N25(20), N30(24). High air-kerma rate series: H10(7,5), H20(12,9), H30(19,7).</p>
Filtrazione inerente	1 mm di Be
Normativa di riferimento	ISO 4037-1 (1996) ISO 4037-4 (2004)


SORGENTI GAMMA

Tipo di Misura	Taratura di strumentazione di radioprotezione e di diagnostica medica, irraggiamento di dosimetri personali con fotoni	
Sistema di irraggiamento	Sorgente di ^{60}Co (1250 keV)	
Attività (TBq) (al 09-04-2010)	1,21	
Normativa di riferimento	ISO 4037-1 (1996) ISO 4037-2 (1997) ISO 4037-3 (1996)	


Tipo di Misura	Taratura di strumentazione di radioprotezione e di diagnostica medica, irraggiamento di dosimetri personali con fotoni	
Sistema di irraggiamento	Sorgente di ^{60}Co (1250 keV)	
Attività (TBq) (al 09-04-2010)	16,125	
Normativa di riferimento	ISO 4037-1 (1996) ISO 4037-2 (1997) ISO 4037-3 (1996)	

SORGENTI GAMMA


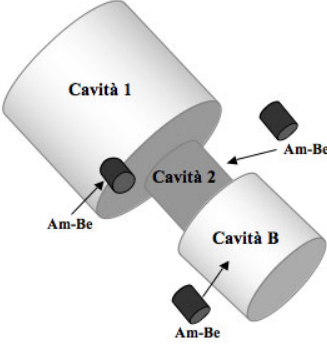
Tipo di Misura	Taratura di strumentazione di radioprotezione e di diagnostica medica, irraggiamento di dosimetri personali con fotoni	
Sistema di irraggiamento	Sorgente di ^{137}Cs (662 keV)	
Attività (TBq) (al 09-04-2010)	0,68	
Normativa di riferimento	ISO 4037-1 (1996) ISO 4037-2 (1997) ISO 4037-3 (1996)	

Tipo di Misura	Taratura di strumentazione portatile di radioprotezione	
Sistema di irraggiamento	Sorgenti: ^{55}Fe ($E_{\text{media}}=6$ keV) ^{109}Cd ($E_{\text{media}}=25$ keV) ^{241}Am ($E_{\text{media}}=60$ keV) ^{133}Ba ($E_{\text{media}}=125$ keV) ^{137}Cs ($E_{\text{media}}=660$ keV) ^{60}Co ($E_{\text{media}}=1250$ keV)	
Attività (al 01-01-2010)	^{55}Fe 0,48 GBq ^{109}Cd 0,003 GBq ^{241}Am 7,0 GBq e ^{241}Am 11 GBq ^{133}Ba 0,09 GBq ^{137}Cs 0,55 GBq e ^{137}Cs 21 GBq ^{60}Co 0,004 GBq e ^{60}Co 0,25 GBq	
Normativa di riferimento	ISO 4037-1 (1996) ISO 4037-2 (1997) ISO 4037-3 (1996)	


SORGENTI BETA

Tipo di Misura	Irraggiatore per sorgenti beta	
Sistema di irraggiamento	Irraggiatore	
Caratteristiche e peculiarità	Sistema che permette di effettuare irraggiamenti angolari fra 0° e 90° (da orizzontale a verticale) con continuità mantenendo orizzontale il supporto porta-dosimetro	
Sorgenti / Energia massima (MeV)	<ul style="list-style-type: none"> • Stronzio ($^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$) \Rightarrow 2,274 MeV • Tallio (^{204}Tl) \Rightarrow 0,763 MeV • Promezio (^{147}Pm) \Rightarrow 0,225 MeV 	
Valori di esposizione in $H_p(0.07,0^\circ)$ in $\mu\text{Sv/h}$ (al 08-04-2010)	<ul style="list-style-type: none"> • ($^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$) da 2 mCi \Rightarrow 3627 $\mu\text{Sv/h}$ • ($^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$) da 50 mCi a 30 cm \Rightarrow 143282 $\mu\text{Sv/h}$ • ($^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$) da 50 mCi a 50 cm \Rightarrow 50784 $\mu\text{Sv/h}$ • ^{204}Tl \Rightarrow 33 $\mu\text{Sv/h}$ • ^{147}Pm \Rightarrow 2,5 $\mu\text{Sv/h}$ 	
Normativa di riferimento	ISO 6980-1 (2006) ISO 6980-2 (2004) ISO 6980-3 (2006)	

SORGENTI NEUTRONICHE

Tipo di Misura	Irraggiatore-moderatore per neutroni termici																												
Sistema di irraggiamento	<p>Cubo di polietilene con 3 sorgenti di Am-Be - flusso termico di $2,3 \cdot 10^4$ n/s</p> 																												
Attività (Bq) (al 12/04/2010)	<p>Cavità 1 $\Rightarrow 1,66 \cdot 10^{11}$ Cavità 2 $\Rightarrow 1,72 \cdot 10^{11}$ Cavità B $\Rightarrow 1,63 \cdot 10^{11}$</p>																												
Disposizione delle cavità e delle sorgenti di Am-Be all'interno dell'irraggiatore																													
Caratteristiche delle cavità per irraggiamento ai neutroni	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #cccccc;">Cavità</th> <th style="background-color: #cccccc;">Diametro (mm)</th> <th style="background-color: #cccccc;">Lunghezza (mm)</th> <th style="background-color: #cccccc;">Neutroni veloci H* (mSv/h)</th> <th style="background-color: #cccccc;">Neutroni termici MADE (mSv/h)</th> <th style="background-color: #cccccc;">Gamma K₁ (mGy/h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>170</td> <td>200</td> <td>7,5</td> <td>0,55</td> <td>0,21</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>83</td> <td>110</td> <td>14,7</td> <td>0,79</td> <td>0,38</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>120</td> <td>150</td> <td>7,1</td> <td>0,54</td> <td>0,26</td> </tr> </tbody> </table>					Cavità	Diametro (mm)	Lunghezza (mm)	Neutroni veloci H* (mSv/h)	Neutroni termici MADE (mSv/h)	Gamma K ₁ (mGy/h)	1	170	200	7,5	0,55	0,21	2	83	110	14,7	0,79	0,38	B	120	150	7,1	0,54	0,26
Cavità	Diametro (mm)	Lunghezza (mm)	Neutroni veloci H* (mSv/h)	Neutroni termici MADE (mSv/h)	Gamma K ₁ (mGy/h)																								
1	170	200	7,5	0,55	0,21																								
2	83	110	14,7	0,79	0,38																								
B	120	150	7,1	0,54	0,26																								
Normativa di riferimento	<p>ISO 8529-1 (2001) ISO 8529-2 (2000) ISO 8529-3 (1998)</p>																												

SORGENTI NEUTRONICHE

Tipo di Misura	Irraggiatore per neutroni veloci	
Sistema di irraggiamento	<p><u>Sorgenti:</u> ^{252}Cf $^{252}\text{Cf}/\text{D}_2\text{O}$ Am-Be</p>	
Attività (Bq) (al 12/04/2010)	$^{252}\text{Cf} \Rightarrow 2,35 \cdot 10^8$ Am-Be $\Rightarrow 1,55 \cdot 10^{11}$ Pu-Li $\Rightarrow 8,99 \cdot 10^{11}$	
Normativa di riferimento	ISO 8529-1 (2001) ISO 8529-2 (2000) ISO 8529-3 (1998) ISO10647 (1996)	

Elenco del personale suddiviso per centri

Personale di IRP al 31 dicembre 2009

Bologna - Montecuccolino

BALDASSARRE GIOVANNI
BATTISTI PAOLO
BOTTA MARIA CHIARA
CALAMOSCA MASSIMO
CASTELLANI CARLO MARIA
CONSOLI ELISABETTA
FALANGI GIORGIO
FANTUZZI ELENA
FERRARI PAOLO
GUALDRINI GIANFRANCO
LUCIANI ANDREA
MARIOTTI FRANCESCA
MONTEVENTI FABIO
MORELLI BRUNA
PENZO SILVIA
SABBI LUCIA
ULERI GIANCARLO

Frascati (RM)

MORGIA ANTONELLA
NOBILI CARLO
OTTAVIANO GIUSEPPE
PELLICIONI ELISABETTA
POGGI CLAUDIO
POLENTA STEFANO
SANDRI SANDRO
ZEGA ANNA

Trisaia (MT)

MONTEMURRO ANTONIO E.
PENTIVOLPE ROSETTA
SILVESTRI NICOLA
ZICARI SALVATORE

Casaccia (RM)

ANDREOCCI LEILA
ANTONACCI GIUSEPPE
BAIANO ANGELO
BAIANO DANIELE
BAZZARRI SANDRO
BORRA ENRICO MARIA
CICOLI GIULIANO
DI MARCO IVANA
DI MARCO NADIA
D'INNOCENZO FABRIZIO
EZECHIA GIUSEPPINA
FLORITA LORENZO
GIARDINA ISABELLA
GIOVANETTI ANNA
IURLARO GIORGIA
MANCINI LILIANA
MANCINI TIZIANA
MORELLI GIULIO
NAPOLEONE ROBERTO
RAULE MARCO
SOLDANO ELVIO
SPERANDIO LUCIANO

Saluggia (VC)

ARGINELLI DOLORES
BASTA MARIO
BERTON GIANFRANCO
BORTOLUZZI SANDRO
CANUTO GIUSEPPE
MONTALTO MARIO
NOCENTE MAURO
RIDONE SANDRO
VEGRO MAURIZIO

