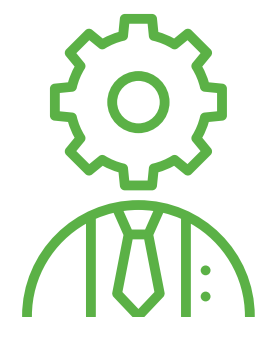
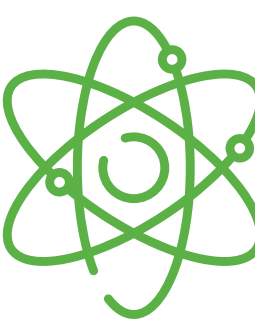


# VALUTAZIONI DI DOSI IMPEGNATE LAVORATIVE SU IMPIANTI NUCLEARI O EXTRALAVORATIVE IN CONSEGUENZA DI POSITIVITÀ AI CONTROLLI DI Cs137 AL WBC



## 1. INTRODUZIONE

Il sito di Sogin in Casaccia comprende l'impianto OPEC 1 (OPERazioni Calde) a suo tempo adibito allo studio di combustibile irraggiato. Nelle celle calde dell'impianto venivano sezionate e studiate barrette di uranio a basso burnup e quindi con bassissimo contenuto di transuranici. In vicinanza dell'impianto è situata un'area serbatoi di raccolta dei reflui attivi prodotti da OPEC 1, in via di smantellamento. Pertanto il personale che opera o che potrebbe operare in queste aree viene sottoposto a controllo della contaminazione interna tramite WBC (Whole Body Counter) essenzialmente per la ricerca del Cs137 in quanto maggiormente visibile rispetto agli altri radionuclidi, come già riportato in una pubblicazione precedente. La nuova normativa nazionale italiana, in linea con le direttive europee, per la valutazione delle dosi impegnate dai lavoratori fa riferimento esplicito all'utilizzo delle pubblicazioni ICRP, che forniscono maggiori informazioni su materiali, loro fattori di assorbimento, ritenzione e velocità di dissoluzione e anche sulle differenze fisiologiche e di genere. I rapporti tra intake, ritenzione ed uptake cambiano a seconda del materiale e/o della forma chimica. Nella vecchia normativa il Cs137 veniva sempre considerato come materiale di tipo F per l'inalazione e con fattori di assorbimento intestinale pari a 1, mentre nelle nuove guide ICRP, a molti materiali industriali, e in particolare anche quelli di origine nucleare, vengono esplicitamente attribuiti comportamenti di tipo M o anche S per l'inalazione e assorbimento alimentare più basso; di ciò si può tenere conto nella verifica della congruità tra misure al WBC (introduzione e ritenzione) e rilevamenti ambientali (indicativi delle possibili intake).



## 2. RADIONUCLIDI DI INTERESSE E FORME CHIMICO FISICHE

Nelle celle calde dell'impianto OPEC 1 le barrette di combustibile erano studiate sezionandole e sottoponendole anche a prove distruttive. I contaminanti prodotti nelle lavorazioni riguardavano sia il materiale nucleare irraggiato che le guaine. Visto il fermo delle attività negli anni '80 e l'età ancora maggiore del combustibile, i radionuclidi a vita relativamente breve (come il Co60, con emivita di cinque anni) sono drasticamente decaduti. Dal punto di vista radioprotezionistico rimangono di interesse essenzialmente il Cs137 e lo Sr 90 grazie alla loro emivita e fission yield. Ciò è confermato dalle analisi anche distruttive su vari campioni ambientali, da cui si evince che il rapporto Sr90/Cs137 in attività è inferiore o uguale a 2,6E-01 [1]. Le attività dei transuranici, specialmente nei campioni di contaminazione superficiale asportabile, sono generalmente risultate assenti con MDA di tre ordini di grandezza inferiori rispetto al valore misurato del Cs137, mentre in alcuni campioni solidi specifici il rapporto tra transuranici e Cs137 è dell'ordine di 10<sup>-2</sup> [1]. Determinati i radionuclidi, è necessario verificare quali siano le forme chimico-fisiche plausibili al fine dell'assorbimento nel corpo umano in base alla tipologia di materiale ed ai processi svolti. In Tabella 1 sono riassunte le tipologie di materiali previste nell'ICRP137 [2] in considerazione della via di intake con relativi coefficienti di dose e(50) e fattori di assorbimento alimentare f<sub>A</sub>. Per l'inalazione si considera una distribuzione granulometrica AMAD 5 µm, come raccomandato per le contaminazioni sul posto di lavoro. Il coefficiente f<sub>A</sub> viene indicato anche per l'inalazione, in quanto contribuisce al coefficiente di dose, essendo responsabile dell'assorbimento della frazione inalata che poi viene ingerita.

Tabella 1: tipologie di Cs137 considerate nell'ICRP137 e relativi coefficienti di dose

Route of Intake	Material	f <sub>A</sub>	e(50) Sv/Bq
Inhalation	Aerosols Type F- Caesium chloride, nitrate, sulphate,	0,09	9,30E-09
Inhalation	Aerosols Type M - Irradiated fuel fragments, all unspecified	0,2	5,60E-09
Inhalation	Aerosols Type S	1E-2	5,10E-08
Ingestion	Caesium chloride, nitrate, sulphate; all unspecified compounds	0,99	1,49E-08
Ingestion	Relatively insoluble forms, irradiated fuel fragments	0,1	1,60E-09

Riassumendo, le forme incontrate considerate sono sali inorganici solubili, cloruri e nitrati e, meno solubili, solfati. Può essere contenuto in frammenti relativamente insolubili di combustibile irraggiato. In alcuni casi riportati in letteratura di inalazione accidentale o controllata, è stata verificata la presenza di una componente con comportamento di tipo S.

Nell'ingestione, per l'assorbimento dalla dieta si assume normalmente f<sub>A</sub>=1 [2], così come per tutti gli altri composti. Fanno eccezione le situazioni i cui il materiale è da considerarsi meno solubile, come per le particelle di combustibile irraggiato o Cs137 assorbito in sedimenti inorganici, per il quale il valore f<sub>A</sub>=0,1 è considerato più appropriato.

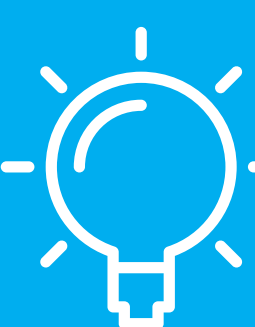
In Tabella 2 sono riportati materiali e relativi coefficienti, considerati dall'ICRP134 [3] per lo Sr90.

Come si vede, lo Sr90 ha coefficienti di dose in genere un po' più alti del Cs137 a parità di tipologia di introduzione e materiali.

Le forme di materiale per lo Sr90 plausibilmente presenti sull'impianto risultano "Inhalation, Aerosols Type M, Fuel fragments, all unspecified forms, f<sub>A</sub>=5E-2, 5 µm" e "Ingestion, All other chemical forms, f<sub>A</sub>=0,25"; quest'ultimo è il più conservativo a parità di attività introdotta.

Tabella 2: tipologie di Sr90 considerate nell'ICRP134 e relativi coefficienti di dose

Route of Intake	Material	f <sub>A</sub>	e(50) Sv/Bq
Inhalation	Aerosols Type F- Strontium chloride, sulphate and carbonate	0,25	3,20E-08
Inhalation	Aerosols Type M - Fuel fragments, all unspecified forms	0,05	1,80E-08
Inhalation	Aerosols Type S - Strontium titanate FAP, PSL	0,0025	2,00E-07
Ingestion	Strontium titanate	0,01	1,10E-09
Ingestion	All other chemical forms	0,25	2,40E-08



## 5. CONCLUSIONI

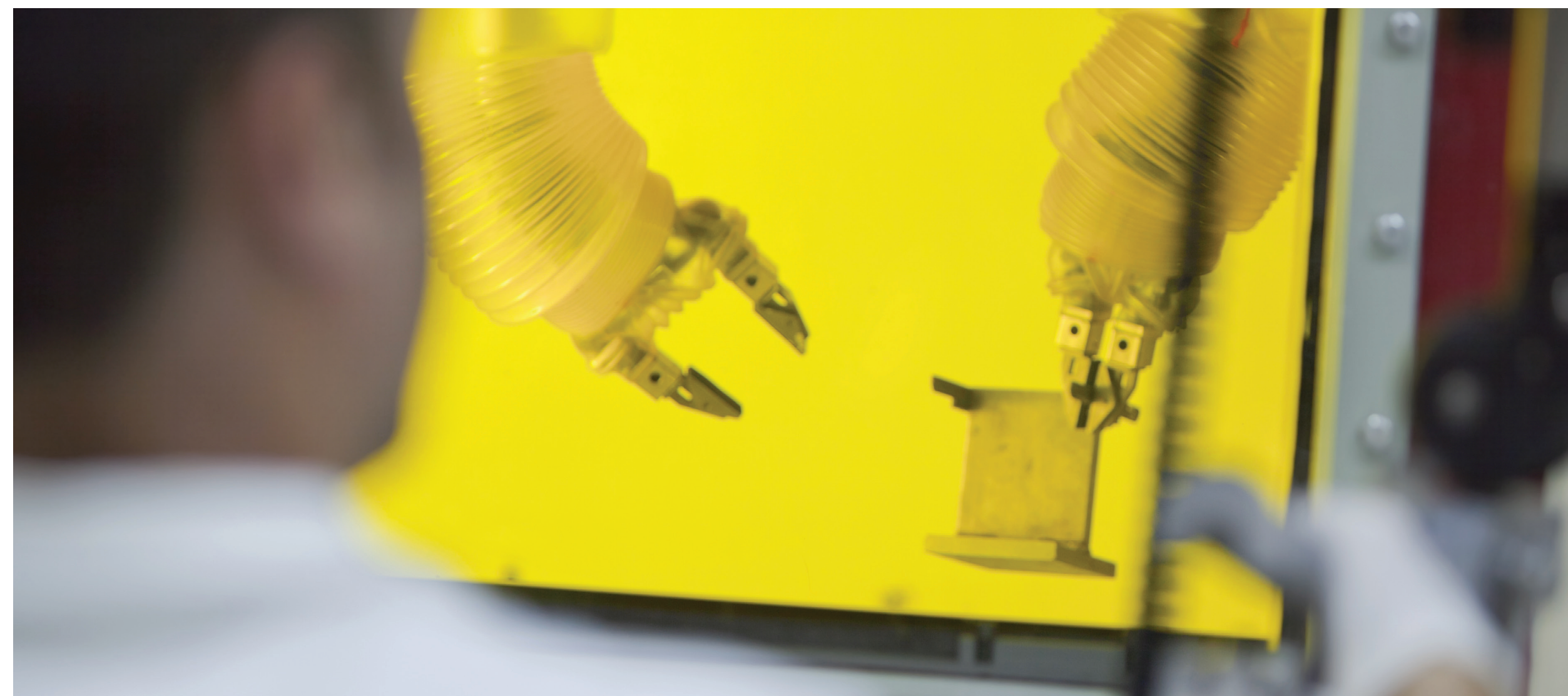
La misura WBC, con MDA (o DL) di alcune decine di Bq (30 Bq per le misure presso ENEA Casaccia), assicura una sensibilità dell'ordine di uno o pochi µSv, per misure con frequenza semestrale. Per esempio, utilizzando l'"OIR DATA VIEWER" allegato allo ICRP 137 [2] a 90 giorni, si valuta una intake a metà periodo di 68 Bq per ingestione o 100 Bq per inalazione, considerando rispettivamente materiale contaminante con f<sub>A</sub>=0,99 o il tipo F, quali scelte più conservative.

In genere lo Sr90 si trova in quantità inferiore sull'impianto; ma considerando conservativamente una intake di Sr90, che non è visibile al WBC, di entità uguale a quella di Cs137, attraverso le stesse vie di introduzione, si stima una sensibilità poco più che raddoppiata. Anche quest'ultima è calcolabile da "OIR DATA VIEWER".

Ne consegue che la sensibilità globale per misure semestrali è stimabile dell'ordine di qualche microSv.

Volendo tenere conto del contributo eventuale di attinoidi, in genere assenti ma in alcuni casi specifici ritrovati in rapporto fino a circa pari a 3x10<sup>-2</sup> rispetto al Cs137 [1], la sensibilità si assesta intorno a qualche decina di microSv/semestre. Altri radionuclidi presentano bassi coefficienti di correlazione alla presenza di Cs137 [1] insieme a non rilevanti coefficienti di dose, per cui possono essere trascurati, a meno di eventi di elevata rilevanza radiologica. Nel caso di forme meno solubili di Cs137 previste nell'ICRP 137 e più plausibili in alcune attività lavorative, si ha un aumento della Intake calcolata a parità di misura WBC. Ciò comporta una maggiore rilevanza e utilizzabilità delle misure ambientali per escludere l'introduzione lavorativa.

Da quanto detto consegue che sensibilità e riferibilità del monitoraggio e la prassi di approfondire attraverso interviste ed eventuali ulteriori misurazioni casi di positività, rendono il metodo in linea, in senso molto conservativo, con i livelli di registrazione ed indagine di cui alle raccomandazioni ICRP 130 [7] e alla norma ISO 20553 [8].



## 3. IL MONITORAGGIO

Il monitoraggio della contaminazione interna avviene essenzialmente tramite il WBC per il rilevamento di Cs137 nel corpo intero, con sensibilità con MDA tipiche tra 30 e 110 Bq; tali sensibilità permettono il rilevamento di dosi molto basse, anche dovute alla sola contaminazione post Chernobyl nel nostro territorio nazionale. La sensibilità delle tecniche per la determinazione della Sr90 negli escreti permette la determinazione diretta del radionuclide, a seconda dei casi, per introduzioni circa uguali o superiori rispetto al Cs137.

Pertanto, nella maggior parte dei casi di positività di bassa entità del WBC, attribuibile alla esposizione lavorativa, l'attribuzione di dose da Sr90 può avvenire solo in maniera indiretta, tenendo conto dei rapporti in attività nei rilevamenti ambientali sul luogo di lavoro. Poiché i coefficienti di dose dello Sr90 solo paragonabili o superiori al Cs137, l'attribuzione di tali introduzioni comporta un incremento relativo non trascurabile del valore finale attribuito alla dose efficace impegnata.



## 4. DETERMINAZIONE DELL'ORIGINE DI UNA POSITIVITÀ AL WBC

La presenza di Cs137 nei cibi dovuto all'incidente di Chernobyl comporta la possibilità di positività agli esami WBC, pur consumando solo cibi con attività nei limiti legali [4]. In decenni di monitoraggio su un campione di alcune decine di lavoratori, si è potuto verificare che casi di positività non associabili oggettivamente ad attività lavorative, mostravano evidenti cause alimentari, come il consumo di funghi, mirtili o alcuni tipi di carne. Inoltre vi sono casi di "cronicità" personale, per cui le positività si ripresentano più volte. In una circostanza invece, in seguito ad una trasferta in Norvegia di due persone, con il consumo di carni locali particolari, tra cui carne di renna, si è riscontrata la positività di entrambi con livelli di attività molto simili. La cosa è spiegabile con le modalità di allevamento e preparazione alla macellazione del bestiame in quelle zone, confrontando i livelli di contaminazione post Chernobyl e i livelli di attività tollerati nella carne destinata al consumo [6] in quella nazione, con quanto riportato in [5]. A meno di casi con valori sensibilmente elevati del WBC stabilire l'origine della contaminazione diventa importante per poter decidere se escludere o considerare anche l'introduzione di Sr90. Per tale scopo è possibile confrontare le previsioni di introduzione per le diverse tipologie dei materiali e per le diverse vie di introduzione. Un esempio schematico è dato in Tabella 3 dove sono riportate, per singoli eventi, le suddette previsioni in relazione ad una misura WBC pari a 50 Bq di Cs137. I dati sono riportati per intervalli che vanno da un giorno fino a 90 giorni. Come ci si aspetta considerando le dinamiche tra introduzione, assorbimento sistemico e dosi, la tabella suggerisce che alcune tipologie di materiale, in particolare le più insolubili, all'aumentare del tempo tra intake e misura, comportano introduzioni più elevate a parità di esito del WBC. Tali quantità, dell'ordine di 10<sup>2</sup>+10<sup>3</sup> Bq, dovrebbero lasciare tracce evidenti nella sorveglianza della contaminazione ambientale e personale anche se l'introduzione avvenisse senza l'attenuazione di dispositivi di protezione delle vie aeree o delle procedure (es. svestizione). In questi casi, l'assenza di valori relativamente elevati di contaminazione ambientale può escludere l'introduzione durante l'attività lavorativa. Se disponibile il rapporto isotopico ambientale con Sr90, è possibile anche verificare se una negatività di Sr90 negli escreti sia compatibile con le previsioni di intake di Cs137.

Tabella 3: Intake e dosi calcolate per attività riscontrata pari a 50 Bq nel WBC, in funzione del tempo tra intake e data della misura, per le diverse vie di introduzione e forme di Cs137 (OIR DATA VIEWER" allegato allo ICRP 137 [2]).

	Ingestione f <sub>A</sub> 0,99	Ingestione f <sub>A</sub> 0,1	Inalazione tipo F (f <sub>A</sub> =0,99)	Inalazione tipo M (f <sub>A</sub> =0,2)	Inalazione tipo S (f <sub>A</sub> =0,01)
coeff. di dose (Sv/Bq)	1,49E-08	1,60E-09	9,30E-09	5,60E-09	5,10E-08
Introduzione in Bq					
intake a 90 gg	1,14E+02	1,11E+03	1,67E+02	5,26E+02	1,09E+03
intake a 40 gg	7,81E+01	7,69E+02	1,14E+02	3,85E+02	9,62E+02
intake a 20 gg	6,76E+01	6,67E+02	9,80E+01	3,33E+02	9,09E+02
intake a 1 gg	5,62E+01	6,67E+01	7,94E+01	8,47E+01	8,62E+01
Dose impegnata (Sv) da Cs137					
intake a 90 gg	1,69E-06	1,78E-06	1,55E-06	2,95E-06	5,54E-05
intake a 40 gg	1,16E-06	1,23E-06	1,06E-06	2,15E-06	4,90E-05
intake a 20 gg	1,01E-06	1,07E-06	9,12E-07	1,87E-06	4,64E-05
intake a 1 gg	8,37E-07	1,07E-07	7,38E-07	4,75E-07	4,40E-06

Pertanto una sorveglianza ambientale efficace e documentata diventa uno strumento utile per la determinazione della origine della positività.

[1] Documento SOGIN Autori Vari - CC C9 00543 Piano di Caratterizzazione - Completamento delle attività di smantellamento e decontaminazione di Waste A e B - Piano di caratterizzazione radiologica - 2021

[2] ICRP, 2017. Occupational intakes of radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4)

[3] ICRP, 2016. Occupational intakes of radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134. Ann. ICRP 45(3/4), 1-352

[4] Roberta Shor, Robert H. Lafferty, Jr., and P. S. Baker ORNL-IC-36 STRONTIUM-90 HEAT SOURCES 1971 Oak Ridge International Laboratories.

[5] M.S. Scognamiglio M.S., Contessa G.M., Falcone R., Giardina I., Battisti P., De Novellis S., Pontuale F. Valutazione della relazione tra il contenuto di 137Cs in matrici alimentari e la positività ai controlli WBC non riconducibili ad attività lavorativa presso le installazioni Sogin ed Enea del C.R. Casaccia - AIRP atti convegno 2017 - Salerno 8-10 novembre 2017

[6] VKM (Comitato Scientifico Norvegese per Alimenti e Ambiente) Report 2017:25 Risk assessment of radioactivity in Food

[7] ICRP, 2015. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1. ICRP Publication 130. Ann. ICRP 44(2)

[8] ISO 20553:2006 Radiation protection — Monitoring of workers occupationally exposed to a risk of internal contamination with radioactive material