



FONDATA
NEL 1977

Aggiornamenti di radioprotezione

Organo ufficiale dell'Associazione Italiana di Radioprotezione Medica

VERSIONE RIDOTTA

DIVENTA SOCIO PER AVERE LA TUA COPIA COMPLETA

ASPETTI SCIENTIFICI E PROFESSIONALI

| La valutazione e la gestione clinica della contaminazione radioattiva interna

G. De Luca |

| La vigilanza in materia di radioprotezione, il ruolo delle asl e le indagini di malattia professionali (MP)

A. Spigo |

| Valutazione, gestione del rischio e sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti a livelli significativi di radiazioni ottiche artificiali

V. Camisa |
M. Borra |

| Problematiche di ritorno al lavoro a seguito di patologia oncologica del lavoratore classificato esposto al rischio da radiazioni ionizzanti

V. Lodi |
M. Amici |

NOTIZIE DALL'ASSOCIAZIONE

| Verbale della riunione del CD-2021, tenutasi in data 19 maggio 2024 alle ore 15.00 presso Hotel Mercure Astoria, via Leopoldo Nobili 2, Reggio Emilia

| Verbale della Assemblea dei soci (seduta ordinaria) convocata in prima convocazione il 20 maggio 2024 alle ore 7.00 ed in seconda convocazione il 20 maggio alle ore 18.00 a Reggio Emilia presso la sede del Convegno Nazionale AIRM

| Bilancio consuntivo 2023 e bilancio preventivo 2024

| Candidature alle cariche sociali

CONGRESSI, CONVEGNI E CORSI

| XXIX Congresso Nazionale AIRM - Lecce - 29-31 Maggio 2025



Personalizzare la radioprotezione



FONDATA
NEL 1977

Aggiornamenti di radioprotezione

66
DICEMBRE 2024

Associazione Italiana di Radioprotezione Medica, Via Isidoro del Lungo 7, 00137 Roma (RM) - www.airm.name

PERIODICO SEMESTRALE DESTINATO AI SOCI DELLA ASSOCIAZIONE ITALIANA
DI RADIOPROTEZIONE MEDICA FONDATA DA ERNESTO STRAMBI
ANNO XXXII, N.3 (DICEMBRE 2024)

Direttore:

Roberto Moccaldi

Responsabile:

Franco Claudiani

Redazione:

Alessandro Arru	Salvatore Bellia	Giulia Castellani	Franco Claudiani
Giuseppe De Luca	Fabrizio Gobba	Vittorio Lodi	Roberto Moccaldi
Alberto Modenese	Andrea Stanga	Antonella Spigo	Giuseppe Taino

Realizzazione elettronica: Alessandro Turcato - a.turcato@dmxlab.it

Il periodico è disponibile sul sito www.airm.name per i Soci AIRM in regola con le quote sociali. I contenuti degli articoli sono di esclusiva responsabilità degli autori e non implicano necessariamente la posizione ufficiale dell'Associazione. Non è consentita la riproduzione, anche parziale, senza il consenso scritto dell'Associazione. Per esigenze editoriali la redazione può apportare modifiche ai testi, informandone gli autori. Manoscritti ed altro materiale, anche se non pubblicati, non si restituiscono.

I manoscritti devono essere inviati a franco.claudiani@gmail.com.

I manoscritti devono indicare i nomi degli autori, la loro affiliazione, un recapito mail, essere in formato word; non ci sono limiti di pagine, le tabelle e le fotografie devono essere numerate e con didascalia, la bibliografia deve essere numerata secondo l'ordine di citazione nel testo.

ASSOCIAZIONE ITALIANA DI RADIOPROTEZIONE MEDICA (AIRM)

Associazione culturale e professionale senza fini di lucro, istituita nel 1977, con Atto
Notaio Nazzareno Dobici, serie 1313, vol.464 - Codice Fiscale 80457430587

Consiglio Direttivo:

Presidente: Roberto Moccaldi
Vice Presidente: Fabriziomaria Gobba
Segretario: Giulia Castellani
Tesoriere: Andrea Stanga

Segreteria:

segreteriaairm@gmail.com
Tel: 3283299877

Consiglieri:

Alessandro Arru - Salvatore Bellia
Franco Claudiani - Giuseppe De Luca
Vittorio Lodi - Alberto Modenese
Antonella Spigo - Giuseppe Taino

Webmaster:

Alessandro Turcato - a.turcato@dmxlab.it

Consiglio scientifico:

Bernard Le Guen - Stefano De Crescenzo
Alessandro Giordani - Carlo Grandi
Paolo Rossi - Antonella Testa
Massimo Virgili

Versamenti: L'AIRM si autogestisce mediante le quote dei propri Soci. Tutti i versamenti in favore dell'AIRM devono essere effettuati esclusivamente mediante bonifico bancario intestato a:

C/C Bancario: BPER Banca
AIRM – IBAN: IT 26 G 05387 74950 0000 430 15488

ASPETTI SCIENTIFICI E PROFESSIONALI

LA VALUTAZIONE E LA GESTIONE CLINICA DELLA CONTAMINAZIONE RADIOATTIVA INTERNA	G. De Luca	4
LA VIGILANZA IN MATERIA DI RADIOPROTEZIONE, IL RUOLO DELLE ASL E LE INDAGINI DI MALATTIA PROFESSIONALI (MP)	A. Spigo	26
VALUTAZIONE, GESTIONE DEL RISCHIO E SORVEGLIANZA SANITARIA DEI LAVORATORI ESPOSTI A LIVELLI SIGNIFICATIVI DI RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI	V. Camisa M. Borra	39
PROBLEMATICHE DI RITORNO AL LAVORO A SEGUITO DI PATOLOGIA ONCOLOGICA DEL LAVORATORE CLASSIFICATO ESPOSTO AL RISCHIO DA RADIAZIONI IONIZZANTI	V. Lodi M. Amici	49

NOTIZIE DELL'ASSOCIAZIONE

Verbale della riunione del CD-2021, tenutasi in data 19 maggio 2024 alle ore 15.00 presso Hotel Mercure Astoria, via Leopoldo Nobili 2, Reggio Emilia	63
Verbale della Assemblea dei soci (seduta ordinaria) convocata in prima convocazione il 20 maggio 2024 alle ore 7.00 ed in seconda convocazione il 20 maggio alle ore 18.00 a Reggio Emilia presso la sede del Convegno Nazionale AIRM	67
Bilancio consuntivo 2023 e bilancio preventivo 2024	73
Candidature per il rinnovo delle cariche sociali AIRM 2025 - 2029	78

CONGRESSI, CONVEGNI E CORSI

XXIX Congresso Nazionale AIRM - Lecce - 29 - 31 Maggio 2025	113
---	-----

LA VALUTAZIONE E LA GESTIONE CLINICA DELLA CONTAMINAZIONE RADIOATTIVA INTERNA

Giuseppe De Luca - AIRM

Introduzione

La Contaminazione radioattiva è definita dalla vigente normativa di radioprotezione (D. Lgs. 101/20 art. 7 (Definizioni) c. 1 punto 19) come “la presenza involontaria o non intenzionale di sostanze radioattive su superfici o all’interno di solidi, liquidi o gas o sul corpo umano. Nel caso particolare del corpo umano, essa include tanto la contaminazione esterna quanto la contaminazione interna, per qualsiasi via essa si sia prodotta”

In questa trattazione ci si occuperà esclusivamente della contaminazione interna che si realizza quando sostanze radioattive penetrano all’interno dell’organismo per via inalatoria, per ingestione, attraverso soluzioni di continuo del tegumento cutaneo (es. ferite) o anche - meno frequentemente - attraverso la cute integra (assorbimento transcutaneo).

Modalità di ingresso dei radiocontaminanti nell’organismo

La penetrazione per via inalatoria è sicuramente la più frequente modalità di ingresso dei radiocontaminanti nell’organismo, specialmente in ambito occupazionale.

L’introduzione per via digestiva ha in genere minore importanza in ambito lavorativo e può essere conseguente ad una contaminazione radioattiva

esterna delle estremità degli arti superiori (mani portate alla bocca) o della cute del viso nelle vicinanze dell’orifizio orale, ovvero secondaria ad una contaminazione per inalazione con successiva ingestione del muco contaminato che risale l’albero bronchiale grazie alla clearance muco-ciliare.

Vi può essere naturalmente una contaminazione radioattiva anche per ingestione di alimenti contaminati ovvero conseguente ad un intento suicida-

rio. Altra possibilità di ingresso dei radionuclidi nell’organismo è attraverso soluzioni di continuo del tegumento cutaneo (es. ferite) o anche - meno frequentemente - per assorbimento transcutaneo attraverso la cute integra.

Destino dei radiocontaminanti nell’organismo

Quanto al destino nell’organismo dei radionuclidi contaminanti, una prima distinzione va fatta tra sostanze e composti solubili e sostanze e composti insolubili contenenti i radionuclidi perché il destino nell’organismo è assai diverso e influisce molto sull’irradiazione interna; la solubilità è ovviamente riferita ai liquidi biologici presenti laddove avviene l’introduzione (plasma, succhi gastrici, ecc.).

I composti solubili circolano nella corrente sanguigna, entrano in organi e tessuti, sono trasportabili attraverso le membrane cellulari; i composti inso-

lubili non hanno queste caratteristiche o le presentano in misura assai ridotta.

In particolare:

- in caso di introduzione da ferita i composti solubili passano nel plasma sanguigno e di qui nei vari organi e tessuti; l'escrezione avviene di regola per via urinaria. I composti insolubili tendono invece a rimanere nel luogo di introduzione (cute e tessuto sottocutaneo se in forma di polvere) e creare irraggiamento localizzato
- nell'introduzione per ingestione i composti solubili superano la barriera costituita dalle mucose del sistema gastroenterico e arrivano nel plasma e di qui ai vari organi e tessuti in frazioni variabili da composto a composto e da elemento a elemento; l'escrezione è prevalentemente urinaria. I composti insolubili effettuano semplicemente un transito attraverso il sistema gastrointestinale durante il quale possono dare dosi alle mucose e agli organi e tessuti contigui. L'escrezione avviene con le feci da 1 a 3 giorni dopo l'ingestione. Per i composti chimici solubili come trizio, iodio e cesio, la frazione assorbita può essere quindi molto elevata, mentre per i composti chimici insolubili come ad es. Pu e U, la frazione assorbita è in genere minima

L'inalazione è - come già detto - la via di ingresso più comune della contaminazione interna in occasione di lavoro, specie in ambienti di lavoro industriali: è stato studiato il destino delle particelle insolubili inalate, la cui deposizione nell'albero respiratorio è determinata dalle dimensioni delle

particelle stesse. Le vie aeree diminuiscono progressivamente di calibro man mano che l'albero tracheobronchiale si espande e si procede verso gli alveoli e quindi le dimensioni delle particelle inalate hanno una grande importanza nel determinare il tratto dell'albero respiratorio in cui esse tendono a depositarsi. Più le particelle sono piccole, più profondamente esse possono penetrare nelle vie aeree e nei polmoni e più a lungo possono permanere. Le particelle di dimensioni inferiori ad un diametro critico di 5 μm si depositano negli alveoli dove il loro tempo di ritenzione aumenta drammaticamente fino ad oltre 100 giorni, sopra i 2 μm e soprattutto oltre i 10 μm il deposito nasofaringeo è pressoché esclusivo.

La clearance polmonare avviene attraverso trasporto delle particelle fagocitate dai macrofagi ai linfonodi regionali polmonari, tramite assorbimento nel circolo sanguigno e attraverso la tosse e l'espettorazione ovvero la deglutizione dell'espettorato nell'esofago e il successivo passaggio nel tubo gastroenterico.

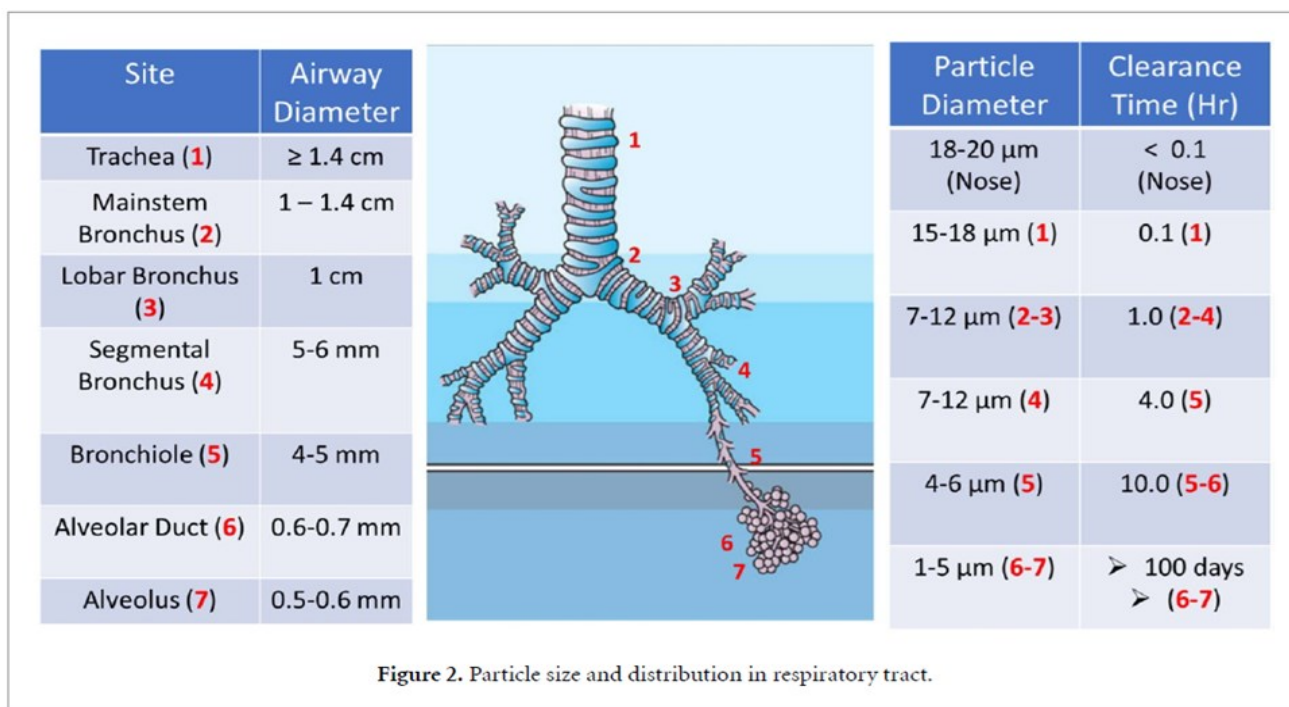


Figure 2. Particle size and distribution in respiratory tract.

Il modello respiratorio (Human Respiratory Tract Model - HRTM) è stato aggiornato con l'ICRP 130: le particelle inalate contenenti radionuclidi si depositano nelle vie aeree extratoraciche (ET: naso, faringe, laringe), nei bronchi (BB) e bronchioli pol-

monari (bb), nella regione alveolo-interstiziale (AI) con differenti frazioni di deposizione nelle diverse zone in dipendenza principalmente dal maggiore o minore diametro aerodinamico.

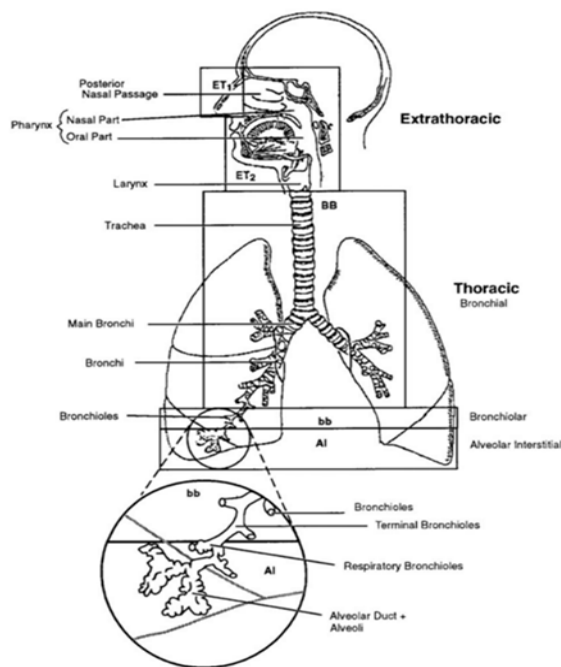


Fig. 3.2. Respiratory tract regions defined in the Human Respiratory Tract Model. Note that the oral part of the pharynx is no longer part of ET₂. ET₁: extrathoracic region including the anterior nasal passage; ET₂: extrathoracic region including posterior nasal passage, pharynx and larynx; BB: bronchial region; bb: bronchiolar region; AI: alveolar interstitial region. Taken from ICRP (1994a).

Il modello ICRP per l'apparato respiratorio si può applicare anche a sostanze radioattive in forma di gas e vapore e all'inalazione di Rn e figli.

In passato è stata molto utilizzata una classificazione fisico-chimica degli aerosol inalati in tre categorie o classi di crescente rapidità di rimozione (clearance) dalla regione alveolare dell'apparato respiratorio in cui sono stati depositati:

- la classe Y (Year), a rimozione molto lenta ($T_{1/2 \text{ biol}} > 100$ giorni) costituita dai vari ossidi, idrossidi e carburi di lantanidi, attinidi, Zr, Y, Mn, ecc.
- la classe W (Week), a rimozione piuttosto lenta ($T_{1/2 \text{ biol}}$ tra 10 e 100 giorni) costituita da vari ossidi e idrossidi, da solfuri e solfati, da carbonati, fosfati, nitrati, ecc.
- la classe D (Day), a rapida rimozione ($T_{1/2 \text{ biol}} < 10$ giorni) comprende composti che non fanno parte delle precedenti classi

Più modernamente, il più recente tra i diversi modelli del tratto respiratorio umano proposti da ICRP per descrivere la dinamica in ambiente polmonare di sostanze radioattive inalabili (ICRP 130 - 2015), distingue tre classi di materiali sulla base della relativa ritenzione polmonare:

- tipo F (fast absorption), per i quali il 100% dell'inalato raggiunge i fluidi corporei, con un tempo di dimezzamento biologico, $T_{1/2 \text{ biol}}$, pari a 30 min;
- tipo M (moderate absorption), per i quali l'80% dell'inalato raggiunge i fluidi corporei con $T_{1/2 \text{ biol}}$ pari a 140 giorni, mentre il re-

stante 20% assorbito con un tempo di dimezzamento biologico, $T_{1/2 \text{ biol}}$, pari a 6 h;

- tipo S (slow absorption), per i quali il 99% dell'inalato raggiunge i fluidi corporei con $T_{1/2 \text{ biol}}$ pari a 7000 giorni (~ 20 anni), mentre il restante 1% assorbito con un tempo di dimezzamento biologico, $T_{1/2 \text{ biol}}$, pari a 6 h

È stato inoltre introdotto un tipo V assorbito istantaneamente al 100% tanto che può essere considerato come se fosse iniettato direttamente in circolo.

I composti di tipo F sono quelli che hanno un maggiore effetto chemiotossico e gli organi più colpiti (organi bersaglio) sono i reni e il fegato. I composti di tipo S hanno invece un maggiore effetto radiologico; in questo caso gli organi bersaglio sono i polmoni e i linfonodi.

Per ciascuna via di introduzione, una frazione del radionuclide che entra nell'organismo viene assorbita nel sangue e distribuita sistemicamente: la distribuzione nel corpo può essere diffusa e relativamente omogenea, come per esempio per l'acqua triziata e i radioisotopi del K e del Cs, ovvero localizzata a determinati organi o tessuti bersaglio, come per esempio per i radioisotopi dello I (tiroide), degli elementi alcalino terrosi (ossa) e del plutonio (fegato e osso).

La rimozione dal corpo del materiale depositato avviene principalmente per via urinaria e fecale, anche se i radionuclidi possono essere escreti anche attraverso l'esalazione e attraverso la traspirazione cutanea (es.: acqua triziata). L'escrezione urinaria è conseguente alla filtrazione renale dei radionuclidi dal sangue; l'escrezione fecale ha due componenti: una componente sistemica

(endogena) che rappresenta la rimozione del materiale sistemico via tubo digerente dovuta alla secrezione biliare dal fegato e a secrezioni ad altri livelli lungo il tratto alimentare e una diretta (esogena) del materiale che transita senza essere assorbito il tratto alimentare dopo l'ingestione o la deglutizione da clearance mucociliare del sistema respiratorio dopo l'inalazione

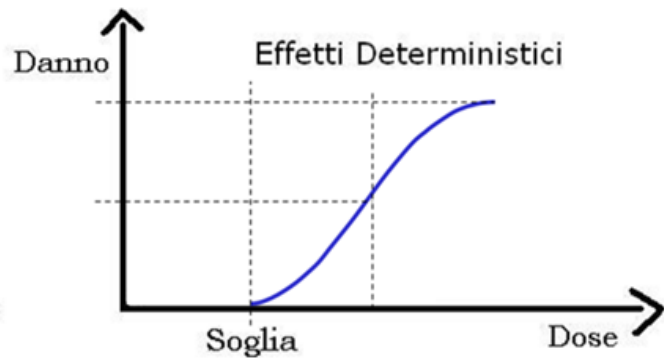


Dato che questi effetti sono dose-dipendenti, una componente importante della valutazione iniziale del paziente è proprio la stima della dose di radiazioni derivante dalla contaminazione interna. A questo fine occorre uno sforzo integrato da parte di medici, fisici sanitari e esperti di radioprotezione (eventualmente anche di esperti di sanità pubblica in caso di incidenti con coinvolgimento della popolazione).

A differenza delle dosi da irraggiamento esterno che sono più o meno facilmente misurabili con apposita strumentazione dosimetrica (dosimetri personali, ambientali, ecc.), le dosi da contaminazione interna - come si è visto in precedenza - devono essere opportunamente calcolate per ottenere una

Stima della dose da contaminazione interna

La contaminazione interna da radionuclidi, in dipendenza della dose di radiazioni associata all'attività del radionuclide o dei radionuclidi incorporati e al tempo di permanenza dello stesso o degli stessi nell'organismo in determinati organi e tessuti, può provocare reazioni tissutali avverse (effetti deterministici) con danno agli organi e tessuti esposti, effetti stocastici nei tessuti in cui vi è ritenzione prolungata dei radionuclidi e, se la contaminazione è massiccia, possibile esito letale per sindrome multiorganica.



stima approssimativa dell'entità delle radiazioni penetrate nell'organismo.

Si tratta di dosi impegnate che tengono in considerazione l'impatto biologico che si protrae nel tempo. A seguito di un incidente con contaminazione interna va stimata la dose efficace impegnata (espressa in Sv) in un periodo di 50 anni per verificare innanzitutto il rispetto dei limiti di dose per i lavoratori.

Per ottenere una stima attendibile sono necessarie informazioni riguardanti le modalità di esposizione (radionuclide/i in gioco; forma fisico-chimica, in particolare solubilità e - in caso di inalazione - granulometria delle particelle), misure di attività ambientale sul luogo dell'incidente o in ogni caso dell'attività presente sul sito della contaminazione

e misure dell'attività sugli escreti (urine, feci), oltre alle valutazioni di radioattività ai polmoni o altri organi (es.: tiroide) che riflettono l'entità dell'attività in quel determinato organo o tessuto e le valutazioni di radioattività al corpo intero (WBC).

In particolare per valutare l'attività incorporata possono essere effettuate due tipi di misure comunemente definite rispettivamente dirette e indirette:

- La misura "in vivo" (WBC, antropadiometria) è la misura dei raggi X o gamma emessi all'esterno del corpo dai radionuclidi presenti all'interno del corpo, o in un organo in particolare: l'attività incorporata è espressa in Bq. Le radiazioni alfa e beta non sono apprezzabili con questa misura.
- La misura radiotossicologica o misura "in vitro" è la misura dell'attività escreta con le urine delle 24 ore e/o con le feci, essa si esprime in Bq/giorno. Questa modalità di misura è particolarmente idonea in caso di contaminazione da emettitori alfa e beta a causa della modesta capacità di penetrazione di queste radiazioni nei tessuti

Ci sono due approcci alternativi che possono essere applicati per la stima retrospettiva della dose da contaminazione interna: (pag. 109 ICRP 130)

- Calcolo dell'intake di un radionuclide attraverso misure dirette (es.: WBC o misurazioni radiometriche esterne in determinati organi o tessuti) e/o misure indirette (es.: misura dell'attività dei radionuclidi nelle urine e nelle feci o misurazioni ambientali). Le mi-

sure ottenute vengono interpretate attraverso modelli biocinetici con il risultato di una stima della dose efficace impegnata calcolata utilizzando i coefficienti di dose (dose per intake Sv/Bq) raccomandati e forniti da ICRP (Pubbl. ICRP 119). La dose efficace impegnata si ottiene quindi moltiplicando l'intake di radioattività del soggetto per il coefficiente di dose efficace presente in tabella per la via di introduzione indicata (tipicamente per via inalatoria). Queste tabelle forniscono uno strumento di semplice utilizzo che dovrebbe favorire l'armonizzazione nell'interpretazione dei dati del monitoraggio biologico.

- Calcolo della dose efficace impegnata direttamente dalle misure utilizzando funzioni che le correlano al tempo dell'introduzione. Le misure possono essere misure WBC, di attività in campioni di urine delle 24 ore o in campioni fecali o in concentrazioni di radionuclide nell'ambiente. Questo approccio richiede l'uso di tabelle di "funzioni di dose per contenuto" come una funzione del tempo dopo l'intake.

I due approcci sono equivalenti e dovrebbero produrre risultati identici.

Nella pratica corrente tuttavia, la stima di dose interna viene raramente eseguita come sopra riportato, specie in condizioni di urgenza/emergenza. Nella gran parte di questi casi ci si deve limitare a stimare l'introduzione di un radionuclide (in Bq, per inalazione o ingestione di composti più o meno solubili) e a confrontare questo

dato con l'appropriato limite di introduzione annuale (ALI) o con lo specifico valore CDG.

Merita un cenno l'iniziativa europea TIARA Project (Treatment Initiatives After Radiological Accidents) con l'obiettivo di fornire indicazioni condivise sulla valutazione della dose impegnata e sull'eventuale necessità di trattamento in caso di

contaminazione radioattiva.

È disponibile in rete una pubblicazione edita da HPA - Dose assessment of inhaled radionuclides in emergency situations - che contiene tabelle di facile lettura in cui è rappresentata la stima di dose impegnata conseguente all'intake di un determinato radionuclide in relazione al tempo trascorso dopo l'intake stesso.



Dose Assessment of Inhaled Radionuclides in Emergency Situations



Funded by the Commission of the European Communities as part of the programme on preparatory action in the field of Security Research, Contract PASR- SEC4-SA-014100, Project TIARA (Treatment Initiatives After Radiological Accidents).



Sono stati finora utilizzati diverse volte termini quali intake e uptake di radionuclidi che sono di uso comune anche se a volte sono utilizzati impropriamente.

Con il termine "intake" ci si riferisce all'ingresso nel corpo di radionuclidi attraverso una qualsiasi delle vie di introduzione; invece con il termine "uptake" ci si riferisce all'ingresso dei radionuclidi in circolo, senza tener conto della modalità di ingresso dello stesso nell'organismo.

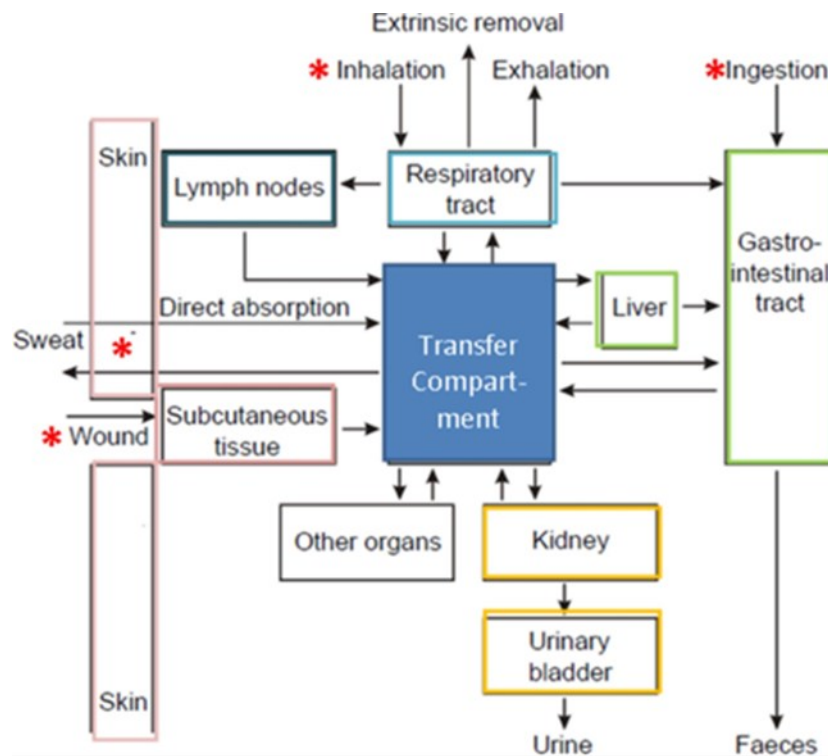
L'intake (ingresso) può avvenire attraverso la via

inalatoria, digestiva e/o per assorbimento attraverso ferite o attraverso la cute integra. L'intake precede quindi l'uptake (o assorbimento) dell'elemento in circolo (es. nel sangue o nel circolo linfatico). Una volta che l'elemento entra in circolo viene distribuito nel corpo e depositato in vari organi e tessuti sulla base delle sue proprietà chimiche piuttosto che delle sue caratteristiche radioattive.

Un esempio esplicativo è fornito dall'ingestione di radionuclidi che non è un evento usuale ma co-

munque possibile ad es. per contaminazione della cavità orale da parte di mani contaminate o per ingestione involontaria di liquidi o alimenti contaminati. La quantità ingerita è equivalente all'intake, ma soltanto una porzione dell'intake è effettivamente assorbita in circolo (uptake), trasportata ai vari organi e tessuti e escreta nelle urine.

Gli organi e i tessuti possono essere considerati - in un modello dinamico del corpo umano e delle sue funzioni - come altrettanti "compartimenti" a rinnovo continuo delle sostanze in essi contenute. Essi captano e rilasciano le proprie molecole e ioni (funzione di scambio o di rinnovo) secondo un certo rateo di scambio proprio di ogni compartimento e sostanza.



In molti casi captazione e rilascio si eguagliano nell'unità di tempo (condizioni di equilibrio); in altri casi ciò non avviene (es.: condizioni di non saturazione di un elemento in un organo come lo iodio in tiroide o di particelle circolanti sequestrate da particolari tessuti, come colloidali da parte del sistema reticoloendoteliale) e la captazione prevale sul rilascio nell'unità di tempo.

Lo scambio può avvenire tra compartimenti contigui oppure tra compartimenti a distanza attraverso il plasma sanguigno che funziona come compar-

timento di scambio, circolando ovunque nel corpo. In un compartimento in condizioni di equilibrio di scambio, la captazione e il rilascio di molecole e ioni avvengono secondo modalità di rinnovo per la quale una frazione costante di ogni famiglia di molecole o di ioni lascia il compartimento nell'unità di tempo verso il compartimento di scambio o verso un altro compartimento e viene rimpiazzata per captazione dal plasma o da altro compartimento (rateo di scambio - turnover rate).

La conoscenza del rateo di scambio consente di

stabilire il tempo di dimezzamento biologico T_{biol} di determinate molecole o ioni definito come l'intervallo di tempo in cui un numero iniziale di molecole o ioni nel compartimento è ridotto a metà e sostituito da altre molecole o ioni per effetto del rinnovo assumendo che non vi sia ulteriore intake nel compartimento stesso. Poiché ogni nuclide radioattivo ha un proprio tempo di dimezzamento fisico $T_{1/2 \text{ fis}}$, nello studio del rinnovo di molecole contenenti radioisotopi si deve tener conto della combinazione dei due tempi di dimezzamento e cioè del tempo di dimezzamento effettivo $T_{1/2 \text{ eff}}$

$$T_{1/2 \text{ eff}} = T_{1/2 \text{ fis}} \times T_{1/2 \text{ biol}} / T_{1/2 \text{ fis}} + T_{1/2 \text{ biol}}$$

Il tempo di dimezzamento effettivo di un radionuclide riflette quindi entrambe i processi e come risultato il tempo di dimezzamento effettivo è più breve sia del tempo di dimezzamento biologico che del tempo di dimezzamento fisico.

In alcuni casi il dimezzamento fisico è così rapido che il dimezzamento biologico, espressione dei fenomeni di rinnovo, può essere ignorato. In altri casi il dimezzamento fisico è così lento che sono solamente i fenomeni di rinnovo - e dunque il dimezzamento biologico - a stabilire il valore di $T_{1/2 \text{ eff}}$. Nei casi in cui i due tempi di dimezzamento, fisico e biologico, siano abbastanza simili, entrambi contribuiscono significativamente a stabilire il valore di $T_{1/2 \text{ eff}}$.

Gestione del soggetto con contaminazione radioattiva interna

Dopo aver provveduto alla stabilizzazione del paziente (azione che ha sempre la precedenza rispetto alla gestione della contaminazione radioat-

tiva), bisognerà tener conto dei dati derivanti dalla stima di dose ai fini della valutazione clinica del paziente anche per definire se ed eventualmente quando sia necessaria una terapia decontaminante/decorporante al fine di rimuovere i radionuclidi incorporati e quindi mitigare gli eventuali effetti deterministici, minimizzare il rischio di effetti stocastici e/o prevenire il rischio di effetti letali.

Come si è visto in precedenza, a differenza delle dosi da irraggiamento esterno, le dosi da contaminazione interna devono essere calcolate per ottenere una stima approssimativa dell'entità delle radiazioni penetrate nell'organismo. Si tratta di dosi impegnate che tengono in considerazione l'impatto biologico che si protrae nel tempo.

Una prima possibile valutazione di un soggetto che ha avuto una contaminazione interna, consiste nel comparare l'intake del o dei radionuclidi interessati con degli specifici limiti regolamentari sull'attività fissati da fisici, fisici sanitari e altri membri della comunità radioprotezionistica, piuttosto che con i limiti di dose derivati da valutazioni sanitarie.

L'ALI (Annual Limit on Intake) è stato definito dall'ICRP nel 1990 (ICRP Publication n. 60 e n. 61) come un intake (Bq) di un radionuclide in un anno che porterebbe ad una dose efficace impegnata di 20 mSv.

Nelle sue Pubblicazioni più recenti l'ICRP non raccomanda più l'uso dell'ALI in quanto considera che, per valutare la compliance con i limiti di dose, quella che va presa in considerazione è in realtà la dose totale la quale deriva sia dalla componente assorbita come irradiazione esterna che da-

gli intakes di radionuclidi (contaminazione interna).

Anche se l'ALI non gode più il favore dell'ICRP, questa grandezza rappresenta comunque un utile riferimento operativo per il sanitario che in molti casi si trova a dover stabilire rapidamente se la dose ricevuta è tale da rendere necessario intraprendere rapidamente una terapia medica. Sfortunatamente la stima formale della dose interna è un processo che spesso richiede molto tempo e che può quindi ritardare l'inizio della terapia medica. Specialmente se l'evento incidentale che ha provocato la contaminazione interna non include una significativa esposizione esterna, l'ALI può quindi fornire un'informazione molto utile come riferimento clinico riguardo all'entità approssimativa della dose. Tuttavia se si sospetta che vi sia una significativa componente da esposizione esterna, bisogna provvedere ad una ricostruzione della dose per determinare la dose effettiva totale.

Un'alternativa agli ALI come termine di paragone per la stima dell'entità di una contaminazione interna è la CDG (Clinical Decision Guidance o Clinical Decision Guide).

La CDG è stata inizialmente sviluppata e definita da NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements Report n. 161 - NCRP 161) al fine di disporre di un nuovo strumento utile in sanità pubblica anche per facilitare l'integrazione dei professionisti sanitari presenti sul territorio nella risposta sanitaria di carattere medico, di emergenza e triage della popolazione eventualmente coinvolta in incidenti con contaminazione radioattiva.

La CDG è una grandezza operativa derivata specifica per ciascun radionuclide e per ciascuna via di esposizione (inalazione, ingestione, ecc.) ed è definita per gli adulti come l'attività del radionuclide in grado di somministrare una dose efficace di 250 mSv dopo essere stata incorporata: a questa dose può essere attribuito approssimativamente un incremento dell'1,3% del rischio di sviluppare una neoplasia letale a causa dell'esposizione. In pratica CDG rappresenta il massimo intake una tantum (once in a lifetime) di radionuclidi (eccetto i radioisotopi dello iodio) che stima il rischio stocastico basato sulla dose efficace impegnata in 50 anni in adulti e fino all'età di 70 anni nei bambini.

La CDG considera anche un valore di dose assorbita ponderata per il w_r di 250 mGy-Eq in 30 giorni per gli effetti deterministici sul midollo rosso emopoietico e un valore di dose assorbita ponderata per il w_r di 1 Gy-Eq in 30 giorni per gli effetti deterministici al polmone.

La CDG per neonati, bambini e ragazzi (0-18 anni) e donne in gravidanza è fissata al 20% (1/5) del valore per gli adulti.

Da parte del NCRP sono state sviluppate CDGs sia per inalazione che per ingestione di radionuclidi come grandezze operative per aiutare i clinici a decidere sulla necessità di una terapia mirata alla decorporazione di un determinato radionuclide: ad es. attività di un radionuclide misurate in un campione di urine che risultino al di sopra del corrispondente valore CDG suggeriscono un possibile rischio elevato di sviluppare una neoplasia radioindotta e possono pertanto essere di aiuto al sanitario nella decisione se iniziare o meno la terapia

decorporante, ove disponibile.

La CDG può essere anche utilizzata anche come un livello di cut-off per lo screening ovvero per approfondire o meno l'analisi ed il calcolo della dose di radiazioni ricevuta dal paziente.

Infine per la stima comparativa della dose interna incorporata attraverso assorbimento da ferita, è stato raccomandato l'utilizzo di c.d. Livelli di riferimento derivati (DRL - Derived reference levels) usando coefficienti di dose sviluppati per diverse categorie di ritenzione delle ferite basate su modelli biocinetici realizzati da ICRP con un procedimento simile a quello utilizzato per gli ALI.

Valutazione clinica iniziale

La valutazione clinica di un individuo che ha incorporato un radionuclide dovrebbe includere una breve anamnesi patologica che renda conto di comorbidità (in particolare problemi ematologici, respiratori, cardiovascolari, gastrointestinali, renali e neurovascolari) ed un esame obiettivo fisico completo comprendente sia la valutazione delle funzioni vitali che un esame della cute, della testa (orecchie, occhi, naso, bocca, gola), del collo, del torace, dell'addome, delle estremità, del SNC e del SNP, dello stato mentale, cognitivo, dell'umore, ecc.

L'anamnesi patologica prossima dovrebbe documentare le circostanze dell'esposizione (tempo, luogo e breve descrizione dell'incidente), la durata dell'esposizione e l'attività fisica durante l'esposizione stessa.

Eventuali segni e sintomi riferibili all'apparato respiratorio e ai sistemi gastrointestinale e cuta-

neo dovrebbero essere oggetto di accurata descrizione.

È necessario un accurato controllo radiometrico non appena siano accertate le condizioni di stabilità clinica del paziente. Il risultato di questo controllo radiometrico darà informazioni essenziali al fine di una valutazione approssimativa dell'entità della dose. Se disponibili dovrebbero essere utilizzati i dati della concentrazione del radionuclide nell'aria inalata per stimare l'intake per via inalatoria.

Decisione di iniziare la terapia

Dato che l'eventuale trattamento terapeutico dovrebbe iniziare quanto prima possibile, è ragionevole provvedere ad una stima approssimativa della dose di radiazioni per comparare questa stima alle raccomandazioni regolatorie ad es. circa gli ALI del o dei radionuclidi interessati.

Calcoli più accurati potranno poi essere effettuati una volta che la terapia è già stata iniziata.

Gli obiettivi di una terapia mirata allo specifico radionuclide sono quelli di mitigare la gravità delle complicazioni cliniche di natura deterministica, minimizzare il rischio stocastico e, naturalmente, prevenire complicanze letali.

Sulla base delle esperienze fin qui fatte si può affermare che tutti gli intakes che superano il doppio del valore di CDG dovrebbero essere trattati con un appropriato agente terapeutico, se disponibile, mentre quegli intakes che sono $\leq 0,2$ CDG non dovrebbero essere sottoposti a terapia, a meno che non sia il paziente stesso a richiedere il trattamento e non vi sia carenza di risorse terapeutiche. Un criterio simile può essere applicato all'uso di ALI e DRL.

Una regola empirica proposta in un articolo pubblicato su *Radiation Protection Dosimetry*, Vol 41, No 1, 1992, p. 25 è la seguente: nessuna terapia per intakes < 1 ALI; per intakes tra 1 e 10 ALI considerare l'opportunità di trattamento a breve termine; per intakes > 10 ALI trattamento fortemente raccomandato.

La decisione se trattare o meno è ovviamente basata sulla via di ingresso del radionuclide.

Quando iniziare la terapia

Il trattamento di lesioni che mettono in pericolo la vita del paziente e/o di gravi lesioni traumatiche ha sempre assoluta priorità sulla gestione della contaminazione radioattiva. A differenza dello scompenso cardiovascolare, dell'insufficienza respiratoria e del collasso neurovascolare, le radiazioni di per sé non causano morte immediata. Pertanto un paziente con ad es. il femore fratturato, una pressione arteriosa di 50 mmHg, un polso di 160/min e un'emoglobina di 4 g/dl (Ht: 12%) dovrà ricevere infusioni di fluidi parenterali e di sangue e dovrà essere urgentemente valutato da uno specialista ortopedico senza che queste azioni urgenti siano ritardate da azioni di monitoraggio radiometrico o dalla somministrazione di agenti chelanti. Quando il paziente sarà stato stabilizzato, potrà essere iniziato il trattamento specifico per il radionuclide, naturalmente dopo aver valutato che la terapia è effettivamente necessaria.

Quale terapia

I metodi utilizzati per la decontaminazione e decorporazione dipendono dal tipo di radionuclide, dalla dose di radiazioni stimata, dalla durata dell'esposizione, dalla radiosensibilità tissutale, dal grado di risposta infiammatoria e dalla storia

clinica del paziente compresa la sua età e la eventuale presenza di comorbidità.

I metodi più utilizzati per la rimozione di radiocontaminanti dall'organismo includono:

- chelazione al sito di ingresso o nei liquidi corporei seguita da rapida escrezione (es.: Ca o Zn-DTPA per Am, Cf, Pu e Y)
- saturazione dell'organo bersaglio (es.: KI per radioisotopi dello I)
- accelerazione del ciclo metabolico del radionuclide attraverso diluizione isotopica (es.: acqua per trizio)
- precipitazione del radionuclide nel lume intestinale seguita da escrezione dello stesso con le feci (es.: calcio, sodio alginato o fosfato di Al per Sr)
- scambio ionico nel tratto gastrointestinale (es.: Blu di Prussia per Cs)

L'applicazione della terapia decorporante deve essere bilanciata in relazione ai potenziali rischi tossicologici associati all'uso dei farmaci antidotici utilizzati, quindi la decorporazione viene principalmente applicata nei casi in cui sono stimate dosi molto significative; questi trattamenti peraltro oltre agli isotopi radioattivi hanno la capacità di legare e accelerare l'eliminazione anche di isotopi non radioattivi per cui in occasione del loro utilizzo occorre effettuare un accurato monitoraggio degli elettroliti e di alcuni oligoelementi essenziali.

Si può ritenere giustificato anche iniziare la terapia senza conoscere la dose efficace impegnata al fine di evitare ritardi, questo ad es. è l'approccio raccomandato dall'Autorità di Sicurezza nucleare

Francese.

Le linee guida in generale raccomandano di iniziare i trattamenti di decorporazione dopo l'identificazione del radionuclide contaminante, comunque anche se l'indicazione alla terapia decorporante dipende chiaramente dalla dose efficace impegnata, la decisione se e quando iniziare il trattamento alla fine è in carico al sanitario che valuta caso per caso.

Rimozione fisica dei radionuclidi (decontaminazione esterna)

La rimozione fisica dei radionuclidi dovrebbe essere presa in considerazione per tutti i pazienti, a prescindere dal tipo di radionuclide. Bisognerebbe quindi provvedere innanzitutto al lavaggio e pulizia degli occhi con sol. fisiologica o semplicemente con acqua irrigata dal canto interno verso il canto esterno al fine di evitare la contaminazione del dotto nasolacrimale. In caso di ingestione occorrerebbe considerare l'utilità di un lavaggio buccale, di una lavanda gastrica e/o di indurre il vomito per eliminare il materiale radioattivo ingerito. Per le ferite contaminate bisognerebbe irrigare con soluzione salina, acqua o, se disponibile, con un agen-

te decontaminante o decorporante. Per le ferite contaminate con alti livelli di attività, bisognerebbe prendere in considerazione la possibilità di rimozione di parte dei tessuti con una biopsia escissionale. L'efficacia della rimozione dei radionuclidi dalle ferite a seguito di escissione chirurgica di tessuti contaminati può essere verificata quantificando l'attività dei materiali escissi attraverso sonde GM, NaI o ZnS; l'attività residua nella ferita dopo l'escissione e l'irrigazione della stessa può essere stimata con gli stessi metodi.

Per intakes polmonari di particelle insolubili di radionuclidi ad alta attività (Ir, Sr, Po, ecc.) si può prendere in considerazione la rimozione fisica delle stesse tramite lavaggio broncoalveolare, eseguito ovviamente da pneumologi esperti o chirurghi toracici. Potenziali effetti collaterali del lavaggio broncoalveolare includono dolore toracico di origine pleurica, dispnea, febbre, ipossiemia transitoria, sanguinamento moderato, broncoostruzione e pnx.

Terapia nuclide-specifica

Le principali terapie nuclide-specifiche sono indicate in tabella.

Table 5. Treatment of internal contamination.

Therapy	Mechanism of action	Selected radioisotopes	Distribution (stochastic risk)
Barium sulphate Aluminium hydroxide Calcium phosphate	Inhibit GI absorption	²²⁶ Ra, ⁹⁰ Sr	Bone
Prussian blue DTPA Sodium bicarbonate	Ion exchange Chelation Alters chemistry	¹³⁷ Cs, Tl ²⁴¹ Am, ²³⁸ Pu, ²³⁹ Pu, ⁶⁰ Co ²³⁴ U, ²³⁵ U, ²³⁸ U	Total body Lung, bBone, liver Lung, lymph node, kidney, urinary bladder
Hydration	Dilution	³ H	Total body
Blockade of uptake	KI	¹²⁵ I, ¹³¹ I	Thyroid

Radio (Ra) e Stronzio (Sr) ad es. sono radionuclidi osteotropi il cui assorbimento intestinale è inibito dal solfato di bario, dall'idrossido di Al o dal fosfato di calcio. Il Solfato di bario va somministrato per via orale in dose (adulti) di 100-300 g in 250 ml di acqua in dose singola; l'idrossido di Al è somministrato nella quantità (adulti) di 60-100 ml (a concentrazione standard di 1200 mg/10 ml); dato inoltre che il Ca stimola l'escrezione di Sr con le urine e ne riduce l'assorbimento può essere anche usato fosfato di Ca (1200 mg per os).

Per trattare la contaminazione da Cesio (Cs) o da Tallio (Tl) (anche non radioattivo) si utilizza una resina a scambio ionico, il Blu di Prussia (ferrocianuro ferrico) che interrompe il circolo enteroepatico del Cs nel tratto gastroenterico e pertanto ne incrementa l'eliminazione fecale (feci

blu). Il Blu di Prussia è somministrato per os alla dose di 3 g 3 volte al giorno. Circa il 10% dell'accumulo corporeo di Cs viene eliminato nei primi giorni di terapia e pressoché tutto il resto in circa 100 giorni nei maschi e 75 giorni nelle femmine.

Il blu di Prussia provoca ipopotassiemia e quindi in caso di terapia con questo farmaco vanno attentamente monitorati i livelli di potassio sierico in particolare in soggetti con preesistenti aritmie cardiache o disordini idroelettrolitici.

Durante il trattamento vanno inoltre raccolti campioni di sangue, urine, feci al fine di stabilire l'efficacia della terapia e stimare l'attività ancora presente nell'organismo. I soggetti che ricevono la terapia con il Blu di Prussia devono essere inoltre monitorati per eventuali reazioni allergiche o altre reazioni avverse.

Table 8: Prussian blue dosing and administration

Category	Route	Dose of Prussian Blue
Adults and adolescents (12+ yrs)	Oral	3g, three times per day
Children (2-12 yrs)	Oral	1g, three times per day

(Source: FDA label)

Anche se la terapia decorporante accelera l'escrezione dei radionuclidi, essa non li elimina completamente dal corpo.

Per trattare la contaminazione interna con radionuclidi transuranici (Am, Pu, Cu, Co, Cf e altri),

tutti accomunati da lunghi/lunghissimi tempi di dimezzamento fisici e biologici viene utilizzata la terapia chelante.

Il DTPA è disponibile sia come sale di Ca che come sale di Zn: il Ca-DTPA è 10 volte circa più efficace dello Zn-DTPA nella rimozione di radionuclidi dal corpo e pertanto è preferito per la somministra-

zione iniziale entro le prime 24 ore (1 g di Ca-DTPA in 5 ml di acqua per preparazioni iniettabili in iniezione e.v. lenta della durata di 3-4- min). In alternativa il DTPA può essere somministrato in infusione lenta della durata di 30 min in 100-250 ml di sol. Glucosata 5% (o sol. fisiologica o Ringer lattato).

La terapia di mantenimento si fa preferibilmente con Zn-DTPA (1 g di Zn-DTPA in 5 ml di acqua per preparazioni iniettabili in iniezione e.v. lenta della durata di 3-4- min) ed ha un'efficacia paragonabile ma con minori effetti collaterali rispetto a quella con Ca-DTPA.

Dato che gli attinidi sono incorporati nell'osso entro le prime 1-2 ore e nel polmone e nel fegato poco tempo dopo, la terapia andrebbe iniziata nel più breve tempo possibile dopo la contaminazione al fine di avere la massima efficacia.

Le ferite contaminate possono essere irrigate con Ca- o Zn-DTPA usando una soluzione di 1 g di DTPA più 10 ml di lidocaina al 2% in 100 ml di sol. fisiologica.

Insieme con l'irrigazione delle ferite può essere iniziata la terapia per infusione e.v. e per via inalatoria.

In particolare, DTPA per via inalatoria (1 g in 5 ml di acqua per preparazioni iniettabili diluito 1:1 con acqua sterile o sol. fisiologica) può essere somministrato a pazienti in cui la via di ingresso è limitata a quella respiratoria.

Reazioni avverse sono state documentate in circa il 3% dei pazienti cui è stato somministrato DTPA per lo più in forma di modeste reazioni cutanee. Durante l'infusione si possono verificare reazioni ipotensive e va quindi monitorata la pressione ar-

teriosa. Ca-DTPA non dovrebbe essere usato in gravidanza (eventualmente usare al suo posto lo Zn-DTPA).

Dato che il DTPA forma complessi stabili con diversi ioni metallici che sono escreti nelle urine, possibili effetti collaterali della terapia sono la riduzione dei livelli ematici di Mg, Mn e Zn; tali ioni andrebbero monitorati costantemente durante il trattamento insieme con la fosfatasi alcalina.

Il DTPA non è nefrotossico e non richiede aggiustamenti di dose in pazienti con insufficienza renale, tuttavia l'eliminazione dei radionuclidi per via renale in soggetti con riduzione della funzionalità renale può essere subottimale. Per i pazienti con insufficienza renale ed elevati livelli di radiocontaminazione può essere necessaria l'emodialisi con le dovute attenzioni da parte del personale sanitario durante la procedura.

I soggetti asmatici possono avere crisi di broncospasmo chimicamente indotto durante l'inalazione di DTPA per aerosol. Raramente è stata riportata iperglicemia.

Table 6: DTPA dosing and administration for adults

Route	Dose of DTPA
IV Push	1g of DTPA solution, available as a single vial with a volume of 5 mL, can be administered via slow IV push over 3-4 minutes
IV Infusion	1g of DTPA solution can be diluted in 100-250 mL of 5% Dextrose in Water, Ringers Lactate, or Normal Saline and administered over 30 minutes.
Nebulizer	1g of DTPA solution, 1 gram in 5 mL, can be 1:1 diluted with 5mL sterile water or Normal Saline, and inhaled over 15-20 minutes NOTE: Both Zn-DTPA and Ca-DTPA may exacerbate asthma.

(Source: REMM)

Table 7: DTPA dosing and administration for children

Route	Dose of DTPA
IV Push	14mg/kg/day, not to exceed 1g/day, of DTPA can be administered via slow IV push over 3-4 minutes
IV Infusion	14mg/kg/day, not to exceed 1g/day, of DTPA can be diluted in 100-250 mL of 5% Dextrose in Water, Ringers Lactate, or Normal Saline and administered over 30 minutes

(Source: REMM)

I pazienti contaminati con Uranio (U) sono a rischio di insufficienza renale: gli ioni uranile infatti si legano alle proteine di superficie dei tubuli renali predisponendo alla necrosi tubulare acuta.

Il trattamento di scelta per la contaminazione da U è l'alcalinizzazione delle urine in quanto essa porta alla formazione di uranil tricarbonato e all'escrezione di complessi UO₂ non tossici per il

rene riducendo così il rischio di necrosi tubulare acuta.

Per ottenere l'alcalinizzazione delle urine si può somministrare bicarbonato di Na in infusione e.v. lenta (250 ml con 1-2 mEq/kg) o per via orale in compresse (2 cp di bicarbonato di Na ogni 4 ore, fino a che il pH delle urine non raggiunge 8-9). Complicazioni dell'alcalinizzazione includono ipokaliemia e acidosi respiratoria ed inoltre ipocalcemia e eccessiva alcalemia. Oltre al monitoraggio

del pH urinario, vanno regolarmente monitorati gli elettroliti sierici e il livello di Ca.

Per correggere un'ipokaliemia si può ricorrere alla somministrazione di KCl (20-40 mEq/l) ed inoltre per prevenire disordini cardiaci può essere richiesta supplementazione con Ca.

I pazienti con un elevato intake di U possono essere candidati ad un trattamento emodialitico.

Il trizio (^3H) è rapidamente assorbito nel corpo per via inalatoria, per ingestione o per assorbimento transcutaneo, si mescola con l'acqua corporea e si distribuisce in tutto il corpo, seguendo il destino dell'acqua. La percentuale rispetto al totale dell'acqua corporea ne determina la tossicità. Il trattamento mira a diluire la concentrazione di trizio e ad aumentare la sua escrezione attraverso la somministrazione di grandi quantità di fluidi (3-4 l/giorno o più), a seconda della dose. Può essere richiesta idratazione per via parenterale ed inoltre a volte l'aggiunta di diuretici. La principale complicanza è lo scompenso cardiaco, bisogna quindi porre attenzione al bilancio tra ingresso e uscita di liquidi specialmente in pazienti cardiopatici.

Lo ioduro di potassio (KI) per os è utilizzato come agente terapeutico per il blocco tiroideo al fine di ridurre l'uptake di iodio radioattivo nella ghiandola tiroide che può condurre a possibili effetti stocastici (neoplasie tiroidee). Tra le azioni del KI oltre a quella di diluire lo iodio radioattivo incorporato in tiroide, ci sono quelle di favorirne il rilascio riducendone l'organificazione attraverso l'effetto Wolff-Chaikoff e di ridurre l'efficienza del Na-I symporter che è responsabile per l'uptake

dello I nei tireociti.

Il controllo dell'intake di I da alimenti e acqua potenzialmente contaminati è comunque la principale raccomandazione per la gestione della popolazione in caso di un rilascio accidentale di radioisotopi dello iodio nell'ambiente.

Lo ioduro di potassio dovrebbe essere somministrato quanto prima possibile in caso di rilascio accidentale di radioiodio: la protezione della ghiandola è pressoché completa se KI è somministrato entro 12 ore prima dell'esposizione o 2 ore dopo la stessa, ma la sua efficacia si riduce all'80%, 40% e 7% se somministrato rispettivamente oltre 2 ore, 8 ore o 24 ore dopo l'esposizione.

Una dose unica è generalmente sufficiente, tuttavia per esposizioni che si protraggono nel tempo o ripetute è raccomandato un trattamento con dosi giornaliere.

La somministrazione a breve termine di KI è sicura, particolarmente nei bambini; effetti collaterali sono stati osservati raramente negli oltre 16 milioni di persone che in Polonia hanno ricevuto il trattamento dopo l'incidente di Chernobyl ed è stato stimato che lo KI ha ridotto la dose alla tiroide di circa il 40%.

Effetti collaterali della somministrazione di iodio stabile possono comprendere scialoadenite, disturbi gastroenterici, rash cutaneo e reazioni allergiche. I soggetti cui viene somministrato KI possono anche sperimentare il c.d. "iodismo" consistente in una sensazione di sapore metallico, vago bruciore alla mucosa buccale e faringea, sensazione di fastidio alle gengive, fino a modesti sintomi di irritazione delle prime vie aeree e talvolta disturbi gastroenterici (vomito e diarrea).

I neonati < 1 mese che ricevono più di una singola dose di KI sono a maggior rischio di sviluppare ipotiroidismo. La somministrazione di KI è stata non frequentemente associata con lo sviluppo di ipertiroidismo o ipotiroidismo in individui con gozzo, questi rischi possono comunque soverchiare i benefici della terapia con KI in adulti > 40 anni particolarmente in quelli con gozzo e ipotiroidismo.

Controindicazioni alla somministrazione di KI includono: Allergia allo iodio (l'allergia ai frutti di mare, allo iodio-povidone e al liquido di contrasto iodato non è equivalente all'allergia allo I); Dermatite erpetiforme; Vasculite orticarioide e Tireopatia nodulare associata a cardiopatia.

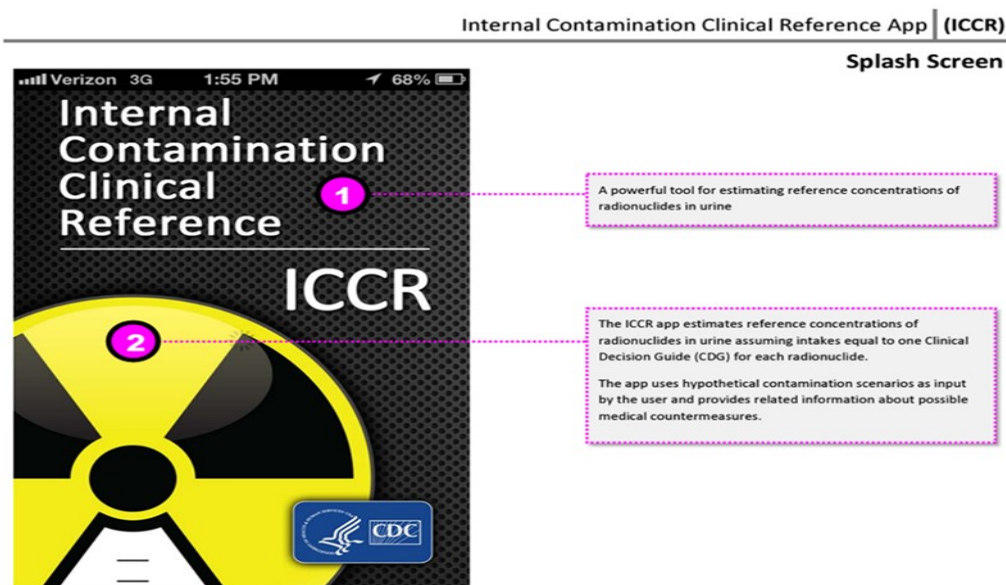
Quando interrompere la terapia

La decisione di interrompere la terapia va presa dal sanitario in accordo con il paziente: gli eventuali effetti avversi della terapia devono essere bilanciati dalla riduzione del rischio stocastico che consegue alla persistenza nell'organismo di un significativo livello del radionuclide. Anche se non ci sono indicazioni chiare e definite su quando inter-

rompere la terapia decorporante, si può usare il principio che la terapia va interrotta quando non è più osservabile un significativo declino della dose evitata proseguendo il trattamento. L'escrezione urinaria e fecale dei radionuclidi si può stimare attraverso monitoraggio biologico di campioni raccolti se possibile prima dell'inizio della terapia e quindi a vari intervalli di tempo dopo l'inizio della stessa. Per ragioni pratiche sono preferiti i campioni di urine. Il bioassay di campioni pre- e post-trattamento per ciascuna somministrazione consente di valutare l'efficacia del trattamento ad ogni step dello stesso. L'andamento e il trend temporale permettono inoltre di calcolare la dose evitata.

Internal Contamination Clinical Reference

L' Internal Contamination Clinical Reference (ICCR) è un'applicazione (per Android, Iphone e Ipad) disponibile sul sito CDC <https://www.cdc.gov/nceh/radiation/emergencies/iccr.htm> in grado di stimare le concentrazioni di riferimento di alcuni radionuclidi nelle urine assumendo un intake del radionuclide pari ad una CDG.



L'applicazione è stata messa a punto da ORISE (Oak Ridge Institute for Science and Education del Department of Energy - DOE) per CDC (Center for Disease Control and Prevention del Department of Health and Human Services) e dà informazioni sulla contaminazione interna da parte di alcuni radioisotopi e sulle possibili contromisure sanitarie da adottare.

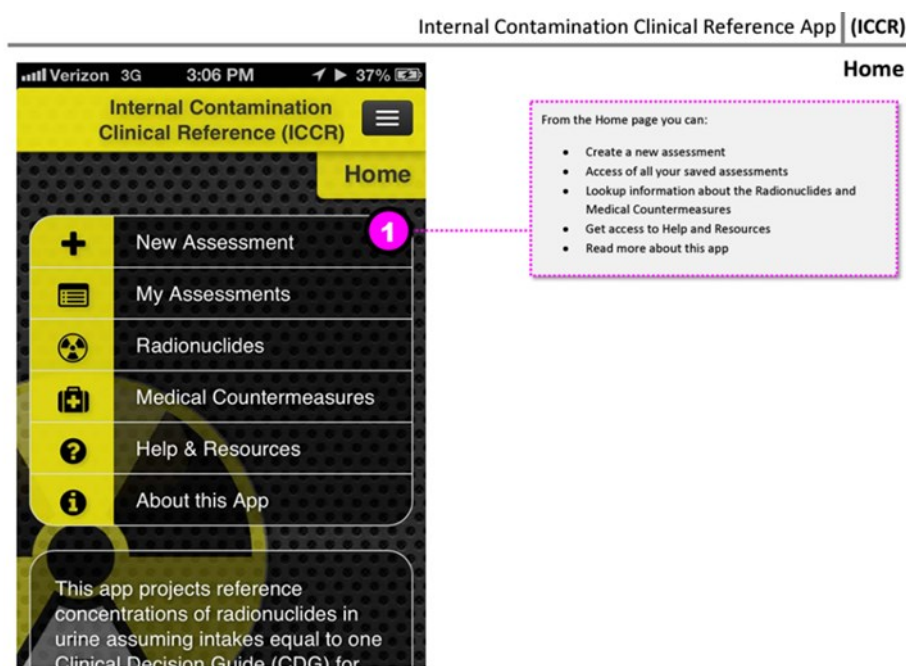
In particolare l'applicazione stima la concentrazione dei vari radionuclidi nelle urine applicando modelli biocinetici standard e a partire da un intake pari a 1 CDG per ciascun radionuclide, sulla base dell'ipotetico scenario del paziente.

I radionuclidi per cui è disponibile questa stima sono per il momento: Am, Cs, Co, I, Ir, Sr e Pu ma

l'applicazione verrà aggiornata ampliando la "libreria" degli elementi.

L'applicazione può essere utilizzata in due modi differenti:

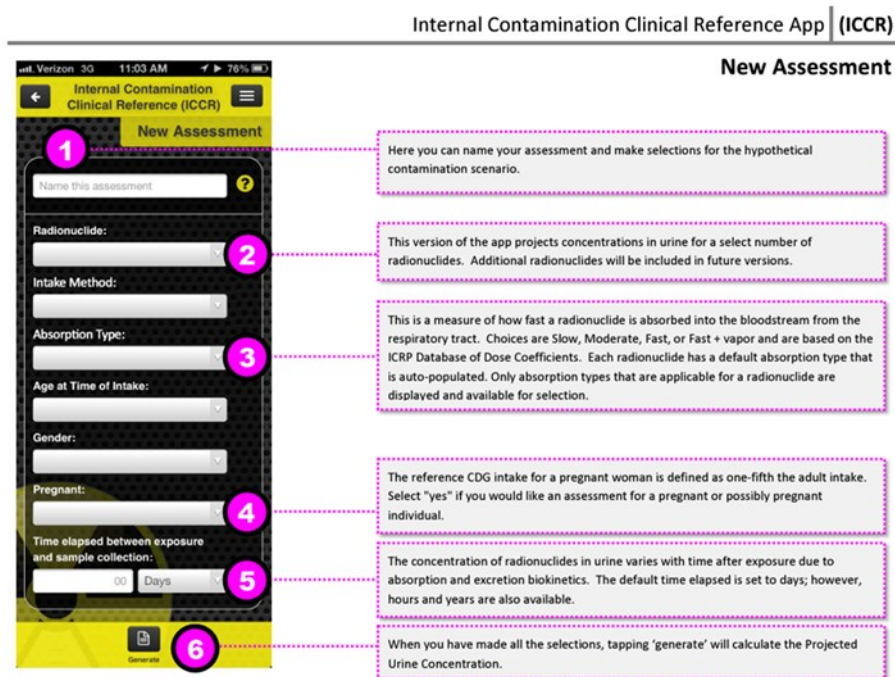
- Si possono ricercare informazioni di riferimento su un particolare radionuclide o su una particolare contromisura medica, cliccando sul radionuclide o sulla contromisura specifica
- Si possono anche ottenere stime su scenari ipotetici di contaminazione: ogni stima fornisce una concentrazione di riferimento del radionuclide nelle urine basata sui dati di input.



Per effettuare una nuova valutazione (New assessment) occorre selezionare:

- Il radionuclide
- La via di introduzione
- Il tipo di assorbimento respiratorio (se noto)
- L'età al momento dell'intake

- Il genere
- L'eventuale stato di gravidanza
- Il tempo trascorso dall'intake
- Il tempo trascorso tra l'esposizione e la raccolta del campione di urine radiotossicologico



Una volta selezionate tutte le variabili, cliccando su “Generate” il programma calcola la concentrazione di attività nelle urine del radionuclide proiettata

Quest’ultima può essere costituita da una indagine più accurata delle dosi tessuto- e organo-specifiche ovvero una vera e propria terapia de-corporante usando antidoti specifici.

Risultato della Valutazione (My Assessment Details)

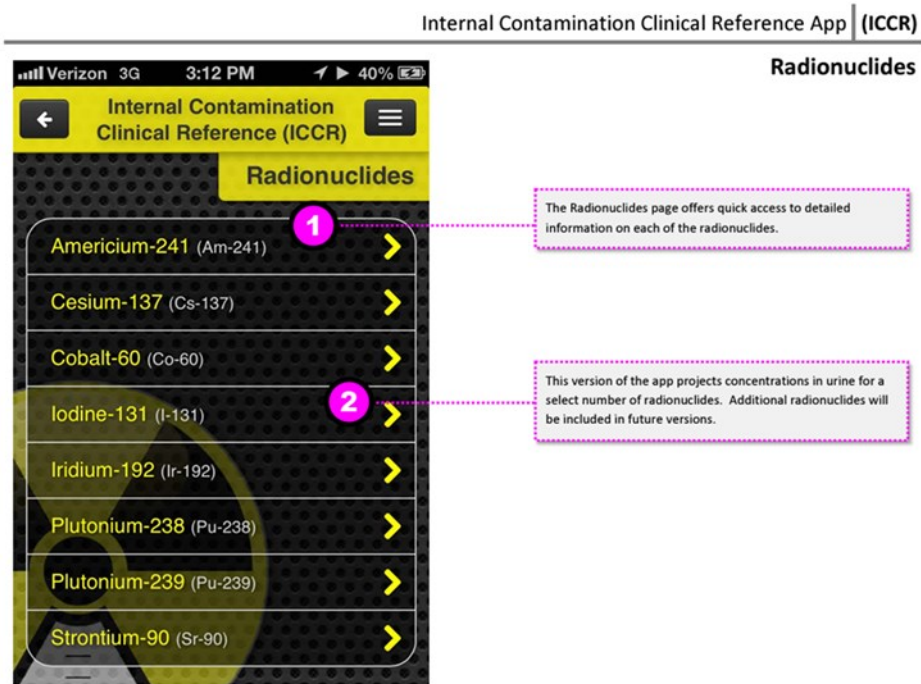
Usando queste variabili l’applicazione calcolerà la concentrazione urinaria del radionuclide proiettata corrispondente ad un intake di 1 CDG attraverso l’applicazione di modelli biocinetici standard, validati e approvati.

Il valore di concentrazione di attività urinaria che compare è quello proiettato che si dovrebbe trovare in un campione di urine spot a seguito di un intake corrispondente ad 1 CDG per i parametri di esposizione selezionati.

Se l’attività misurata nel paziente è superiore a questo valore, a parità degli altri parametri di esposizione, ciò significa che è stata superato l’intake corrispondente ad 1 CDG e quindi dovrebbe essere preso in considerazione una terapia medica.

Libreria di radionuclidi (Radionuclides)

Questa sezione consente il rapido accesso a una serie di informazioni di dettaglio (emivita, tipo di decadimento radioattivo, caratteristiche chimiche, produzione, utilizzo, forma fisica, possibili effetti dannosi per la salute, ecc.) su ciascuno dei radionuclidi elencati (altri radionuclidi verranno aggiunti in future versioni della app).



Un'ultima sezione riguarda le contromisure mediche (Medical Countermeasures) e fornisce informazioni di dettaglio (nome commerciale, indicazioni, meccanismo di azione, dosaggio, controindicazioni, effetti indesiderati, durata del trattamento, ecc.) sulle terapie con chelanti (DTPA), Blu di Prussia e Iodio stabile.

Riferimenti bibliografici

1. Guide national ASN - Autorité de Sureté Nucléaire: Intervention médicale en situation d'urgence nucléaire ou radiologique. Juin 2023
2. Guide national ASN - Autorité de Sureté Nucléaire: Guide national d'intervention médicale en situation d'urgence nucléaire ou radiologique - 28/02/2024 - ASN
3. Project TIARA (Treatment Initiatives After Radiological Accidents) - Dose Assessment of Inhaled Radionuclides in Emergency Situations - HPA GB
4. <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20131102011205/http://www.hpa.org.uk/Publications/Radiation/MiscellaneousRadiationPublications/rad009HPAEC001/>
5. Internal Contamination Clinical Reference (ICCR)
6. <https://www.cdc.gov/nceh/radiation/emergencies/iccr.htm>
7. ICRP 1979 Limits for intakes of radionuclides by workers. ICRP publication 30 Ann. ICRP 2
8. ICRP 1991 1990 recommendations of the international commission on radiological protection Ann. ICRP 21 1-3
9. ICRP 2015 Occupational intakes of radionuclides: part 1. ICRP publication 130 Ann. ICRP 44 1-188
10. NCRP 2008 Management of persons contaminated with radionuclides: handbook NCRP Report No. 161
11. NCRP 2015 Development of a biokinetic model for radionuclide-contaminated wounds and procedures for their assessment, dosimetry and treatment NCRP Report No. 156
12. Nicholas Dainiak and Joseph Albanese - Assessment and clinical management of internal contamination - 2022 J. Radiol. Prot. 42 041001



XXIX CONGRESSO NAZIONALE AIRM 2025

**"La sorveglianza sanitaria del Medico Autorizzato:
sfide e prospettive"**



29-31 Maggio 2025

Lecce

HILTON GARDEN INN

Via Cosimo De Giorgi 62 73100 Lecce

**IL PROGRAMMA E LE MODALITA' DI ISCRIZIONE VERRANNO
PUBBLICATE SUL SITO WEB DELLA ASSOCIAZIONE**



**FONDATA
NEL 1977**



Personalizzare la radioprotezione