

Scognamiglio M.S (scognamiglio@sogin.it)¹, Contessa G.M.², Falcone R.¹, Giardina I.², Battisti P.², De Novellis S.¹, Pontuale F.³

¹ SOGIN – C.R. Casaccia, v. Anguillarese 301 – S. M. Galeria, 00123 (Roma)

² ENEA, Istituto di Radioprotezione - C.R. Casaccia, v. Anguillarese 301 – S. M. Galeria, 00123 (Roma)

³ NUCLECO – C.R. Casaccia, v. Anguillarese 301 – S. M. Galeria, 00123 (Roma)

INTRODUZIONE

I radionuclidi artificiali presenti nell'ambiente in Europa sono principalmente riconducibili alle deposizioni al suolo conseguenti ai test nucleari effettuati negli anni '50 e '60 e alle ricadute susseguite all'incidente di Chernobyl (1986).

Dal monitoraggio radiologico delle principali vie di diffusione (aria, acqua e suolo) si evince una sostanziale permanenza di alcuni radionuclidi che, per tempi di dimezzamento e natura chimico-fisica, persistono nell'ambiente con concentrazioni che variano a seconda delle condizioni meteorologiche e delle caratteristiche geomorfologiche dei siti in cui si sono depositate. Tali radionuclidi si ritrovano presenti in tracce in alcune matrici alimentari, arrivando per ingestione agli individui della popolazione. Tra questi il ¹³⁷Cs si riscontra in concentrazioni tali da poter essere rivelato dalle tecniche di misura della contaminazione interna utilizzate per i lavoratori esposti Sogin ed ENEA afferenti al C.R. ENEA Casaccia.

Il presente articolo propone una procedura di indagine volta ad accertare l'origine non lavorativa di una contaminazione interna da ¹³⁷Cs rivelata durante un controllo periodico "in vivo" del personale classificato.

MATERIALI E METODI

IL LABORATORIO WBC DEL C.R. ENEA CASACCIA

Il Laboratorio del C.R. Casaccia, specializzato nell'esecuzione delle misure WBC e afferente all'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA, è dotato di celle di misura totalmente schermate e attrezzate per effettuare tutti i tipi di misurazione "in vivo" attraverso l'adozione delle più opportune geometrie per le diverse situazioni di contaminazione. La cella dedicata alle misure ad alta energia (cella gamma) è attrezzata con un rivelatore HpGe coassiale di tipo P, con efficienza relativa del 40% che, attraverso tempi di misura pari a 20 minuti, garantisce, per il ¹³⁷Cs, una Minima Attività Rivelabile (MAR) pari a 30 Bq/corpo intero.

LIMITE PER IL ¹³⁷CS NEGLI ALIMENTI

In Italia le indicazioni riguardanti il quantitativo di radionuclidi artificiali ammissibile nei cibi derivano dai limiti imposti per le condizioni di importazione di prodotti agricoli provenienti da paesi terzi a seguito dell'incidente verificatosi nella centrale nucleare di Chernobyl (rif. Regolamento (CE) N. 1048/2009).

Il limite per il contenuto di ¹³⁷Cs, che viene dato sommato al contributo del ¹³⁴Cs, è pari a 0,6 Bq/g per i prodotti agricoli eccetto i prodotti lattiero-caseari e gli alimenti per lattanti. Con riferimento alla MAR raggiungibile dal Laboratorio WBC del C.R. ENEA di Casaccia, risulta pari a circa 50 grammi la minima quantità di prodotto alimentare contenente il limite di ¹³⁷Cs previsto dal Regolamento (CE) n. 1048/2009 che, ingerita a ridosso dell'effettuazione della misura al WBC, sarebbe da questo rivelata.

INGESTIONE ACUTA E CRONICA DI ¹³⁷CS

E' di seguito riportata un'analisi volta a determinare le quantità di cibo contaminato la cui ingestione possa determinare una positività all'esame WBC, per assunzioni sia acute che croniche.

CASO DI INTRODUZIONE ACUTA

La relazione tra la misura di attività ritenuta all'esame WBC (M_{WBC}) e una introduzione $I(t)$ avvenuta t giorni prima è data dal coefficiente di ritenzione $R(t)$ per l'uomo di riferimento adulto maschio, ricavabile in letteratura (IAEA 2004, ICRP 1997), attraverso la relazione 1)

$$I(t) = \frac{M_{WBC}}{R(t)} \quad (1)$$

La funzione di ritenzione del Cesio è rappresentabile tramite una espressione a due esponenziali:

$$R(t) = ae^{-\frac{(\ln 2)t}{T_1}} + (1-a)e^{-\frac{(\ln 2)t}{T_2}} \quad (2)$$

con $a \sim 0,1$; $T_1 \sim 2$ giorni e $T_2 \sim 110$ giorni per gli uomini e ~ 90 per le donne, dal momento che una frazione dell'introduzione pari a circa il 10%, a rilascio rapido, è trattenuta nell'organismo con un tempo di dimezzamento biologico $T_{1/2B}$ di circa 2 giorni, mentre il resto, a rilascio lento, è trattenuto con un $T_{1/2B}$ di circa 110 o 90 giorni per (ICRP 30).

Giorni	UOMINI		DONNE	
	Cibo ingerito (g)	Dose associata a introduzione (μ Sv)	Cibo ingerito (g)	Dose associata a introduzione (μ Sv)
1	5,18E+01	4,04E-01	5,19E+01	4,05E-01
10	5,90E+01	4,60E-01	5,98E+01	4,66E-01
30	6,71E+01	5,24E-01	7,00E+01	5,46E-01
60	8,11E+01	6,32E-01	8,82E+01	6,88E-01
90	9,80E+01	7,64E-01	1,11E+02	8,67E-01
180	1,73E+02	1,35E+00	2,22E+02	1,73E+00
300	3,68E+02	2,87E+00	5,60E+02	4,37E+00
400	6,91E+02	5,39E+00	1,21E+03	9,43E+00

Tabella 2: Quantità di cibo contenente 0,6 Bq/g necessaria per il riscontro di una attività pari alla MAR_{WBC} (30 Bq) in uomini e donne per diversi intervalli in giorni intercorrenti tra introduzione e misura per l'uomo. La dose efficace impegnata è ricavata utilizzando il coefficiente di dose riportato nel D.Lgs. 230/95 e s.m.i..

Per appurare se sia ragionevole attribuire all'ingestione una positività all'esame WBC può essere utile verificare se un'ipotetica introduzione ricavata con la relazione 1) sia compatibile con l'ingestione di una quantità ordinaria di cibo contenente un'attività pari al limite di legge.

A tale scopo si riporta in tabella 1, per uomo e donna, la quantità di cibo contenente 0,6 Bq/g necessaria al riscontro di una attività pari alla MAR_{WBC} (30 Bq) per diversi intervalli in giorni intercorrenti tra introduzione e misura, assieme alla relativa dose efficace impegnata, ricavata utilizzando il coefficiente di dose $1,3E-08$ Sv/Bq, indicato nella tabella IV.1 del D.Lgs. 230/95 e riferito a un fattore $f_1=1$.

CASO INTRODUZIONE CRONICA

Non è facile reperire in letteratura curve di ritenzione per l'ingestione cronica di ¹³⁷Cs.

E' stato quindi ricavato l'andamento dell'attività ritenuta per l'introduzione acuta, considerando la sovrapposizione di singole introduzioni di $I_0=1$ Bq a intervalli di un giorno, secondo la seguente formula (3):

$$M(t) = I_0 \times (1 + \sum_t R(t)) \quad (3)$$

dove $R(t)$ è tratto dalla espressione (2).

In figura 1 vengono riportate, per l'uomo e per la donna, le curve dell'attività ritenuta $M(t)$ in funzione della durata dell'introduzione cronica per 1 Bq al giorno in funzione del tempo t intercorso dall'inizio dell'introduzione.

In Tabella 3 e Tabella 4 sono riportati, rispettivamente per l'uomo e per la donna, i valori di introduzione per ingestione cronica che determinano l'emergere di una positività all'esame WBC dopo un certo periodo di tempo. Nella stessa figura vengono associati anche le dosi accumulate fino al giorno della misura e le dosi annuali.

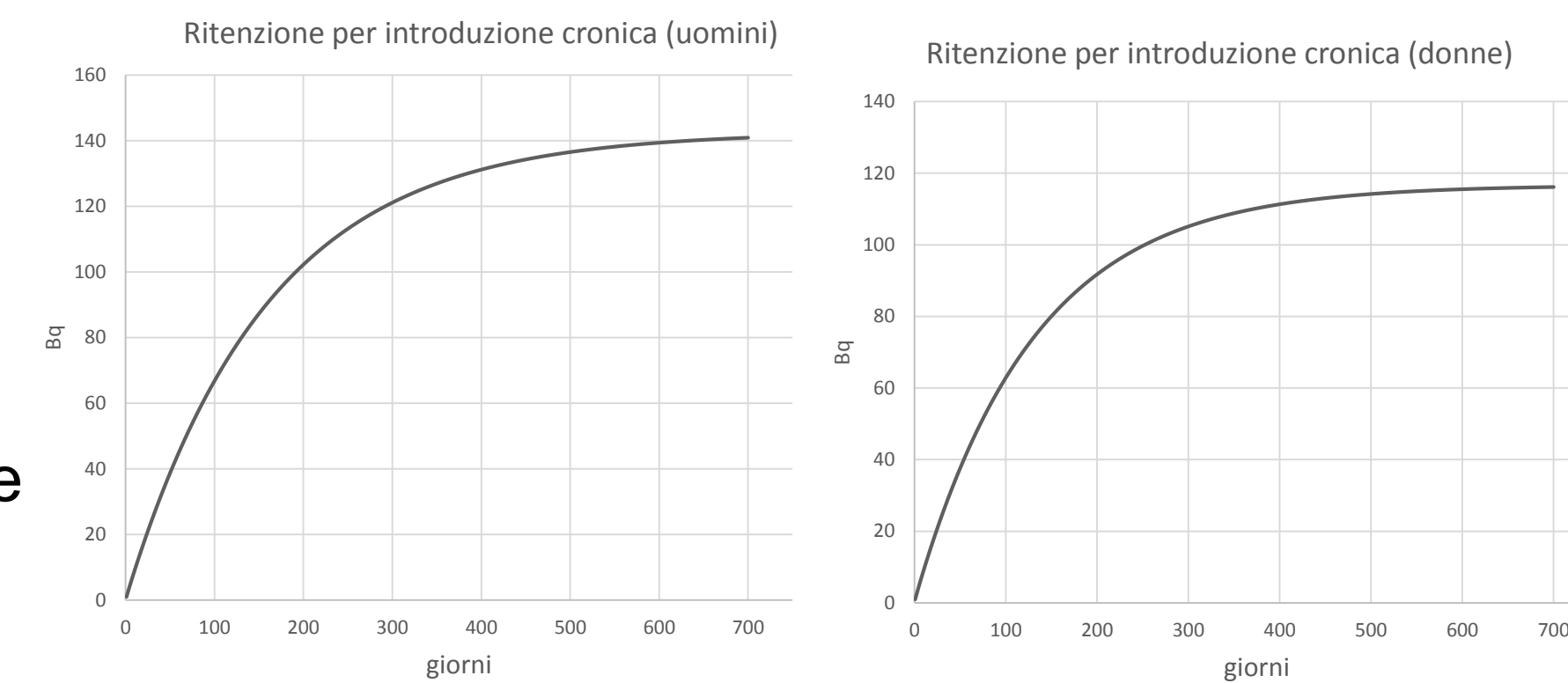


Figura 1: attività ritenuta nell'ipotesi di introduzione cronica di 1 Bq al giorno, a partire dal primo giorno di introduzione, rispettivamente per gli uomini e per le donne.

Giorni	Attività giornaliera ingerita (Bq/giorno)	Dose accumulata fino al momento dell'esame (μ Sv)	Dose annua (μ Sv)
30	1,21E+00	3,22E-01	5,75E+00
60	6,66E-01	5,86E-01	3,16E+00
90	4,85E-01	8,04E-01	2,30E+00
180	3,10E-01	1,26E+00	1,47E+00
270	2,57E-01	1,52E+00	1,22E+00
300	2,48E-01	1,57E+00	1,18E+00
400	2,29E-01	1,71E+00	1,09E+00
500	2,20E-01	1,77E+00	1,04E+00

Tabella 3: Valore di introduzione cronica giornaliera per l'uomo che determina positività in una misura WBC con $MAR=30$ Bq, per diversi intervalli di giorni intercorrenti tra prima introduzione e misura. Si riportano in seconda e terza colonna rispettivamente, le dosi accumulate al giorno della misura e le dosi annuali.

Giorni	Attività giornaliera ingerita (Bq/giorno)	Dose accumulata fino al momento dell'esame (μ Sv)	Dose annua (μ Sv)
30	1,24E+00	3,15E-01	5,87E+00
60	6,93E-01	5,63E-01	3,29E+00
90	5,13E-01	7,60E-01	2,44E+00
180	3,43E-01	1,14E+00	1,63E+00
270	2,94E-01	1,33E+00	1,40E+00
300	2,85E-01	1,37E+00	1,36E+00
400	2,70E-01	1,45E+00	1,28E+00
500	2,63E-01	1,48E+00	1,25E+00

Tabella 4: Valore di introduzione cronica giornaliera per la donna che determina positività in una misura WBC con $MAR=30$ Bq, per diversi intervalli di giorni intercorrenti tra prima introduzione e misura. Si riportano in seconda e terza colonna rispettivamente, le dosi accumulate al giorno della misura e le dosi annuali.

DISCUSSIONE

In generale, la via di introduzione caratteristica influenza le curve di ritenzione/escrezione che differiscono tra inalazione ed ingestione, rendendo teoricamente possibile discriminare una potenziale contaminazione da attività lavorativa, che generalmente avviene per inalazione, da una introduzione alimentare per ingestione.

Nel caso di contaminazione da ¹³⁷Cs la differenza tra le due curve è minima e non facilmente apprezzabile nella pratica (IAEA SRS 37, 2004, ICRP 78, 1997).

Lo studio delle attività ritenute e misurabili determinate dalle introduzioni alimentari è utile per valutare l'interferenza tra l'esposizione non riconducibile ad attività lavorativa e l'esposizione lavorativa ai fini dell'attribuzione dell'origine di una positività dell'esame WBC e quindi della valutazione di dose per i lavoratori.

Nel caso di presunta introduzione acuta è possibile fare riferimento ai valori in Tabella 2, mentre nel caso di potenziale introduzione cronica, può essere utile valutare quanto riportato in Tabella 3.

Quest'ultima tabella mostra che, vista l'entità dei valori sufficienti a ottenere una positività all'esame WBC, introduzioni alimentari con attività moderate e periodicità tipiche (settimanali o bisettimanali) possono determinare positività. Inoltre si può desumere che fattori variabili quali la fisiologia individuale, la periodicità e l'entità delle introduzioni possono ragionevolmente comportare misure con valori oscillanti o il susseguirsi di positività e negatività.

Di seguito si riportano i principali punti di una proposta di procedura, articolata in due parti, di supporto nel determinare l'origine di una potenziale contaminazione da Cesio, sulla base delle riflessioni presentate.

INDAGINE PER POTENZIALE CONTAMINAZIONE LAVORATIVA

- Esistenza di procedure per minimizzare la probabilità di contaminazione per ingestione sul luogo di lavoro.
- Accertamento, tramite colloquio e controllo della frequenza degli accessi e delle attività documentate, delle mansioni svolte dal lavoratore nelle zone controllate.
- Verifica delle condizioni radiologiche delle aree di lavoro.
- Eventuale ripetizione immediata dell'esame dopo aver effettuato una doccia e aver cambiato gli abiti indossati durante l'esame WBC
- Ripetizione differita/ritardata dell'esame WBC
- Controllo WBC ed esami radiotossicologici di lavoratori con mansioni simili nei tre mesi precedenti.

INDAGINE PER POTENZIALE CONTAMINAZIONE NON LAVORATIVA/ALIMENTARE

- Accertamento, tramite colloquio, di consumo negli ultimi tre mesi di alimenti potenzialmente ricchi di Cs quali funghi, frutti di bosco o cacciagione, prendendo a riferimento i valori riportati in letteratura.
- Se possibile, effettuare analisi simili su altri componenti del nucleo familiare del lavoratore.
- Eventuali specifiche misure sulle stesse matrici alimentari consumate dal lavoratore volte a quantificare la presenza di ¹³⁷Cs.