

Ordinanza del DFI sulla dosimetria individuale e ambientale (Ordinanza sulla dosimetria)

del 26 aprile 2017 (Stato 1° gennaio 2018)

Il Dipartimento federale dell'interno (DFI), d'intesa con l'Ispettorato federale della sicurezza nucleare,

visti gli articoli 53 capoverso 4, 61 capoversi 4 e 5, 77, 167 capoverso 4 e 191 capoverso 5 dell'ordinanza del 26 aprile 2017¹ sulla radioprotezione (ORaP),
ordina:

Capitolo 1: Disposizioni generali

Art. 1 Oggetto

La presente ordinanza disciplina le disposizioni tecniche relative alla dosimetria individuale e ambientale e stabilisce i requisiti per i sistemi di dosimetria.

Art. 2 Definizioni

Per la presente ordinanza si applicano le definizioni di cui all'articolo 2 e agli allegati 1 e 4 ORaP, nonché quelle di cui all'allegato 1 della presente ordinanza.

Art. 3 Vigilanza

L'autorità di riconoscimento di cui all'articolo 68 ORaP è competente per la vigilanza dei servizi di dosimetria individuale.

Art. 4 Oggetto del riconoscimento di un servizio di dosimetria individuale

Il riconoscimento del servizio di dosimetria individuale si estende ai seguenti oggetti:

- a. determinazione delle grandezze di misura;
- b. tipi di radiazioni e di radionuclidi misurati;
- c. metodi di misura applicati;
- d. formato della notifica delle dosi.

Art. 5 Pubblicazione del riconoscimento

L'autorità di riconoscimento pubblica l'elenco dei servizi di dosimetria individuale.

RU 2017 4553

¹ RS 814.501

Art. 6 Rilevamento dei componenti essenziali della radiazione

¹ Se è dimostrato che la dose efficace dovuta a radiazione fotonica o neutronica non può essere superiore al 10 per cento rispetto all'intera dose annua di una persona, si può rinunciare, d'intesa con l'autorità di vigilanza, all'accertamento individuale di questo componente.

² Il rilevamento della dose efficace risultante dall'incorporazione nelle aree controllate di cui all'articolo 80 capoverso 1 ORaP è disciplinato nelle schede caratteristiche specifiche dei radionuclidi di cui all'allegato 15.

³ Per i lavori effettuati nelle aree di cui all'articolo 82 ORaP si può rinunciare, d'intesa con l'autorità di vigilanza, al rilevamento individuale della dose efficace risultante dall'incorporazione per quei nuclidi che, complessivamente, non forniscono un contributo superiore a 1 mSv dell'intera dose annua di una persona.

⁴ Se in un'area di lavoro di cui all'articolo 81 ORaP viene superata un'utilizzazione annua specifica del nuclide di 200 livelli di licenza (LA) per un'attività con sorgenti radioattive non sigillate o di 20 livelli di licenza per attività con sorgenti volatili o gassose deve essere eseguita una sorveglianza dell'incorporazione secondo l'articolo 33.

Art. 7 Dosimetria delle persone mobilitate in caso di aumento di radioattività

¹ I livelli di dose accertati sulle persone mobilitate vanno verbalizzati e tenuti a disposizione dell'Ufficio federale della sanità pubblica.

² La dosimetria può essere eseguita da un servizio di dosimetria individuale riconosciuto.

³ Se si sospetta un'incorporazione, si deve procedere a un controllo dell'incorporazione secondo l'articolo 33.

⁴ In campi di radiazioni sufficientemente conosciuti e omogenei si può rinunciare alla misura individuale della dose individuale a condizione che essa sia accertata mediante calcolo.

Capitolo 2: Irradiazione esterna di persone**Sezione 1: Esecuzione della dosimetria****Art. 8** Modalità per l'utilizzo del dosimetro

¹ Il dosimetro per il corpo intero deve essere portato all'altezza del petto mentre le donne incinte devono portarlo all'altezza del ventre.

² In singoli casi, l'autorità di vigilanza può prescrivere un'altra modalità.

Art. 9 Utilizzo di più dosimetri

¹ Le persone sorvegliate devono portare più dosimetri quando il livello di dose di un singolo dosimetro non è rappresentativo per la determinazione della dose efficace a causa dell'inomogeneità del campo di radiazioni.

² L'autorità di vigilanza stabilisce nel singolo caso:

- a. il metodo di rilevazione della dose efficace sulla base delle dosi delle diverse parti del corpo;
- b. le modalità di notifica al servizio di dosimetria individuale.

³ Le persone professionalmente esposte a radiazioni che durante l'esecuzione di lavori in radiologia interventistica devono rimanere in prossimità dei pazienti sono obbligate a utilizzare un secondo dosimetro.

⁴ L'autorità di vigilanza può esigere nel singolo caso l'impiego di un secondo dosimetro per altre attività.

Art. 10 Modalità per l'utilizzo con un grembiule di radioprotezione

¹ Il dosimetro deve essere portato sotto il grembiule di radioprotezione all'altezza del petto. In caso di utilizzo di un secondo dosimetro, questo deve essere portato sopra il grembiule di radioprotezione all'altezza del petto e deve essere contrassegnato appositamente dal servizio di dosimetria individuale.

² Con due dosimetri, l'equivalente di dose individuale è calcolato come segue:

$$H_{\text{totale}}(10) = H_{\text{sotto}}(10) + a \cdot H_{\text{sopra}}(10)$$

$$H_{\text{totale}}(0,07) = H_{\text{sotto}}(0,07) + H_{\text{sopra}}(0,07)$$

dove H_{sotto} significa dose misurata sotto il grembiule di radioprotezione e H_{sopra} significa dose misurata sopra il grembiule di radioprotezione; $a = 0,1$ se il grembiule di radioprotezione non protegge la tiroide e $a = 0,05$ se la protegge.

³ Il titolare della licenza segnala al servizio di dosimetria individuale:

- a. le persone che necessitano di un secondo dosimetro;
- b. se queste portano una protezione per la tiroide.

⁴ Il servizio di dosimetria individuale calcola l'equivalente di dose individuale totale e segnala H_{sotto} , H_{sopra} e H_{totale} all'azienda e al registro centrale delle dosi.

Art. 11 Dose per il cristallino

¹ La dose per il cristallino è equiparata alla dose superficiale individuale $H_p(0,07)$ misurata con il dosimetro per il corpo intero. In alternativa può essere misurata con un dosimetro per il cristallino e segnalata.

² In campi di radiazioni inhomogenei, nei quali la dose per il corpo intero non è rappresentativa della dose per il cristallino, l'autorità di vigilanza può esigere nel singolo caso che venga portato un secondo dosimetro in prossimità degli occhi.

³ In caso di utilizzo di due dosimetri per il corpo intero con il grembiule di radioprotezione, la dose per il cristallino equivale alla dose superficiale individuale totale $H_{\text{totale}}(0,07)$ di cui all'articolo 10 capoverso 2.

⁴ In caso di utilizzo di occhiali protettivi il perito stabilisce, d'intesa con l'autorità di vigilanza, un fattore di correzione individuale $f_L < 1$ e lo comunica al servizio di dosimetria individuale. Il servizio di dosimetria individuale calcola e segnala la dose individuale per il cristallino all'azienda e al registro centrale delle dosi come segue:

Un dosimetro per il corpo intero: $H_{\text{cristallino}} = f_L * H_p(0,07)$

Due dosimetri per il corpo intero con il grembiule di radioprotezione:
 $H_{\text{cristallino}} = H_{\text{sotto}}(0,07) + f_L * H_{\text{sopra}}(0,07)$

I valori $H_{\text{sotto}}(0,07)$ e H_{sopra} sono fissati in base all'articolo 10 capoverso 2.

⁵ In caso di utilizzo di un dosimetro per il cristallino sugli occhiali protettivi il servizio di dosimetria individuale calcola e segnala la dose individuale per il cristallino all'azienda e al registro centrale delle dosi come segue:

$H_{\text{cristallino}} = f_L * H_p(0,07)$ o

$H_{\text{cristallino}} = f_L * H_p(3)$

Art. 12 Dosimetro per le estremità

¹ Per le attività con sorgenti di radiazioni che possano raggiungere elevate intensità di dose a livello delle mani, deve essere portato anche un dosimetro per le estremità. Si tratta in particolare delle seguenti attività:

- manipolazioni in aree di lavoro con emettitori γ in caso di utilizzazione superiore a 200 LA all'anno;
- manipolazioni in aree di lavoro con emettitori β con $E\beta_{\text{max}} > 1$ MeV nella area di lavoro di tipo B o in caso di utilizzazione superiore a 200 LA all'anno;
- esami in ambito di dose forte della radiologia interventistica;
- lavori di regolazione di impianti analitici a raggi X.

² L'autorità di vigilanza può esigere nel singolo caso l'impiego di un dosimetro per le estremità anche per altre attività durante le quali la dose delle estremità possa superare i 25 mSv all'anno.

³ Il dosimetro per le estremità deve essere portato, nei limiti del possibile, sulle parti in cui ci si deve attendere la dose più elevata.

Art. 13 Accertamento delle dosi per le estremità nella manipolazione di sorgenti non sigillate

¹ Nella manipolazione di sorgenti non sigillate la dose per le estremità viene calcolata con un fattore di correzione a partire dalla dose misurata dal dosimetro ad anello nel modo seguente:

$H_{\text{extr}} = f_E * H_p(0,07)$

dove $H_p(0,07)$ è la dose misurata dal dosimetro ad anello e f_E il fattore di correzione. Il fattore di correzione ammonta a $f_E = 5$.

² D'intesa con l'autorità di vigilanza, il titolare della licenza può stabilire e utilizzare fattori di correzione individuali attraverso misurazioni adeguate.

³ Il titolare della licenza segnala al servizio di dosimetria individuale le persone che lavorano con sorgenti non sigillate e i rispettivi fattori di correzione individuali.

⁴ Il servizio di dosimetria individuale calcola la dose individuale per le estremità e segnala $H_p(0,07)$, f_E e H_{ext} all'azienda e al registro centrale delle dosi.

Art. 14 Utilizzo di un dosimetro individuale attivo come secondo dosimetro
L'autorità di vigilanza può esigere in singoli casi l'impiego di dosimetri individuali attivi (APD) in particolare per:

- a. garantire un controllo tempestivo dell'esposizione delle persone nel campo di radiazioni (dosimetria per specifica attività lavorativa);
- b. avviare misure in caso di raggiungimento o superamento delle soglie d'allarme;
- c. informare e sensibilizzare in tempo reale le persone esposte a radiazioni sulle dosi che ricevono durante lo svolgimento di un'attività;
- d. ottimizzare il comportamento delle persone esposte al campo di radiazioni e quindi ridurre la dose individuale e collettiva;
- e. consentire una sorveglianza tempestiva della dose per garantire il rispetto del limite di dose per il nascituro.

Art. 15 Prolungamento del periodo di misura

Un prolungamento del periodo di misura di cui all'articolo 61 capoverso 2 ORaP a più di un mese è possibile d'intesa con l'autorità di vigilanza, in particolare se:

- a. le persone interessate sono controllate anche da un sistema di dosimetria individuale supplementare a lettura diretta; o
- b. esiste una dosimetria locale con indicazione dell'intensità di dose o con allarme.

Sezione 2: Requisiti tecnici dei sistemi di dosimetria

Art. 16 Requisiti generali

I sistemi di misurazione di cui all'articolo 66 capoverso 2 lettera d ORaP devono permettere la determinazione delle grandezze operative di cui all'allegato 4 ORaP per la dosimetria individuale in caso di irradiazione esterna.

Art. 17 Requisiti per le condizioni ordinarie

La deviazione del livello di dose H_m , accertato in condizioni ordinarie, dal livello di riferimento della grandezza operativa H_t , per quanto concerne le radiazioni fotoniche, deve rimanere entro i limiti fissati all'allegato 2.

Art. 18 Requisiti per il riconoscimento

¹ I sistemi di dosimetria devono adempire i requisiti di cui agli allegati 3–9.

² La deviazione del livello di dose accertato dal livello di riferimento, nelle condizioni di riferimento di cui all'articolo 22, non deve essere superiore a ± 10 per cento.

³ L'autorità di riconoscimento può permettere nel singolo caso l'applicazione di un fattore di normalizzazione relativo alle condizioni di riferimento, se i dosimetri sono portati in un campo di radiazioni conosciuto che si differenzia sensibilmente dal campo di radiazioni di riferimento.

⁴ L'autorità di riconoscimento può, per quanto concerne la dipendenza energetica o il campo di misura, concedere deroghe ai requisiti di cui agli allegati 3–9. A questo scopo, è necessario che l'operatore del servizio di dosimetria dimostri che:

- a. il suo sistema di dosimetria è utilizzato in campi di radiazioni che forniscono un contributo di dose significativo solo in un intervallo di energia parziale; oppure
- b. per ragioni fisiche o grazie a misure tecniche è impossibile che, durante l'irradiazione, sia superato un determinato valore massimo di dose.

Art. 19 Requisiti supplementari per il riconoscimento di APD

¹ Un APD deve aver superato una prova di omologazione secondo le norme tecniche riconosciute.

² Mediante misure e provvedimenti appropriati si deve garantire che i dati dosimetrici non possano essere cancellati prima del trasferimento nei dispositivi di memorizzazione del servizio di dosimetria individuale.

³ La dipendenza della misura della dose dall'intensità di dose, se del caso anche per radiazioni pulsanti, deve essere specificata.

⁴ Il dosimetro deve rispondere alle esigenze del luogo di impiego.

Art. 20 Requisiti degli APD come secondi dosimetri

¹ I requisiti degli APD supplementari secondo l'articolo 14 sono stabiliti dall'autorità di vigilanza per applicazioni concrete. I requisiti includono:

- a. i requisiti minimi di misura;
- b. la calibrazione e la tracciabilità;
- c. l'impostazione delle soglie di allarme;
- d. la garanzia di qualità.

² I livelli di dose accertati mediante un APD devono essere analizzati e registrati dopo ogni periodo di lavoro.

Art. 21 Misurazioni comparative

¹ Nell'ambito delle misurazioni comparative di cui all'articolo 70 capoverso 2 ORaP deve essere verificata la precisione di misura alle condizioni di riferimento secondo l'articolo 22.

² Se i livelli di dose accertati nelle condizioni di riferimento divergono del 10 per cento dal livello di riferimento, il servizio di dosimetria individuale deve stabilire la causa ed eventualmente eseguire una nuova calibrazione del sistema di dosimetria.

³ Se nell'ambito di misurazioni comparative sono eseguiti test complementari, i requisiti di cui all'articolo 17 e agli allegati 3–9 devono essere adempiti, tenuto conto di eventuali eccezioni conformemente agli articoli 18 capoversi 3 e 4.

Sezione 3: Definizioni e condizioni tecniche

Art. 22 Condizioni di riferimento

Le condizioni di riferimento per il fantoccio di cui all'articolo 23, nell'ambito di dose tra 2 e 10 mSv, sono definite per i campi di radiazioni seguenti:

- a. fotoni: sorgente di cesio 137;
- b. elettroni: sorgente di stronzio/ittrio 90;
- c. neutroni: sorgente di americio/berillio 90.

Art. 23 Definizione del fantoccio

¹ Il fantoccio per i dosimetri individuali e i dosimetri per il cristallino, con cui vengono misurate la dose superficiale individuale $H_p(0,07)$ e la dose profonda individuale $H_p(10)$, consiste in un recipiente a forma di parallelepipedo in polimetilmetacrilato (plexiglas) di dimensione $30 \times 30 \times 15$ cm³, con pareti dello spessore di 10 mm (anteriamente di 2,5 mm). Il recipiente è riempito d'acqua.

² L'autorità di vigilanza stabilisce nel singolo caso quale fantoccio deve essere utilizzato per i dosimetri per il cristallino, con cui viene misurato l'equivalente di dose individuale per il cristallino $H_p(3)$.

³ Il fantoccio per i dosimetri delle estremità consiste in una barra cilindrica in plexiglas con un diametro di 19 mm e una lunghezza di 300 mm.

Art. 24 Grandezze di misura

¹ Le grandezze operative per la dosimetria individuale devono essere ricavate mediante i coefficienti di conversione di cui all'allegato 10 dalle seguenti grandezze di misura:

- a. profilo del kerma nell'aria (K_a) per fotoni;

- b. dose assorbita nell'aria (D_a) o fluenza (Φ) per elettroni;
- c. fluenza (Φ) per neutroni.

² I sistemi di misura devono poter essere rapportati a standard nazionali attraverso le grandezze di cui al capoverso 1 lettere a–c.

Art. 25 Geometria di irradiazione per fotoni e neutroni

¹ Il campo di radiazioni deve essere centrato sul fantoccio e incidere perpendicolarmente ad esso.

² Il punto di riferimento è il centro del lato anteriore della superficie del fantoccio dietro il dosimetro.

³ Per le radiazioni fotoniche la distanza tra la sorgente e il fantoccio deve essere di almeno 2 m.

⁴ Il campo di radiazioni deve coprire l'intero fantoccio.

Art. 26 Geometria di irradiazione per la radiazione beta

¹ Il campo di radiazioni deve essere centrato sul fantoccio e incidere perpendicolarmente ad esso.

² Il punto di riferimento è il centro del lato anteriore della superficie del fantoccio dietro il dosimetro.

³ La distanza tra la sorgente e il fantoccio, per l'irradiazione di quest'ultimo, deve essere di almeno 20 cm e al massimo di 50 cm.

⁴ Il campo di radiazioni deve coprire l'intero fantoccio.

Art. 27 Campi di radiazioni di riferimento

I campi di radiazioni di riferimento di cui all'allegato 10 devono corrispondere alle norme ISO² 4037³ (radiazioni fotoniche), ISO 8529⁴ (radiazioni neutroniche) e ISO 6980⁵ (radiazioni beta).

Art. 28 Condizioni per la verifica della dipendenza energetica

La dipendenza energetica deve essere verificata irradiando il fantoccio perpendicolarmente secondo l'articolo 23 ad un livello di riferimento della grandezza di misura operativa tra 2 e 10 mSv.

Art. 29 Condizioni per la verifica della dipendenza angolare

La dipendenza angolare deve essere verificata irradiando il fantoccio secondo l'articolo 23 con incidenza a diversi angoli e ad un livello di riferimento della grandezza di misura operativa tra 2 e 10 mSv.

- 2 International Organization for Standardization.
Le norme tecniche ISO riportate in questa ordinanza possono essere consultate gratuitamente presso l'Ufficio federale della sanità pubblica, 3003 Berna oppure ottenute contro pagamento presso l'Associazione svizzera di normalizzazione, Bürglistrasse 29, 8400 Winterthur, www.snv.ch.
- 3 ISO 4037-1, edizione: 1996-12
Radiazioni X e gamma di riferimento per la taratura dei dosimetri e dei rateometri e per la determinazione della loro risposta in funzione dell'energia dei fotoni – Parte 1: Caratteristiche e metodi di produzione delle radiazioni.
ISO 4037-2, edizione: 1997-12
Radiazioni X e gamma di riferimento per la taratura dei dosimetri e dei rateometri e per la determinazione della loro risposta in funzione dell'energia dei fotoni – Parte 2: Dosimetria per la protezione dalle radiazioni nell'intervallo di energia da 8 keV a 1,3 MeV, e da 4 MeV a 9 MeV.
ISO 4037-3, edizione: 1999-06
Radiazioni X e gamma di riferimento per la taratura dei dosimetri e dei rateometri e per la determinazione della loro risposta in funzione dell'energia dei fotoni – Parte 3: Taratura dei dosimetri ambientali e individuali e misura della loro risposta in funzione dell'energia e dell'angolo di incidenza.
ISO 4037-4, edizione: 2004-10
Radiazioni X e gamma di riferimento per la taratura dei dosimetri e dei rateometri e per la determinazione della loro risposta in funzione dell'energia dei fotoni – Parte 4: Taratura dei dosimetri ambientali e individuali in campi di radiazione X di riferimento a bassa energia.
- 4 ISO 8529-1, edizione: 2001-02
Radiazioni neutroniche di riferimento – Parte 1: Caratteristiche e metodi di produzione.
ISO 8529-2, edizione: 2000-08
Radiazioni neutroniche di riferimento – Parte 2: Fondamenti per la taratura dei dispositivi di radioprotezione in relazione alle grandezze di base caratterizzanti il campo di radiazioni.
ISO 8529-3, edizione: 1998-11
Radiazioni neutroniche di riferimento – Parte 3: Taratura dei dosimetri ambientali ed individuali e determinazione della loro risposta in funzione dell'energia e dell'angolo d'incidenza dei neutroni.
- 5 ISO 6980, edizione: 1996-10
Radiazioni beta di riferimento per la taratura dei dosimetri e dei rateometri e per la determinazione della loro risposta in funzione dell'energia delle radiazioni beta.

Art. 30 Condizioni per la verifica della riproducibilità

La riproducibilità deve essere verificata nelle condizioni di riferimento. A questo fine dev'essere accertata la dispersione delle dosi, che è segnalata da diversi dosimetri irradiati in condizioni identiche.

Art. 31 Fading

L'effetto di fading sul livello di dose deve essere accertato in condizioni normali d'esercizio, durante un periodo di misura.

Art. 32 Arrotondamento dei livelli di dose

¹ I valori di misura in mSv devono essere arrotondati al primo decimale dai servizi di dosimetria individuale dopo deduzione del valore di fondo.

² In deroga a quanto sopra, per i dosimetri individuali utilizzati per le radiazioni fotoniche, nell'ambito di dose più basso ($< 0,1$ mSv) i valori misurati inferiori a 0,075 mSv devono essere arrotondati a 0. I valori misurati uguali o superiori a 0,075 mSv devono essere arrotondati a 0,1 mSv.

Capitolo 3: Irradiazione interna di persone**Sezione 1: Esecuzione della dosimetria****Art. 33** Sorveglianza dell'incorporazione

¹ La sorveglianza dell'incorporazione individuale consiste nella misurazione dell'attività accumulata nel corpo o dell'attività da esso espulsa.

² Il metodo di misurazione deve adempire i requisiti di cui all'allegato 15.

³ Se all'autorità di riconoscimento è apportata la prova che un altro metodo di misurazione o un altro intervallo di sorveglianza sono equivalenti o migliori rispetto a quelli menzionati nell'allegato 15, sono ammessi adeguamenti nelle misurazioni dell'incorporazione di cui all'articolo 34 capoverso 1 lettera b.

Art. 34 Procedura di misurazione

¹ La sorveglianza dell'incorporazione deve avvenire mediante:

- a. una misurazione di sondaggio eseguita dall'azienda secondo l'articolo 40;
- b. una misurazione dell'incorporazione con apparecchiature adeguate eseguita da un servizio di dosimetria individuale riconosciuto.

² I risultati della misurazione di sondaggio non sono utilizzati per l'accertamento della dose.

³ Se il risultato di una misurazione di sondaggio è superiore alla soglia di misura specifica del nuclide secondo l'allegato 15, deve essere eseguita una misurazione dell'incorporazione.

Art. 35 Intervalli di sorveglianza

¹ Gli intervalli di sorveglianza per determinati nuclidi sono fissati nell'allegato 15.

² Per i nuclidi che non sono contenuti nell'allegato 15 gli intervalli di sorveglianza devono essere scelti in modo che un'incorporazione avvenuta effettivamente all'inizio o al termine dell'intervallo, per quanto possibile, non sia sottovalutata o sopravvalutata di un fattore superiore a 3.

³ Per quanto concerne le sostanze radioattive con tempo di dimezzamento molto breve (< 1 giorno), la sorveglianza dell'incorporazione deve avvenire mediante frequenti misurazioni di sondaggio, per esempio ogni giorno lavorativo.

⁴ Se il periodo di lavoro in un'area controllata è più breve di un intervallo di sorveglianza per un nuclide ivi manipolato o per un nuclide rilevante per la dose incorporata, al termine del periodo di lavoro deve essere eseguita una misurazione di sondaggio.

Art. 36 Miscele di nuclidi

¹ Qualora si possa ammettere l'esistenza di una composizione immutata di nuclidi, si può limitare la misurazione dell'incorporazione a un nuclide guida.

² La determinazione della dose sulla base della misurazione del nuclide guida sorvegliato deve essere documentata.

Art. 37 Misurazione della concentrazione di attività nell'aria respirabile

Qualora ritenga in casi particolari che un controllo dell'incorporazione individuale sia inadeguato, l'autorità di vigilanza può permettere una misurazione della concentrazione di attività nell'aria respirabile.

Art. 38 Nuclidi speciali

Se per determinati nuclidi non ci sono servizi di misurazione dell'incorporazione riconosciuti, le autorità di vigilanza decidono con quali metodi di misura e con quale frequenza devono essere effettuati i relativi esami nonché i servizi cui affidarne l'esecuzione.

Art. 39 Accertamento della dose in caso di esposizione al radon

¹ In caso di esposizione al radon secondo l'articolo 51 capoverso 2 ORaP, l'accertamento della dose è eseguito da un servizio di dosimetria individuale riconosciuto per il radon o dal titolare della licenza mediante una misurazione del radon secondo l'articolo 159 capoverso 1 ORaP.

² L'accertamento della dose avviene secondo l'allegato 12.

³ L'autorità di vigilanza definisce il fattore di equilibrio (F), sentito il titolare della licenza.

⁴ Il titolare della licenza può, con il consenso dell'autorità di vigilanza, determinare e utilizzare autonomamente attraverso misurazioni adeguate un fattore di equilibrio (*F*).

Sezione 2:

Esecuzione di misurazioni di sondaggio e condizioni per il riconoscimento di servizi di misurazione dell'incorporazione

Art. 40 Misurazioni di sondaggio

¹ Negli apparecchi per le misurazioni di sondaggio di cui all'allegato 15, la soglia di misura specifica del nuclide deve essere stabilita mediante una calibrazione o una misurazione comparativa. Tale soglia deve essere verificata ogni tre anni.

² Devono essere documentate in direttive aziendali interne:

- a. la procedura scelta per le misurazioni di sondaggio, in particolare misurazione dell'intensità di dose, analisi dell'urina mediante misurazione a scintillazione liquida, misurazione della tiroide;
- b. la calibrazione;
- c. le misure di garanzia della qualità.

³ I risultati delle misurazioni di sondaggio devono essere messi a verbale individualmente.

Art. 41 Riconoscimento dei servizi di misurazione dell'incorporazione

¹ Il riconoscimento di un servizio di misurazione dell'incorporazione di cui agli articoli 66–68 ORaP avviene per nuclidi definiti.

² Nell'analisi dell'escreto devono poter essere determinate le attività, rispettivamente le concentrazioni di attività tra 10 e 100 volte il valore della soglia di misura di cui all'allegato 15, con una deviazione massima dal livello di riferimento del 20 per cento.

³ Per le misurazioni dirette deve poter essere determinata in un fantoccio approvato dall'autorità di riconoscimento l'attività il cui valore si situa tra la soglia di misura di cui all'allegato 15 e 100 volte il suo valore. Il valore di misura in questo ambito può deviare dal livello di riferimento al massimo del 20 per cento.

⁴ I sistemi di misurazione devono corrispondere allo stato della tecnica e devono essere riconducibili a campioni di riferimento appropriati attraverso una catena ininterrotta di misurazioni comparative.

Sezione 3: Modelli standard per i calcoli

Art. 42

¹ Il calcolo degli standard delle dosi efficaci impegnate deve essere eseguito secondo l'allegato 11.

² I dati specifici relativi ai nuclidi da utilizzare per i calcoli sono menzionati nell'allegato 15.

³ Per il calcolo della dose nell'esercizio ordinario si assume che il momento dell'incorporazione si situi a metà dell'intervallo di sorveglianza. Se si conosce il momento dell'incorporazione se ne tiene conto al momento del calcolo.

⁴ Se è dimostrato che il materiale radioattivo nella forma impiegata presenta un metabolismo nel corpo che deroga dal modello standard, d'intesa con l'autorità di riconoscimento va utilizzato un modello che descriva meglio il caso in questione.

Capitolo 4: Dosimetria ambientale

Sezione 1: Definizioni generali e prescrizioni

Art. 43 Scopo della dosimetria ambientale

Con l'ausilio della dosimetria ambientale si deve determinare la dose ambientale rispettivamente l'intensità di dose ambientale all'esterno delle aziende per:

- a. la prova della radiazione diretta e della radiazione riflessa o diffusa (p. es. *skyshine*) proveniente dalle aziende;
- b. la prova delle deviazioni dal valore naturale di fondo determinate da sostanze radioattive;
- c. l'accertamento di informazioni supplementari su campi di radiazioni e sulla ripartizione della dose dopo incidenti.

Art. 44 Sistemi di dosimetria per l'esecuzione della dosimetria ambientale

¹ I sistemi di dosimetria ambientale sono suddivisi in quattro tipi:

- a. Tipo 1: dosimetri passivi fissi con un tempo d'esposizione di norma di almeno un mese;
- b. Tipo 2: apparecchi di misurazione dell'intensità di dose fissi con trasmissione automatica dei valori misurati;
- c. Tipo 3: apparecchi di misurazione dell'intensità di dose mobili;
- d. Tipo 4: sistemi di misurazione della spettrometria con algoritmo di analisi per l'intensità di dose.

² L'equivalente di dose ambientale $H^*(10)$ è la grandezza dosimetrica da accertare mediante i sistemi di dosimetria ambientale. La riferibilità dei sistemi di misura a standard nazionali deve avvenire conformemente all'allegato 14:

- a. per fotoni: kerma in aria (K_a);
- b. per neutroni: fluenza (Φ).

Art. 45 Garanzia della qualità

¹ Dev'essere predisposto un programma di garanzia della qualità per i sistemi di misurazione.

² La calibrazione dev'essere riconducibile a standard nazionali.

³ La verifica della stabilità di misurazione dei sistemi di dosimetria ambientale di tipo 2 e 3 è retta dall'articolo 15 dell'ordinanza del DFGP del 7 dicembre 2012⁶ sugli strumenti di misurazione delle radiazioni ionizzanti (OSMRI).

⁴ L'accertamento dell'intensità di dose ambientale mediante sistemi di dosimetria ambientale di tipo 4 dev'essere verificato in forma sperimentale.

Art. 46 Misurazioni comparative e controlli

¹ Nell'ambito delle misurazioni comparative dei sistemi di tipo 1 dev'essere verificata la precisione di misura alle condizioni di riferimento. Tali misurazioni sono eseguite regolarmente.

² Se i livelli di dose accertati nell'ambito delle misurazioni comparative e dei controlli alle condizioni di riferimento secondo l'articolo 47 divergono del 20 per cento dal livello di riferimento, l'operatore del sistema di dosimetria ambientale deve stabilire le cause e adottare le misure correttive, per esempio eseguendo una nuova calibrazione.

³ Se nell'ambito delle misurazioni comparative sono eseguiti test complementari, devono essere adempiti i requisiti di cui all'allegato 13.

⁴ Anche i sistemi di tipo 4 devono essere verificati nell'ambito delle misurazioni comparative.

Sezione 2: Prescrizioni tecniche

Art. 47 Condizioni di riferimento

¹ Per le irradiazioni di riferimento con fotoni e neutroni devono essere utilizzati i campi di radiazioni prescritti per la taratura secondo l'OSMRI⁷.

² Le condizioni di irradiazione devono essere conformi alle prescrizioni della OSMRI.

³ Per i sistemi di tipo 1 l'irradiazione deve avvenire con una dose tra 0,5 e 5 mSv, per i sistemi di tipo 2 e 3 con un'intensità di dose tra 0,1 e 10 mSv/h.

⁶ RS 941.210.5

⁷ RS 941.210.5

Art. 48 Requisiti tecnici

¹ I sistemi di dosimetria ambientale devono essere conformi allo stato della tecnica e adempire i requisiti di cui all'allegato 13.

² Per l'accertamento della dose è permessa l'applicazione di un fattore di normalizzazione relativo alle condizioni di riferimento, se i dosimetri sono installati in un campo di radiazioni conosciuto che si differenzia sensibilmente dal campo di radiazioni di riferimento.

³ Per quanto concerne la dipendenza energetica, sono concesse deroghe ai requisiti di cui all'allegato 13, a condizione che il sistema di dosimetria sia impiegato in campi di radiazioni che forniscono un contributo di dose significativo solo in un intervallo di energia parziale.

Capitolo 5: Disposizioni finali**Art. 49** Abrogazione di un altro atto normativo

L'ordinanza del 7 ottobre 1999⁸ sulla dosimetria è abrogata.

Art. 50 Entrata in vigore

La presente ordinanza entra in vigore il 1° gennaio 2018.

⁸ [RU 2000 804, 2007 5699]

Allegato 1
(art. 2)

Definizioni

Premessa

I termini sono elencati in ordine alfabetico.

Incorporazione cronica

Assorbimento cronico nell'organismo umano per ingestione, inalazione o penetrazione percutanea di sostanze radioattive.

Fading

Differenza relativa, espressa in unità percentuali del livello di riferimento (%/mese) tra il valore misurato e quello di riferimento in funzione del lasso di tempo tra l'irradiazione e la valutazione.

Fattore di equilibrio F

Il fattore di equilibrio F è dato dal rapporto tra la concentrazione di attività del radon equivalente all'equilibrio e la reale concentrazione di attività del radon.

Per Rn-222 il fattore di equilibrio è 1, se la totalità dei prodotti di decadimento del radon si trovano nell'aria (e non si verifica quindi l'effetto plate-out). Il fattore di equilibrio scende invece attorno allo zero, se tutti i prodotti di decadimento del radon vengono eliminati continuamente dall'aria (attraverso l'effetto plate-out ottenuto per esempio con i sistemi per la depurazione dell'aria). Negli edifici si presume in genere un fattore di equilibrio $F = 0,4$.

Fluenza

La fluenza in un punto incluso in un campo di radiazioni è pari al numero di particelle entranti in una piccola sfera centrata nel punto diviso per l'area del cerchio di raggio pari a quello della sfera (cm⁻²).

Misurazione dell'incorporazione

Determinazione della dose efficace impegnata E_{50} , sulla base della misurazione dell'attività corporea o di quella escreta.

Kerma

Il kerma in un punto nella materia è pari alla somma delle energie cinetiche delle particelle ionizzanti cariche prodotte dalle radiazioni ionizzanti neutre, per unità di massa (**kinetic energy released in material**) (J/kg, Gy).

Misurazione di sondaggio

Procedimento di misurazione volto a rilevare incorporazioni, effettuato senza stabilire la dose efficace corrispondente.

Nuclide guida

Nuclide rappresentativo di una miscela di nuclidi per quanto riguarda la determinazione della dose.

Tempo di dimezzamento effettivo

Il tempo di dimezzamento *effettivo* è calcolato a partire dal tempo di dimezzamento *biologico* e da quello *fisico* di un radionuclide secondo la relazione:

$$T_{\frac{1}{2} \text{ eff}} = \frac{T_{\frac{1}{2} \text{ biol}} \cdot T_{\frac{1}{2} \text{ fisico}}}{T_{\frac{1}{2} \text{ biol}} + T_{\frac{1}{2} \text{ fisico}}}$$

Allegato 2
(art. 17)

Requisiti per le condizioni ordinarie dei dosimetri individuali per radiazioni fotoniche

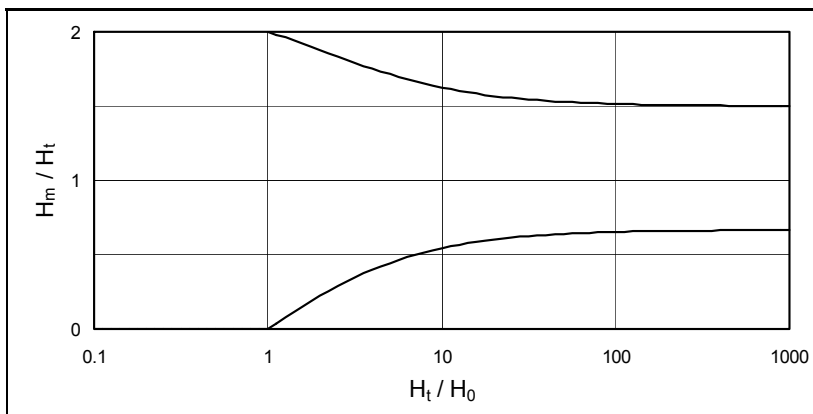
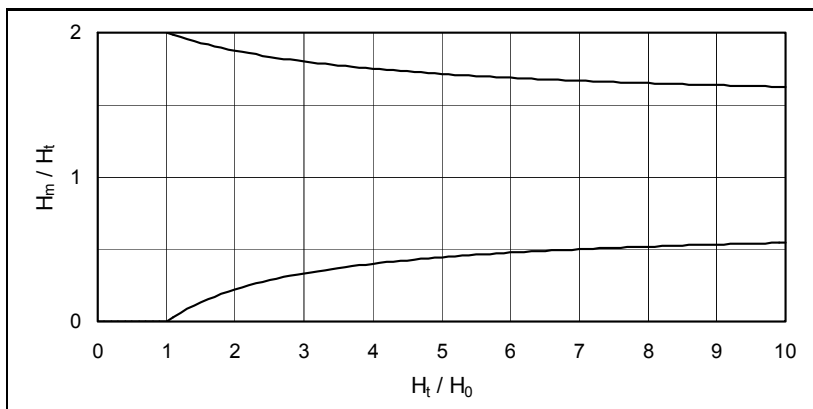
per $H_t \leq H_0$: $0 \leq H_m \leq 2H_0$

per $H_t > H_0$: $\frac{1}{1.5} \left(1 - \frac{2H_0}{H_0 + H_t} \right) \leq H_m / H_t \leq 1.5 \left(1 + \frac{H_0}{2H_0 + H_t} \right)$

H_t è il livello di riferimento della grandezza operativa

H_m è il livello di dose determinato in condizioni di misurazione ordinarie

H_0 è la dose minima che deve essere misurabile (cfr. allegati 3, 6 e 8)



Allegato 3
(art. 18 e 21 cpv. 3)

Requisiti di un dosimetro individuale per radiazioni fotoniche

- a. Grandezze di misura
 $H_p(10)$ e $H_p(0,07)$
- b. Dose minima che deve essere misurabile
 $H_0 = 0,1$ mSv per $H_p(10)$
 $H_0 = 1$ mSv per $H_p(0,07)$
- c. Campo di misura
 H_0 fino a 5 Sv
- d. Linearità
Deviazione < 15 % tra 1 mSv e 5 Sv
- e. Dipendenza energetica
Per radiazione fotonica compresa tra 20 keV e 5 MeV

$$0,7 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,3 \quad \text{per } H_p(10)$$

Per radiazione fotonica compresa tra 10 keV e 300 keV; fino a 5 MeV in condizioni di equilibrio degli elettroni secondari

$$0,7 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,3 \quad \text{per } H_p(0,07)$$

- f. Dipendenza angolare
< 20 % fino a 60° per energie > 60 keV
- g. Riproducibilità
Deviazione standard $s \leq 10$ % per $H_p(10)$ e $H_p(0,07)$
- h. Fading
Effetto < 10 %/mese

Allegato 4
(art. 18 e 21 cpv. 3)

Requisiti di un dosimetro individuale per radiazioni beta

- a. Grandezza di misura
 $H_p(0,07)$
- b. Dose minima che deve essere misurabile
 $H_0 = 1 \text{ mSv}$
- c. Campo di misura
 H_0 fino a 5 Sv
- d. Linearità
Deviazione < 15 % tra 1 mSv e 5 Sv
- e. Dipendenza energetica
Per la radiazione beta del tallio-204 o del kripton-85:

$$0,1 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 2,0$$

Nel caso in cui il sistema sia calibrato mediante radiazione fotonica, si applica la condizione aggiuntiva seguente per la radiazione beta dello stronzio-90/ittrio-90:

$$0,5 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 2,0$$

- f. Riproducibilità
Deviazione standard $s \leq 10 \%$
- g. Fading
Effetto < 10 %/mese

Allegato 5
(art. 18 e 21 cpv. 3)

Requisiti di un dosimetro individuale per radiazioni neutroniche

- a. Grandezza di misura
 $H_p(10)$
- b. Dose minima che deve essere misurabile
 $H_0 = 0,5 \text{ mSv}$
- c. Campo di misura
 H_0 fino a 5 Sv
- d. Linearità
Deviazione < 30 % tra 1 mSv e 5 Sv
- e. Dipendenza energetica

$$0,3 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 3,0$$

per gli spettri di radiazione per i quali è utilizzato il dosimetro.

- f. Riproducibilità
Deviazione standard $s \leq 50 \%$
- g. Fading
Effetto < 30 %/mese

Allegato 6
(art. 18 e 21 cpv. 3)

Requisiti di un dosimetro per le estremità per radiazioni fotoniche

- a. Grandezza di misura
 $H_p(0,07)$
- b. Dose minima che deve essere misurabile
 $H_0 = 1 \text{ mSv}$
- c. Campo di misura
 H_0 fino a 5 Sv
- d. Linearità
Deviazione < 15 % tra [1 mSv e 5 Sv]
- e. Dipendenza energetica
Per fotoni di energia compresa tra 10 keV e 300 keV; fino a 1,5 MeV in condizioni di equilibrio degli elettroni secondari

$$0,5 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 2,0$$

- f. Dipendenza angolare
< 20 % fino a 60° per energie > 60 keV
- g. Riproducibilità
Deviazione standard $s \leq 15 \%$
- h. Fading
Effetto < 10 %/mese

Allegato 7
(art. 18 e 21 cpv. 3)

Requisiti di un dosimetro per le estremità per radiazioni beta

- a. Grandezza di misura
 $H_p(0,07)$
- b. Dose minima che deve essere misurabile
 $H_0 = 1 \text{ mSv}$
- c. Campo di misura
 H_0 fino a 5 Sv
- d. Linearità
Deviazione $< 15 \%$ tra 1 mSv e 5 Sv
- e. Dipendenza energetica
Per la radiazione beta del tallio-204 o del kripton-85:

$$0,1 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 2,0$$

Nel caso in cui il sistema sia calibrato mediante radiazione fotonica, si applica la condizione aggiuntiva seguente per la radiazione beta dello stronzio-90/ ittrio-90:

$$0,5 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 2,0$$

- f. Riproducibilità
Deviazione standard $s \leq 15 \%$
- g. Fading
Effetto $< 10 \%$ /mese

Allegato 8
(art. 18 e 21)

Requisiti di un dosimetro per il cristallino per radiazioni fotoniche

- a. Grandezza di misura
 $H_p(0,07)$ o $H_p(3)$
- b. Dose minima che deve essere misurabile
 $H_0 = 1 \text{ mSv}$
- c. Campo di misura
 H_0 fino a 5 Sv
- d. Linearità
Deviazione < 15 % tra 1 mSv e 5 Sv
- e. Dipendenza energetica
Per fotoni di energia compresa tra 10 keV e 300 keV; fino a 1,5 MeV in condizioni di equilibrio degli elettroni secondari

$$0,5 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 2,0$$

- f. Dipendenza angolare
< 20 % fino a 60° per energie > 60 keV
- g. Riproducibilità
Deviazione standard $s \leq 15 \%$
- h. Fading
Effetto < 10 %/mese

Allegato 9
(art. 18 e 21)

Requisiti di un dosimetro per il cristallino per radiazioni beta

- a. Grandezza di misura
 $H_p(0,07)$ o $H_p(3)$
- b. Dose minima che deve essere misurabile
 $H_0 = 1 \text{ mSv}$
- c. Campo di misura
 H_0 fino a 5 Sv
- d. Linearità
Deviazione $< 15 \%$ tra 1 mSv e 5 Sv
- e. Dipendenza energetica
Per la radiazione beta del tallio-204 o del kripton-85:

$$0,1 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 2,0$$

Nel caso in cui il sistema sia calibrato mediante radiazione fotonica, si applica la condizione aggiuntiva seguente per la radiazione beta dello stronzio-90/ittrio-90:

$$0,5 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 2,0$$

- f. Riproducibilità
Deviazione standard $s \leq 15 \%$
- g. Fading
Effetto $< 10 \%$ /mese

Allegato 10
(art. 24 e 27)

Coefficienti di conversione per la dosimetria individuale

a. Coefficienti di conversione per fotoni

Coefficienti di conversione da kerma in aria a dose profonda individuale $H_p(10)$ e a dose superficiale individuale $H_p(0,07)$ applicabili ad un dosimetro individuale posizionato su un fantoccio a forma di parallelepipedo (art. 23)

Qualità/ Sorgente	Energia media (keV)	Coefficienti di conversione (Sv/Gy)									
		$h_p(10; \alpha)$ per un angolo α di					$h_p(0,07; \alpha)$ per un angolo α di				
		0°	15°	30°	45°	60°	0°	15°	30°	45°	60°
N-15	12						0,96	0,95	0,95	0,95	0,93
N-20	16						0,98	0,98	0,98	0,98	0,97
N-25	20	0,55	0,54	0,50	0,41	0,28	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02
N-30	24	0,79	0,77	0,74	0,65	0,49	1,10	1,10	1,10	1,09	1,07
N-40	33	1,17	1,15	1,12	1,02	0,85	1,27	1,26	1,26	1,23	1,19
N-60	48	1,65	1,63	1,59	1,47	1,27	1,55	1,54	1,53	1,49	1,42
Am-241	59	1,89	1,87	1,83	1,72	1,50	1,72	1,71	1,69	1,65	1,57
N-80	65	1,88	1,86	1,83	1,71	1,50	1,72	1,70	1,70	1,65	1,58
N-100	83	1,88	1,87	1,82	1,73	1,53	1,72	1,70	1,70	1,66	1,60
N-120	100	1,81	1,79	1,76	1,68	1,51	1,67	1,66	1,65	1,62	1,58
N-150	118	1,73	1,71	1,68	1,61	1,46	1,61	1,60	1,60	1,58	1,54
N-200	164	1,57	1,56	1,55	1,49	1,38	1,49	1,49	1,49	1,49	1,46
N-250	208	1,48	1,48	1,47	1,42	1,33	1,42	1,42	1,42	1,43	1,43
N-300	250	1,42	1,42	1,41	1,38	1,30	1,38	1,38	1,38	1,40	1,40
Cs-137	662	1,21	1,22	1,22	1,22	1,19	1,21	1,21	1,22	1,23	1,26
Co-60	1250	1,15	1,15	1,15	1,16	1,14	1,15	1,15	1,15	1,16	1,14
Ti (Target)	5140	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11

Bibliografia: ICRP 74¹, ISO 4037-3².

¹ International Commission on Radiological Protection, www.icrp.org

² International Organization for Standardization, www.iso.org

Coefficienti di conversione da kerma in aria a dose superficiale individuale $H_p(0,07)$ applicabili ad un dosimetro per estremità posizionato su un fantoccio a forma di barra cilindrica in plexiglas ISO in PMMA (art. 23)

Qualità	Energia media (keV)	Coefficienti di conversione $h_p(0,07)$ (Sv/Gy)
N-15	12	0,95
N-20	16	0,98
N-25	20	1,00
N-30	24	1,03
N-40	33	1,07
N-60	48	1,11
Am-241	59	1,14
N-80	65	1,15
N-100	83	1,17
N-120	100	1,17
N-150	118	1,17
N-200	164	1,16
N-250	208	1,15
N-300	250	1,14
Cs-137	662	1,12

Bibliografia: ISO 4037-3, Grosswendt, Radiat. Prot. Dosim. 59 (1995), 165–179.

b. Coefficienti di conversione per neutroni

Coefficienti di conversione $h_p\phi(10; \alpha)$ da fluenza neutronica ϕ a dose profonda individuale $H_p(10)$ applicabile a un dosimetro individuale posizionato su un fantoccio a forma di parallelepipedo (art. 23)

Sorgente di neutroni/ Energia dei neutroni (MeV)	$h_p\phi(10; \alpha)$ in pSv·cm ² per un angolo α di				
	0°	15°	30°	45°	60°
²⁵² Cf (D ₂ O-moderato)	110	109	109	102	87,4
²⁵² Cf	400	397	409	389	346
²⁴¹ Am-Be (α , n)	411	409	424	415	383
Neutroni termici	11,4	10,6	9,11	6,61	4,04
0,024	20,2	19,9	17,2	13,6	7,85
0,144	134	131	121	102	69,9
0,250	215	214	201	173	125
0,57	355	349	347	313	245
1,2	433	427	440	412	355
2,5	437	434	454	441	410
2,8	433	431	451	441	412
3,2	429	427	447	439	412
5,0	420	418	437	435	409
14,8	561	563	581	572	576
19,0	600	596	621	614	620
30	515	515	515	515	515
50	400	400	400	400	400
75	330	330	330	330	330
100	285	285	285	285	285

Bibliografia: ISO 8529-3, ICRP 74.

Spiegazione:

I valori superiori a 30 MeV devono essere considerati come identici ai coefficienti di conversione per la determinazione di $H^*(10)$.

c. Coefficienti di conversione per elettroni

Energia (MeV)	Coefficiente di conversione $H_p(0,07)/\Phi$ (nSv·cm²)
0,10	1,661
0,15	1,229
0,20	0,834
0,30	0,542
0,40	0,455
0,50	0,403
0,60	0,366
0,70	0,344
0,80	0,329
1,00	0,312
1,50	0,287
2,00	0,279
2,50	0,278
3,00	0,276

Bibliografia: ICRP 74.

d. Coefficienti di conversione specifici per sorgenti beta standard di uso comune

Sorgente	Coefficiente di conversione $H_p(0,07)/D_a$ (Sv/Gy)
Stronzio/ittrio-90	1,24
Tallio-204	1,20
Krypton-85	1,16
Promezio-147	0,23

Bibliografia: comunicazione NPL¹.

¹ National Physical Laboratory, www.npl.co.uk

Allegato 11
(art. 42)

Interpretazione di una misurazione dell'incorporazione

Per l'interpretazione in situazioni normali, si suppone che l'incorporazione sia dovuta a inalazione. La dose efficace impegnata E_{50} , grandezza dosimetrica operativa in caso di incorporazione, si ottiene moltiplicando l'attività incorporata I per la grandezza di apprezzamento e_{inal} (cfr. allegato 3 ORaP):

$$E_{50} = e_{\text{inh}} \cdot I \quad (1)$$

La frazione di attività che si trova al tempo t dopo incorporazione per inalazione, in un organo o escreto, è data dalla funzione $m(t)$:

$$M(t) = I \cdot m(t) \quad (2)$$

dove $M(t)$ è l'attività nell'organo o escreto (valore misurato). La dose efficace impegnata E_{50} si ottiene così da $M(t)$:

$$E_{50} = e_{\text{inh}} \cdot I = e_{\text{inh}} \frac{M(t)}{m(t)} = M(t) \cdot \frac{e_{\text{inh}}}{m(t)} \quad (3)$$

Quando è noto l'intervallo di tempo t tra il momento dell'incorporazione e quello della misurazione, la dose efficace impegnata E_{50} si calcola partendo da $M(t)$ con la formula (3).

Al momento del controllo di routine, si presuppone che l'incorporazione abbia avuto luogo a metà dell'intervallo T tra 2 misure (cosicché $t = T/2$). La dose efficace impegnata E_{50} si ottiene dalla grandezza di misura M e dai valori tabulati di $e_{\text{inal}}/m(t)$ nonché dalla seguente relazione:

$$E_{50} = e_{\text{inh}} \cdot \frac{M(t)}{m(T/2)} = M(t) \cdot \frac{e_{\text{inh}}}{m(T/2)} \quad (4)$$

Qualora si abbia un'incorporazione nettamente superiore al limite di rivelazione e il tempo di dimezzamento sia paragonabile o superiore ad un intervallo di sorveglianza, tale incorporazione avrà un'incidenza sulle misure successive. In tal caso dovrà essere calcolato e sottratto il contributo delle incorporazioni precedenti la misurazione in corso. Tale correzione è calcolata per estrapolazione dell'incorporazione precedente I_a al momento della nuova misurazione, mediante il fattore $m(\Delta t)$. Δt è l'intervallo di tempo tra il momento (presunto) dell'incorporazione precedente e quello della nuova misurazione. Il contributo M_n alla nuova misura $M(t)$, proveniente dalla nuova incorporazione è calcolato mediante il valore M_a della misura precedente come segue:

$$M_n(t) = M(t) - I_a \cdot m(\Delta t) = M(t) - \frac{M_a}{m(T/2)} \cdot m(\Delta t) \quad (5)$$

La dose efficace impegnata E_{50}^n data dalla nuova incorporazione si calcola mediante la formula (4) come segue:

$$E_{50}^n = M_n(t) \cdot \frac{e_{inh}}{m(T/2)} = M(t) \cdot \frac{e_{inh}}{m(T/2)} - M_a \cdot \frac{e_{inh}}{m(T/2)} \cdot \frac{m(\Delta t)}{m(T/2)} \quad (6)$$

o mediante la dose efficace impegnata E_{50}^a dovuta all'incorporazione precedente:

$$E_{50}^n = M(t) \cdot \frac{e_{inh}}{m(T/2)} - E_{50}^a \cdot \frac{m(\Delta t)}{m(T/2)} = M(t) \cdot \frac{e_{inh}}{m(T/2)} - E_{50}^a \cdot k(\Delta t) \quad (7)$$

Nel caso di controlli di routine, i fattori

$$k(\Delta t) = m(\Delta t) / m(T/2) \quad (8)$$

possono essere calcolati dai valori di $m(t)$. Il lasso di tempo Δt è pari a $(n+1/2)T$, dove n è il numero degli intervalli che separano il momento dell'incorporazione da quello della misura. I valori $m(t)$ si trovano nella pubblicazione 78 dell'ICRP, sotto forma di tabelle e grafici. Nel caso in cui $\Delta t = 3 \cdot T/2$ i valori $k(\Delta t)$ figurano nell'allegato 15. In pratica si terrà conto di tali correzioni solo se esse risultano superiori del 10 per cento rispetto alla dose ottenuta.

Nelle situazioni pratiche in cui si può supporre che l'incorporazione sia cronica (p. es. H3, I-125), si utilizzeranno i fattori previsti per questo caso dati nell'allegato 15.

Allegato 12
(art. 39)

Accertamento delle dosi conseguente a un'esposizione al radon

Se il valore soglia di 1000 Bq/m³ di cui all'articolo 156 ORaP viene superato in un luogo di lavoro, la dose efficace (*E*) annua del personale deve essere accertata come segue:

$E = F \cdot c_B \cdot JIRK$

E:

dose efficace in mSv all'anno

F:

fattore di equilibrio

c_B:

fattore di conversione della dose; per una concentrazione di radon in equilibrio (fattore di equilibrio *F* = 1) questo è di 1,87×10⁻⁵ mSv/(Bqh/m³). La rispettiva conversione viene effettuata in base al coefficiente di rischio nominale per un'esposizione al radon di una persona sul luogo di lavoro della pubblicazione ICRP 115 (2010) e in base al coefficiente di rischio totale di cancro e di effetti ereditari contenuto nella pubblicazione ICRP 103 (2007).

JIRK:

concentrazione di radon integrata all'anno nel corso della permanenza effettiva di una persona in un luogo di lavoro esposto al radon (in Bqh/m³).

Esempio:

Esempio di dose efficace impegnata (*E*) accumulata in un anno da una persona esposta per 100 ore all'anno a una concentrazione di radon di 10 000 Bq/m³ in un luogo di lavoro esposto al radon:

$JIRK = 10\,000\text{ Bq/m}^3 \cdot 100\text{ h} = 1\,000\,000\text{ Bqh/m}^3\text{ all'anno}$

$E = F \cdot 1,87\text{ mSv/Bqh/m}^3 \cdot 10^{-5} \cdot 1\,000\,000\text{ Bqh/m}^3\text{ all'anno}$

Fattore di equilibrio	Dose efficace impegnata [mSv all'anno]
<i>F</i> = 0,1	1,9
<i>F</i> = 0,2	3,7
<i>F</i> = 0,4	7,5
<i>F</i> = 0,8	15

Allegato 13
(art. 46 e 48)

Requisiti dei sistemi di dosimetria ambientale

Tipo 1

1 Radiazioni fotoniche

- a. Grandezza di misura
 $H^*(10)$
- b. Campo di misura
0,05 mSv fino a 100 mSv
- c. Linearità
Deviazione < 15 % tra 0,1 mSv e 100 mSv
- d. Dipendenza energetica
Deviazione < 30 % tra 50 keV e 5 MeV
- e. Dipendenza angolare
Deviazione < 20 % per energie > 50 keV
- f. Riproducibilità
Deviazione standard s < 10 %
- g. Fading
Effetto < 20 % / periodo di esposizione

2 Radiazioni neutroniche

- a. Grandezza di misura
 $H^*(10)$
- b. Campo di misura
0,05 mSv fino a 10 mSv
- c. Linearità
Deviazione < 30 % tra 0,1 mSv e 10 mSv
- d. Dipendenza energetica
Deviazione < fattore 2 per gli spettri di radiazione per i quali è utilizzato il dosimetro
- e. Riproducibilità
Deviazione standard s < 30 %
- f. Fading
Effetto < 20 % / periodo di esposizione

Tipo 4**Radiazioni fotoniche**

- a. Grandezza di misura
 $H^*(10)$
- b. Campo di misura
50 nSv/h fino a 10 μ Sv/h

Allegato 14
(art. 44)

Coefficienti di conversione per la dosimetria ambientale

a. Coefficienti di conversione per fotoni

Coefficienti di conversione di kerma in aria in equivalente di dose ambientale
 $H^*(10)$

Sorgente Qualità	Energia media (keV)	$h^*(10)$ (Sv/Gy)
N – 60	48	1,59
Am – 241	59	1,74
N – 80	65	1,73
N – 100	83	1,71
N – 120	100	1,64
N – 150	118	1,58
N – 200	164	1,46
N – 250	208	1,39
N – 300	250	1,35
Cs – 137	662	1,20
Co – 60	1250	1,16
Ti (Target)	5140	1,11

Riferimenti: ICRP 74, ISO 4037-3

b. Coefficienti di conversione per neutroni

Coefficienti di conversione $h^*\Phi(10)$ per la conversione della fluenza per neutroni Φ in equivalente di dose ambientale $H^*(10)$

Sorgente di neutroni/Energia dei neutroni (MeV)	$h^*\Phi(10)$ pSv·cm ²
²⁵² Cf (D ₂ O- moderato)	105
²⁵² Cf	385
²⁴¹ Am-Be (α , n)	391
Neutroni termici	10,6
0,024	19,3
0,144	127
0,250	203
0,57	343
1,2	425
2,5	416
2,8	413
3,2	411
5,0	405
14,8	536
19	584
30	515
50	400
75	330
100	285
150	245
200	260

Riferimenti: ISO 8529-3, ICRP 74.

Allegato 15
(art. 6, 33, 34, 35 e 40–42)

Schede caratteristiche specifiche dei radionuclidi

A Panoramica delle schede

Elenco dei radionuclidi:

1. H-3 sotto forma di acqua triziata HTO
2. C-11
3. C-14
4. O-15
5. F-18
6. P-32
7. P-33
8. S-35
9. Ca-45
10. Cr-51
11. Fe-59
12. Co-57
13. Co-58
14. Co-60
15. Zn-65
16. Ga-67
17. Ga-68
18. Sr-85
19. Sr-89
20. Sr-90
21. Y-90
22. Tc-99m
23. In-111
24. I-123
25. I-124
26. I-125
27. I-131
28. Ba-133

Elenco dei radionuclidi:

- 29. Cs-134
 - 30. Cs-137
 - 31. Eu-152
 - 32. Sm-153
 - 33. Eu-154
 - 34. Er-169
 - 35. Lu-177
 - 36. Re-186
 - 37. Re-188
 - 38. Tl-201
 - 39. Ra-223
 - 40. Ra-226
 - 41. Th-232
 - 42. U-235
 - 43. U-238
 - 44. Np-237
 - 45. Pu-239
 - 46. Am-241
-

B Schede

1. H-3 sotto forma di acqua triziata HTO

1.1 Metabolismo

Il trizio, sotto forma di idrossido (acqua triziata), può essere incorporato per inalazione, ingestione o assorbimento percutaneo. Il 97 % del trizio si ricombina velocemente con l'acqua corporea e viene eliminato, principalmente sotto forma di urina, con un tempo di dimezzamento di 10 giorni. Il rimanente 3 % si fissa a livello organico e viene eliminato con un tempo di dimezzamento di 40 giorni. Per questo motivo l'irradiazione in pratica è proporzionale alla concentrazione di trizio nelle urine. I lavoratori che manipolano vernici luminescenti o lancette o quadranti di orologi rivestiti con esse sono esposti ad una incorporazione cronica di trizio. In questo caso si stabilisce nei liquidi corporei e quindi nelle urine un regime di equilibrio e la dose deve essere calcolata mediante un modello di incorporazione cronica.

1.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta di un campione di urina mediante contatore a scintillazione liquida.

Soglia di misura: 42 000 Bq/l

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione della concentrazione C_u di H-3 nelle urine, in Bq/l mediante contatore a scintillazione liquida.

1.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} : 30 giorni	T _{misura} : 30 giorni	tevento: 1 giorno
------------------------------------	---------------------------------	-------------------

1.4 Correzione in caso di incorporazione antecedente

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,78 \times 10^{-9}$
C _u : Risultato della misura in Bq/l	2	$0,86 \times 10^{-9}$
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$0,90 \times 10^{-9}$
m(t): Frazione escreta nelle urine giornalmente (= 1,4 l) in l ⁻¹	4	$0,95 \times 10^{-9}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$1,1 \times 10^{-9}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume t = T/2	6	$1,1 \times 10^{-9}$
	7	$1,2 \times 10^{-9}$
Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni	15	$2,0 \times 10^{-9}$
	30	$5,3 \times 10^{-9}$
	45	13×10^{-9}

1.5 Interpretazione in caso di incorporazione cronica

Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni: $E_{50} = C_u \cdot 1,4 \cdot 10^{-9}$ (Sv per intervallo di sorveglianza)
--

2. C-11

2.1 Metabolismo

A causa della sua breve durata di vita (tempo di dimezzamento 20,38 min.), prima di essere eliminato questo nuclide decade in gran parte completamente nel corpo. Il carbonio-11 inalato o ingerito causa inoltre il contributo di dose più elevato nei polmoni (inalazione) o nel tratto gastro-intestinale (ingestione).

2.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio (obbligatoria)

Misurazione diretta della radiazione a livello dello stomaco/dell'addome almeno ogni 4 ore o sorveglianza continua dell'aria (4000 Bq/m³) e misurazione diretta della radiazione a livello dello stomaco/dell'addome dopo ogni allarme.

Soglia di misura: 1 µSv/h a livello dello stomaco

Misurazione dell'incorporazione

A causa del breve tempo di dimezzamento fisico, una misurazione dell'incorporazione non è possibile.

2.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

Tsondaggio:	4 ore	Tmisura:	—	tevento:	immediatamente
-------------	-------	----------	---	----------	----------------

2.4 Interpretazione

Se la soglia di misura è superata, occorre che un perito, d'intesa con l'autorità di vigilanza, verifichi e interpreti i dati per determinare la dose efficace impegnata E₅₀.

3. C-14

3.1 Metabolismo

Il modello standard è stato sviluppato per composti del carbonio che vengono metabolizzati o utilizzati come sorgente energetica (carbonio alimentare). Si assume che tali composti, in caso di inalazione, siano assorbiti al 100 % dall'organismo e che si ripartiscano uniformemente nel corpo attraverso il sistema circolatorio. Essi vengono in seguito eliminati attraverso le urine in misura pari all'1,7 % con un tempo di dimezzamento biologico di 40 giorni. Molti dei composti organici marcati con carbonio-14 non sono assorbiti dall'organismo e sono eliminati, principalmente per via urinaria, con tempi di dimezzamento biologici dell'ordine di ore o di giorni.

3.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio (obbligatoria, tranne che per il carbonio alimentare)
Misurazione diretta di un campione di urina mediante contatore a scintillazione liquida.
Soglia di misura: 200 Bq/l
Quando la soglia di misura viene superata si eseguono misurazioni giornaliere. È obbligatoria una misurazione dell'incorporazione qualora la soglia di misura sia superata durante una settimana.
Misurazione dell'incorporazione
Misurazione della concentrazione C_u di C-14 nelle urine in Bq/l, mediante contatore a scintillazione liquida.

3.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

$T_{\text{sondaggio}}$:	1 settimana	T_{misura} :	30 giorni	t_{evento} :	1 giorno
--------------------------	-------------	-----------------------	-----------	-----------------------	----------

3.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

Se il periodo biologico è significativamente inferiore a 40 giorni, si procede ad un calcolo della dose specifica conformemente all'articolo 42 capoverso 4.

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]
E_{50} : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$4,3 \times 10^{-6}$
C_u : Risultato della misura in Bq/l	2	$2,9 \times 10^{-6}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$2,9 \times 10^{-6}$
$m(t)$: Frazione escreta nelle urine giornalmente (= 1,4 l) in l ⁻¹	4	$2,9 \times 10^{-6}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$3,0 \times 10^{-6}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$3,0 \times 10^{-6}$
	7	$3,1 \times 10^{-6}$
Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni	15	$3,5 \times 10^{-6}$
	30	$4,5 \times 10^{-6}$
	45	$5,8 \times 10^{-6}$

3.5 **Correzione in caso di incorporazione antecedente**

Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni: $E_{50} = C_u \cdot 3,5 \cdot 10^{-6} - E_{50}^g \cdot 0,60$
--

4. **O-15**

4.1 **Metabolismo**

A causa della sua breve durata di vita (tempo di dimezzamento 122,2 s), l'ossigeno-15 incorporato decade nel corpo, prima di essere eliminato. L'ossigeno-15 inalato o ingerito causa inoltre il più elevato contributo di dose nei polmoni (inalazione) o nel tratto gastrointestinale (ingestione). L'80 % dell'ossigeno inalato nei polmoni è subito espirato, senza essere assimilato; il resto va a finire in tutto il corpo attraverso la circolazione sanguigna.

4.2 **Metodi di misurazione**

Misurazione di sondaggio (obbligatoria) Misurazione diretta della radiazione a livello dello stomaco/dell'addome o sorveglianza continua dell'aria (4000 Bq/m³) e misurazione diretta della radiazione a livello dello stomaco/dell'addome dopo ogni allarme. <i>Soglia di misura:</i> 1 µSv/h a livello dello stomaco Misurazione dell'incorporazione A causa del breve tempo di dimezzamento fisico, una misurazione dell'incorporazione non è possibile.

4.3 **Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione**

T _{sondaggio} :	in caso di allarme	T _{misura} :	—	t _{evento} :	immediatamente
--------------------------	--------------------	-----------------------	---	-----------------------	----------------

4.4 **Interpretazione**

Se la soglia di misura è superata, occorre che un perito, d'intesa con l'autorità di vigilanza, verifichi e interpreti i dati per determinare la dose efficace impegnata E ₅₀ .
--

5. F-18

5.1 Metabolismo

A causa della sua breve durata di vita (tempo di dimezzamento 109,77 min.), prima di essere eliminato questo nuclide decade in gran parte completamente nel corpo. Il fluoro-18 inalato o ingerito causa inoltre il contributo di dose più elevato nei polmoni (inalazione) o nel tratto gastro-intestinale (ingestione).

5.2 Metodi di misura

Misurazione di sondaggio (obbligatoria)

Misurazione diretta della radiazione a livello dello stomaco/dell'addome o sorveglianza continua dell'aria (4000 Bq/m^3) e misurazione diretta della radiazione a livello dello stomaco/dell'addome dopo ogni allarme.

Soglia di misura: $1 \mu\text{Sv/h}$ a livello dello stomaco

Misurazione dell'incorporazione

A causa del breve tempo di dimezzamento fisico, una misurazione dell'incorporazione non è possibile.

5.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

$T_{\text{sondaggio}}$:	4 ore	T_{misura} :	—	t_{evento} :	immediatamente
--------------------------	-------	-----------------------	---	-----------------------	----------------

5.4 Interpretazione

Se la soglia di misura è superata, occorre che un perito, d'intesa con l'autorità di vigilanza, verifichi e interpreti i dati per determinare la dose efficace impegnata E_{50} .

6. P-32

6.1 Metabolismo

Circa il 70 % del fosfato inalato (classe di assorbimento M) viene rapidamente eliminato attraverso le vie respiratorie, l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,8$) e le vie urinarie. Il fosfato che raggiunge la circolazione sanguigna viene riassorbito per il 70 % circa dai tessuti molli e dal tessuto osseo. La permanenza di questa frazione è determinata dal tempo di dimezzamento fisico e dall'eliminazione relativamente rapida dai tessuti molli per via urinaria (tempo di dimezzamento: 19 giorni).

6.2 Metodi di misura

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta di un campione di urina mediante contatore a scintillazione liquida.

Soglia di misura: 200 Bq/l

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione della concentrazione C_u di P-32 nelle urine in Bq/l mediante contatore a scintillazione liquida.

6.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

Tsondaggio:	30 giorni	Tmisura:	30 giorni	tevento:	2 giorni
-------------	-----------	----------	-----------	----------	----------

6.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]
E_{50} : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,011 \times 10^{-5}$
C_u : Risultato della misura in Bq/l	2	$0,018 \times 10^{-5}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$0,029 \times 10^{-5}$
$m(t)$: Frazione escretata nelle urine giornalmente (= 1,4 l) in l ⁻¹	4	$0,043 \times 10^{-5}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$0,056 \times 10^{-5}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$0,073 \times 10^{-5}$
	7	$0,090 \times 10^{-5}$
Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni	15	$0,27 \times 10^{-5}$
	30	$0,92 \times 10^{-5}$
	45	$3,1 \times 10^{-5}$

6.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni:	$E_{50} = C_u \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} - E_{50}^a \cdot 0,09$
---	--

7. P-33

7.1 Metabolismo

Circa il 70 % del fosfato inalato (classe di assorbimento M) viene rapidamente eliminato attraverso le vie respiratorie, l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,8$) e le vie urinarie. Il fosfato che raggiunge la circolazione sanguigna viene riassorbito per il 70 % circa dai tessuti molli e dal tessuto osseo. La permanenza di questa frazione è determinata dal tempo di dimezzamento fisico e dall'eliminazione relativamente rapida dai tessuti molli per via urinaria (tempo di dimezzamento: 19 giorni).

7.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta di un campione di urina mediante contatore a scintillazione liquida.

Soglia di misura: 200 Bq/l

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione della concentrazione C_u di P-33 nelle urine in Bq/l mediante contatore a scintillazione liquida.

7.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	30 giorni	T _{misura} :	30 giorni	tevento:	2 giorni
--------------------------	-----------	-----------------------	-----------	----------	----------

7.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]
E_{50} : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,049 \times 10^{-6}$
C_u : Risultato della misura in Bq/l	2	$0,079 \times 10^{-6}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$0,12 \times 10^{-6}$
$m(t)$: Frazione escreta nelle urine giornalmente (= 1,4 l) in l ⁻¹	4	$0,18 \times 10^{-6}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$0,23 \times 10^{-6}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$0,28 \times 10^{-6}$
	7	$0,34 \times 10^{-6}$
Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni	15	$0,87 \times 10^{-6}$
	30	$2,2 \times 10^{-6}$
	45	$5,4 \times 10^{-6}$

7.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni:	$E_{50} = C_u \cdot 0,87 \cdot 10^{-6} - E_{50}^a \cdot 0,16$
---	---

8. S-35

8.1 Metabolismo

In caso di inalazione, l'85 % dei composti inorganici a base di zolfo (classe di assorbimento M) sono rapidamente eliminati attraverso le vie respiratorie, l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,8$) e le vie urinarie. La frazione che raggiunge la circolazione sanguigna è semplicemente accumulata in misura del 20 % nei tessuti molli. Il tempo di dimezzamento biologico di questa componente è di 20 giorni. Una piccola frazione è accumulata a lungo termine e decade secondo il tempo di dimezzamento fisico di 87 giorni.

8.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta di un campione di urina mediante contatore a scintillazione liquida.

Soglia di misura: 150 Bq/l

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione della concentrazione C_u di S-35 nelle urine in Bq/l mediante contatore a scintillazione liquida dopo estrazione chimica (precipitazione dei solfati).

8.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

Tsondaggio:	60 giorni	Tmisura:	60 giorni	tevento:	1 giorno
-------------	-----------	----------	-----------	----------	----------

8.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]
E_{50} : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,0070 \times 10^{-6}$
C_u : Risultato della misura in Bq/l	2	$0,057 \times 10^{-6}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$0,42 \times 10^{-6}$
$m(t)$: Frazione escreta nelle urine giornalmente (= 1,4 l) in l ⁻¹	4	$0,77 \times 10^{-6}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione. Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume t = T/2	5	$0,81 \times 10^{-6}$
	6	$0,86 \times 10^{-6}$
	7	$0,91 \times 10^{-6}$
	15	$1,2 \times 10^{-6}$
	30	$2,1 \times 10^{-6}$
Intervallo di sorveglianza T = 60 giorni	60	$5,7 \times 10^{-6}$
	90	14×10^{-6}

8.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 60 giorni: $E_{50} = C_u \cdot 2,1 \cdot 10^{-6} - E_{50}^a \cdot 0,15$

9. Ca-45

9.1 Metabolismo

Circa il 90 % del calcio inalato (classe di assorbimento M) viene rapidamente eliminato attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,3$). Il calcio che raggiunge la circolazione sanguigna è riassorbito dal tessuto osseo e dai tessuti molli. Nel caso del calcio-45, il tempo di dimezzamento fisico di 163 giorni determina nell'adulto il tempo di permanenza nel tessuto osseo. Il tempo di dimezzamento biologico determina invece la permanenza nei tessuti molli. Da qui il calcio viene eliminato in parti uguali attraverso le urine e le feci.

9.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta di un campione di urina mediante contatore a scintillazione liquida.

Soglia di misura: 150 Bq/l

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione della concentrazione C_u di Ca-45 nelle urine in Bq/l, mediante contatore a scintillazione liquida.

9.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	30 giorni	T _{misura} :	30 giorni	t _{evento} :	2 giorni
--------------------------	-----------	-----------------------	-----------	-----------------------	----------

9.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,29 \times 10^{-6}$
C _u : Risultato della misura in Bq/l	2	$0,63 \times 10^{-6}$
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$0,87 \times 10^{-6}$
m(t): Frazione escreta nelle urine giornalmente (= 1,4 l) in l ⁻¹	4	$1,1 \times 10^{-6}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$1,2 \times 10^{-6}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume t = T/2	6	$1,5 \times 10^{-6}$
	7	$1,6 \times 10^{-6}$
Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni	15	$3,2 \times 10^{-6}$
	30	$8,1 \times 10^{-6}$
	45	17×10^{-6}

9.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni:	$E_{50} = C_u \cdot 3,2 \cdot 10^{-6} - E_{50}^a \cdot 0,19$
---	--

10. Cr-51

10.1 Metabolismo

Il cromo è assorbito e ritenuto dal corpo in modo diverso, a seconda della sua formula chimica (Cr-III o Cr-VI). Poiché nel modello dosimetrico si assume che le piccole quantità di cromo-III inalato sono ossidate in cromo-VI nei polmoni, e che d'altro canto il cromo-VI in circolazione è ridotto a cromo-III, le differenze spariscono quasi completamente. Il cromo inalato (classe di assorbimento M) viene rapidamente eliminato attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,1$). Il cromo che raggiunge la circolazione sanguigna è accumulato più a lungo termine in ragione del 25 % dal corpo intero. Nel caso del cromo-51 questo effetto è evitato dal tempo di dimezzamento fisico di 28 giorni.

10.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell'attività toracica.

Soglia di misura: 120 000 Bq

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione dell'attività di Cr-51 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

10.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

Tsondaggio:	30 giorni	Tmisura:	30 giorni	tevento:	immediatamente
-------------	-----------	----------	-----------	----------	----------------

10.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E_{50} : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,071 \times 10^{-9}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$0,13 \times 10^{-9}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$0,23 \times 10^{-9}$
$m(t)$: Frazione di ritenzione	4	$0,31 \times 10^{-9}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$0,37 \times 10^{-9}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$0,41 \times 10^{-9}$
	7	$0,45 \times 10^{-9}$
Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni	15	$0,67 \times 10^{-9}$
	30	$1,2 \times 10^{-9}$
	45	$2,0 \times 10^{-9}$

10.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni:

$E_{50} = M \cdot 0,67 \cdot 10^{-9} - E_{50}^a \cdot 0,34$

11. Fe-59

11.1 Metabolismo

Circa il 10 % del ferro inalato (classe di assorbimento M) viene riassorbito dal corpo, la parte rimanente viene eliminata nell'arco di ore o di giorni attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,1$). L'attività riassorbita è incorporata al 70 % dall'emoglobina mentre il resto viene accumulato dagli altri organi. Una volta assorbito, il ferro è trattenuto nel corpo. Per un contenuto corporeo di circa 3,5 g, la quantità escreta giornalmente è di circa 0,6 mg. Di conseguenza per il ferro-59 è il tempo di dimezzamento fisico di 44,5 giorni che determina la durata della contaminazione dell'organismo.

11.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell'attività toracica.

Soglia di misura: 2500 Bq

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione dell'attività di Fe-59 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

11.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	30 giorni	T _{misura} :	30 giorni	tevento:	immediatamente
--------------------------	-----------	-----------------------	-----------	----------	----------------

11.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,64 \times 10^{-8}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$1,1 \times 10^{-8}$
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$1,8 \times 10^{-8}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$2,3 \times 10^{-8}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$2,7 \times 10^{-8}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$2,7 \times 10^{-8}$
	7	$2,9 \times 10^{-8}$
Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni	15	$3,4 \times 10^{-8}$
	30	$4,4 \times 10^{-8}$
	45	$5,8 \times 10^{-8}$
	60	$7,4 \times 10^{-8}$

11.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni:	$E_{50} = M \cdot 3,4 \cdot 10^{-8} - E_{50}^a \cdot 0,59$
---	--

12. Co-57

12.1 Metabolismo

Il 90 % del cobalto inalato (classe di assorbimento S) viene eliminato, nell’arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie, l’apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,05$) e le vie urinarie. Un 10 % scarso permane più tempo nel corpo, principalmente nei polmoni. Nel caso del cobalto-57 la durata della permanenza di tale frazione è data principalmente dal tempo di dimezzamento fisico di 271 giorni.

12.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell’attività toracica.

Soglia di misura: 25 000 Bq

Misurazione dell’incorporazione

Misurazione dell’attività di Co-57 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

12.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l’evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	180 giorni	T _{misura} :	180 giorni	t _{evento} :	immediatamente
--------------------------	------------	-----------------------	------------	-----------------------	----------------

12.4 Interpretazione senza tenere conto di un’incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$1,22 \times 10^{-9}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$2,40 \times 10^{-9}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$4,29 \times 10^{-9}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$6,19 \times 10^{-9}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l’incorporazione.	5	$7,58 \times 10^{-9}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$8,37 \times 10^{-9}$
	7	$8,78 \times 10^{-9}$
	15	$10,1 \times 10^{-9}$
	30	$12,0 \times 10^{-9}$
	60	$15,3 \times 10^{-9}$
Intervallo di sorveglianza T = 180 giorni	90	$18,4 \times 10^{-9}$
	180	$27,5 \times 10^{-9}$
	270	$38,2 \times 10^{-9}$

12.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 180 giorni:	$E_{50} = M \cdot 1,84 \cdot 10^{-8} - E_{50}^a \cdot 0,48$
--	---

13. Co-58

13.1 Metabolismo

Il 90 % del cobalto inalato (classe di assorbimento S) viene eliminato, nell’arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie, l’apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,05$) e le vie urinarie. Un 10 % scarso permane più tempo nel corpo, principalmente nei polmoni. Nel caso del cobalto-58 la durata della permanenza di tale frazione è data principalmente dal tempo di dimezzamento fisico di 70,8 giorni.

13.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio
Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell’attività toracica.
Soglia di misura: 2600 Bq

Misurazione dell’incorporazione
Misurazione dell’attività di Co-58 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

13.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l’evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	30 giorni	T _{misura} :	30 giorni	t _{evento} :	immediatamente
--------------------------	-----------	-----------------------	-----------	-----------------------	----------------

13.4 Interpretazione senza tenere conto di un’incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,35 \times 10^{-8}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$0,68 \times 10^{-8}$
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$1,2 \times 10^{-8}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$1,8 \times 10^{-8}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l’incorporazione.	5	$2,2 \times 10^{-8}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$2,5 \times 10^{-8}$
	7	$2,6 \times 10^{-8}$
Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni	15	$3,2 \times 10^{-8}$
	30	$4,3 \times 10^{-8}$
	45	$5,3 \times 10^{-8}$
	60	$6,8 \times 10^{-8}$
	90	10×10^{-8}

13.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni:	$E_{50} = M \cdot 3,2 \cdot 10^{-8} - E_{50}^a \cdot 0,60$
---	--

14. Co-60

14.1 Metabolismo

Il 90 % del cobalto inalato (classe di assorbimento S) viene eliminato, nell’arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie, l’apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,05$) e le vie urinarie. Un 10 % scarso permane più tempo nel corpo, principalmente nei polmoni. Nel caso del cobalto-60 la durata della permanenza di tale frazione è data principalmente, a causa del lungo tempo di dimezzamento fisico, dai meccanismi di clearance polmonare.

14.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell’attività toracica.

Soglia di misura: 1200 Bq

Misurazione dell’incorporazione

Misurazione dell’attività di Co-60 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

14.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l’evento e la prima misurazione

Tsondaggio:	180 giorni	Tmisura:	180 giorni	tevento:	immediatamente
-------------	------------	----------	------------	----------	----------------

14.4 Interpretazione senza tenere conto di un’incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E_{50} : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,35 \times 10^{-7}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$0,68 \times 10^{-7}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$1,2 \times 10^{-7}$
$m(t)$: Frazione di ritenzione	4	$1,7 \times 10^{-7}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l’incorporazione.	5	$2,1 \times 10^{-7}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$2,3 \times 10^{-7}$
	7	$2,5 \times 10^{-7}$
	15	$2,8 \times 10^{-7}$
	30	$3,1 \times 10^{-7}$
	60	$3,8 \times 10^{-7}$
Intervallo di sorveglianza T = 180 giorni	90	$4,3 \times 10^{-7}$
	180	$5,3 \times 10^{-7}$
	270	$6,1 \times 10^{-7}$

14.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 180 giorni: $E_{50} = M \cdot 4,3 \cdot 10^{-7} - E_{50}^a \cdot 0,70$

15. Zn-65

15.1 Metabolismo

Circa il 90 % dello zinco inalato (classe di assorbimento S) viene rapidamente eliminato attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,5$). Il resto si suddivide, attraverso la circolazione sanguigna, per l'80 % in tutto il corpo e per il 20 % nello scheletro. L'attività accumulata nello scheletro e il 70 % di quella distribuitasi in tutto il corpo sono eliminate con un tempo di dimezzamento biologico di 400 giorni. Il resto decade con un tempo di dimezzamento biologico di 20 giorni.

15.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell'attività toracica.

Soglia di misura: 25 000 Bq

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione dell'attività di Zn-65 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

15.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

$T_{\text{sondaggio}}$:	180 giorni	T_{misura} :	180 giorni	t_{evento} :	immediatamente
--------------------------	------------	-----------------------	------------	-----------------------	----------------

15.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv/Bq]
E_{50} : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$5,19 \times 10^{-9}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$7,39 \times 10^{-9}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$9,06 \times 10^{-9}$
$m(t)$: Frazione di ritenzione	4	$10,0 \times 10^{-9}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$10,4 \times 10^{-9}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$10,7 \times 10^{-9}$
	7	$10,9 \times 10^{-9}$
	15	$11,8 \times 10^{-9}$
	30	$13,5 \times 10^{-9}$
Intervallo di sorveglianza T = 180 giorni	90	$19,4 \times 10^{-9}$
	180	$29,4 \times 10^{-9}$
	270	$43,4 \times 10^{-9}$
	360	$63,6 \times 10^{-9}$

15.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 180 giorni: $E_{50} = M \cdot 1,94 \cdot 10^{-8} - E_{50}^a \cdot 0,45$

16. Ga-67

16.1 Metabolismo

Il gallio inalato (ipotesi: ossido; classe di assorbimento M) viene eliminato, nell’arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie e l’apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,001$). Il gallio che raggiunge la circolazione sanguigna è principalmente redistribuito in tutto il corpo. Il 30 % viene eliminato molto rapidamente. Il resto viene eliminato con un tempo di dimezzamento biologico di 50 giorni.

16.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell’attività toracica.

Soglia di misura: 5500 Bq

Misurazione dell’incorporazione

Misurazione dell’attività di Ga-67 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

16.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l’evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	7 giorni	T _{misura} :	7 giorni	tevento:	immediatamente
--------------------------	----------	-----------------------	----------	----------	----------------

16.4 Interpretazione senza tenere conto di un’incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$ Intervallo di sorveglianza T = 7 giorni E₅₀: Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv M: Risultato della misura in Bq e_{inh}: Fattore di dose in Sv/Bq m(t): Frazione di ritenzione t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l’incorporazione	t [giorni]	e _{inh} /m(t) [Sv/Bq]
	1	0,70×10 ⁻⁹
	2	1,65×10 ⁻⁹
	3	3,55×10 ⁻⁹
	4	6,32×10 ⁻⁹
	5	9,49×10 ⁻⁹
	6	12,9×10 ⁻⁹
	7	16,7×10 ⁻⁹
	8	21,2×10 ⁻⁹
	9	26,7×10 ⁻⁹
	10	33,3×10 ⁻⁹
	14	81,6×10 ⁻⁹

16.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 7 giorni: $E_{50} = M \cdot 3,55 \cdot 10^{-9} - E_{50}^a \cdot 0,11$

17. Ga-68

17.1 Metabolismo

A causa della sua breve durata di vita (tempo di dimezzamento 68 min.), prima di essere eliminato questo nuclide decade in gran parte completamente nel corpo. Il gallio-68 inalato o ingerito causa inoltre il contributo di dose più elevato nei polmoni (inalazione) o nel tratto gastro-intestinale (ingestione).

17.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio (obbligatoria)

Misurazione diretta della radiazione a livello dello stomaco/dell'addome almeno ogni 4 ore.

Soglia di misura: 1 $\mu\text{Sv/h}$ a livello dello stomaco

Misurazione dell'incorporazione

A causa del breve tempo di dimezzamento fisico, una misurazione dell'incorporazione non è possibile.

17.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

$T_{\text{sondaggio}}$: 4 ore	T_{misura} : —	t_{evento} : immediatamente
--------------------------------	-------------------------	--------------------------------------

17.4 Interpretazione

Se la soglia di misura è superata, occorre che un perito, d'intesa con l'autorità di vigilanza, verifichi e interpreti i dati per determinare la dose efficace impegnata E_{50} .

18. Sr-85

18.1 Metabolismo

Il 90 % dello stronzio-85 inalato (classe di assorbimento S) viene eliminato, nell’arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie e l’apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,01$). Circa il 5 % rimane fissato nei polmoni per lungo tempo. La permanenza di questa frazione è data dal tempo di dimezzamento fisico dello stronzio-85. La piccola quantità di stronzio che raggiunge la circolazione sanguigna viene assorbita dal tessuto osseo o eliminata, principalmente per via urinaria.

18.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell’attività toracica.

Soglia di misura: 6400 Bq

Misurazione dell’incorporazione

Misurazione dell’attività di Sr-85 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

18.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l’evento e la prima misurazione

Tsondaggio:	30 giorni	Tmisura:	30 giorni	tevento:	immediatamente
-------------	-----------	----------	-----------	----------	----------------

18.4 Interpretazione senza tenere conto di un’incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E_{50} : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,13 \times 10^{-8}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$0,26 \times 10^{-8}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$0,49 \times 10^{-8}$
$m(t)$: Frazione di ritenzione	4	$0,72 \times 10^{-8}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l’incorporazione.	5	$0,90 \times 10^{-8}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$1,0 \times 10^{-8}$
	7	$1,1 \times 10^{-8}$
Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni	15	$1,3 \times 10^{-8}$
	30	$1,7 \times 10^{-8}$
	45	$2,2 \times 10^{-8}$
	60	$2,8 \times 10^{-8}$
	90	$4,3 \times 10^{-8}$

18.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni:	$E_{50} = M \cdot 1,3 \cdot 10^{-8} - E_{50}^a \cdot 0,59$
---	--

19. Sr-89

19.1 Metabolismo

Il 90 % dello stronzio-89 inalato (classe di assorbimento S) viene eliminato, sull'arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,01$). Circa il 5 % rimane fissato nei polmoni per lungo tempo. La permanenza di questa frazione è data dal tempo di dimezzamento fisico dello stronzio-89. La piccola quantità di stronzio che raggiunge la circolazione sanguigna viene assorbita dal tessuto osseo o eliminata, principalmente per via urinaria.

19.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta di un campione di urina mediante contatore a scintillazione liquida.

Soglia di misura: 0,5 Bq/l

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione, dopo separazione chimica, della concentrazione C_u di Sr-89 nelle urine in Bq/l, mediante contatore a scintillazione liquida.

19.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	30 giorni	T _{misura} :	30 giorni	tevento:	1 giorno
--------------------------	-----------	-----------------------	-----------	----------	----------

19.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = C_u \cdot \{c_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$c_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,0098 \times 10^{-3}$
C _u : Risultato della misura in Bq/l	2	$0,024 \times 10^{-3}$
c _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$0,037 \times 10^{-3}$
m(t): Frazione escreta nelle urine giornalmente (= 1,4 l) in l ⁻¹	4	$0,049 \times 10^{-3}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$0,065 \times 10^{-3}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto	6	$0,080 \times 10^{-3}$
si assume t = T/2	7	$0,096 \times 10^{-3}$
Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni	15	$0,26 \times 10^{-3}$
	30	$0,65 \times 10^{-3}$
	45	$1,5 \times 10^{-3}$
	60	$2,6 \times 10^{-3}$

19.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni:	$E_{50} = C_u \cdot 0,26 \cdot 10^{-3} - E_{50}^a \cdot 0,17$
---	---

20. Sr-90

20.1 Metabolismo

Il 90 % dello stronzio-90 inalato (classe di assorbimento S) viene eliminato, nell’arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie e l’apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,01$). Circa il 5 % rimane fissato nei polmoni per lungo tempo. La durata di tale permanenza è determinata, a causa del lungo tempo di dimezzamento fisico, dai meccanismi di clearance polmonare. Lo stronzio che raggiunge la circolazione sanguigna viene assorbito dal tessuto osseo o eliminato, principalmente per via urinaria.

20.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta di un campione di urina mediante contatore a scintillazione liquida.
Soglia di misura: 0,05 Bq/l

Misurazione dell’incorporazione

Misurazione della concentrazione C_u di Sr-90 nelle urine in Bq/l, mediante contatore a scintillazione liquida.

20.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l’evento e la prima misurazione

Tsondaggio:	30 giorni	Tmisura:	30 giorni	tevento:	1 giorno
-------------	-----------	----------	-----------	----------	----------

20.4 Interpretazione senza tenere conto di un’incorporazione antecedente

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]
E_{50} : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,13 \times 10^{-3}$
C_u : Risultato della misura in Bq/l	2	$0,32 \times 10^{-3}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$0,49 \times 10^{-3}$
$m(t)$: Frazione escreta nelle urine giornalmente (= 1,4) in l ⁻¹	4	$0,67 \times 10^{-3}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l’incorporazione.	5	$0,83 \times 10^{-3}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$0,98 \times 10^{-3}$
Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni	7	$1,2 \times 10^{-3}$
	15	$2,7 \times 10^{-3}$
	30	$6,0 \times 10^{-3}$
	45	11×10^{-3}
	60	16×10^{-3}

20.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni:	$E_{50} = C_u \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} - E_{50}^a \cdot 0,25$
---	--

21. Y-90

21.1 Metabolismo

L'itrio inalato (classe di assorbimento M) viene rapidamente eliminato attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_i = 0,0001$). Circa il 5 % rimane fissato nei polmoni per lungo tempo. La permanenza di questa frazione nel corpo è determinata dal tempo di dimezzamento fisico di 2,67 giorni. La piccola quantità di itrio che raggiunge la circolazione sanguigna viene assorbita dal tessuto osseo e dal fegato (65 %) oppure direttamente eliminata.

21.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Una volta tolti i guanti, misurazione della contaminazione delle mani mediante un apposito rivelatore.

Soglia di misura: 300 Bq cm⁻²

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione della concentrazione C_u di Y-90 nelle urine in Bq/l, mediante contatore proporzionale dopo preparazione chimica.

21.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

$T_{\text{sondaggio}}$:	dopo ogni impiego	T_{misura} :	in caso di superamento della soglia di misura	t_{evento} :	1 giorno
--------------------------	-------------------	-----------------------	---	-----------------------	----------

21.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]
E_{50} : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$9,48 \times 10^{-7}$
C_u : Risultato della misura in Bq/l	2	$1,30 \times 10^{-5}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$1,01 \times 10^{-4}$
$m(t)$: Frazione escreta nelle urine giornalmente (= 1,4 l) in l ⁻¹	4	$1,95 \times 10^{-4}$
t : Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$2,64 \times 10^{-4}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$3,48 \times 10^{-4}$
	7	$4,59 \times 10^{-4}$
	10	$1,05 \times 10^{-3}$
	15	$4,13 \times 10^{-3}$
	20	$1,63 \times 10^{-2}$
	30	$2,49 \times 10^{-1}$

22. Tc-99m

22.1 Metabolismo

Il tecnezio si fissa in modo attivo a livello della tiroide, delle ghiandole salivari, dello stomaco e dell'intestino. Si assume che il resto dell'attività si ripartisca uniformemente in tutto l'organismo. L'escrezione ha luogo per via urinaria e attraverso le feci (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,8$).

22.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio (obbligatoria)

Misurazione diretta della radiazione a livello dello stomaco o della tiroide.

Soglia di misura: 1 $\mu\text{Sv/h}$

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione dell'attività di Tc-99m in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

22.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	al termine della giornata	T _{misura} :	in caso di superamento della soglia di misura	tevento:	1 immediata-mente
--------------------------	---------------------------	-----------------------	---	----------	-------------------

22.4 Interpretazione

A causa del breve tempo di dimezzamento fisico (6 ore), non è possibile un'interpretazione standard. In situazioni normali le incorporazioni (kBq) comportano dosi deboli (10^{-5} mSv). Qualora si verificano incidenti o superamenti della soglia di misura, si rendono necessarie una verifica e un'interpretazione specifica.

23. In-111

23.1 Metabolismo

L'indio inalato (classe di assorbimento M) viene rapidamente eliminato attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,02$). L'indio che raggiunge la circolazione sanguigna si ripartisce in modo relativamente omogeneo in tutto il corpo. Si presume che questa quota non venga più eliminata. Quindi la permanenza nel corpo dell'indio-111 è determinata dal tempo di dimezzamento fisico di 2,8 giorni.

23.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio
Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell'attività toracica.
Soglia di misura: 5000 Bq
Misurazione dell'incorporazione
Misurazione dell'attività di In-111 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

23.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	7 giorni	T _{misura} :	7 giorni	t _{evento} :	immediatamente
--------------------------	----------	-----------------------	----------	-----------------------	----------------

23.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$ E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv Intervallo di sorveglianza T = 7 giorni M: Risultato della misura in Bq e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq m(t): Frazione di ritenzione t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione. Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
	1	$0,80 \times 10^{-9}$
	2	$1,88 \times 10^{-9}$
	3	$3,99 \times 10^{-9}$
	4	$6,97 \times 10^{-9}$
	5	$10,4 \times 10^{-9}$
	6	$14,2 \times 10^{-9}$
	7	$18,7 \times 10^{-9}$
	8	$24,2 \times 10^{-9}$
	9	$31,2 \times 10^{-9}$
	10	$40,1 \times 10^{-9}$
	14	109×10^{-9}

23.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 7 giorni: $E_{50} = M \cdot 3,99 \cdot 10^{-9} - E_{50}^a \cdot 0,10$

24. I-123

24.1 Metabolismo

Il 50 % dello iodio inalato (classe di assorbimento F) viene esalato. La rimanente metà raggiunge rapidamente la circolazione sanguigna (frazione di riassorbimento $f_i = 1$). Da qui il 30 % circa è riassorbito in un giorno nella ghiandola tiroidea ed il 70 % viene eliminato per via urinaria. Il tempo di dimezzamento biologico nella tiroide è di 80 giorni. La permanenza nella tiroide dello iodio-123 è quindi determinata dal tempo di dimezzamento fisico di 13,2 ore.

24.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio
Misurazione diretta dell'attività fissata dalla ghiandola tiroidea con un rivelatore di contaminazione.
Soglia di misura: 1400 Bq

Misurazione dell'incorporazione
Misurazione dell'attività di I-123 in Bq mediante un rivelatore tiroideo.

24.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

Tsondaggio: al termine della giornata (= 12 ore)	Tmisura: in caso di superamento della soglia di misura	tevento: 6–12 ore
--	--	-------------------

24.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
	1/4	$0,0022 \times 10^{-6}$
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1/2	$0,0020 \times 10^{-6}$
M: Risultato della misura in Bq	1	$0,0029 \times 10^{-6}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	1,5	$0,0052 \times 10^{-6}$
m(t): Frazione di ritenzione	2	$0,010 \times 10^{-6}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	3	$0,034 \times 10^{-6}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto, si assume $t = T/2$	4	$0,12 \times 10^{-6}$
	5	$0,44 \times 10^{-6}$
	6	$1,5 \times 10^{-6}$
	7	$5,5 \times 10^{-6}$

25. I-124

25.1 Metabolismo

Il 50 % dello iodio inalato (classe di assorbimento F) viene esalato. La rimanente metà raggiunge rapidamente la circolazione sanguigna (frazione di riassorbimento $f_1 = 1$). Da qui il 30 % circa è riassorbito in un giorno nella ghiandola tiroidea ed il 70 % viene eliminato per via urinaria. Il tempo di dimezzamento biologico nella tiroide è di 80 giorni. La permanenza nella tiroide dello iodio-124 è quindi determinata dal tempo di dimezzamento fisico di 4,2 giorni.

25.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta dell'attività fissata nella ghiandola tiroidea mediante un rivelatore di contaminazione.

Soglia di misura: 3000 Bq

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione dell'attività di I-124 M in Bq mediante un rivelatore tiroideo.

25.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} : 7 giorni	T _{misura} : 14 giorni	tevento: 6–12 ore
-----------------------------------	---------------------------------	-------------------

25.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,56 \times 10^{-7}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$0,62 \times 10^{-7}$
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$0,74 \times 10^{-7}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$0,88 \times 10^{-7}$
	5	$1,04 \times 10^{-7}$
	6	$1,24 \times 10^{-7}$
Intervallo di sorveglianza T = 14 giorni	7	$1,48 \times 10^{-7}$
	10	$2,49 \times 10^{-7}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	14	$5,00 \times 10^{-7}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	15	$5,94 \times 10^{-7}$
	21	$14,1 \times 10^{-7}$

25.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 14 giorni: $E_{50} = M \cdot 1,48 \cdot 10^{-7} - E_{50}^a \cdot 0,10$

26. I-125

26.1 Metabolismo

Il 50 % dello iodio inalato (classe di assorbimento F) viene esalato. La rimanente metà raggiunge rapidamente la circolazione sanguigna (frazione di riassorbimento $f_1 = 1$). Da qui il 30 % circa è riassorbito in un giorno nella ghiandola tiroidea ed il 70 % viene eliminato per via urinaria. Il tempo di dimezzamento biologico nella tiroide è di 80 giorni e quello fisico è di 60 giorni.

26.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio
Misurazione diretta dell'attività fissata dalla ghiandola tiroidea con un rivelatore di contaminazione.
Soglia di misura: 1300 Bq

Misurazione dell'incorporazione
Misurazione dell'attività di I-125 M in Bq mediante un rivelatore tiroideo.

26.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	30 giorni	T _{misura} :	90 giorni	t _{evento} :	6–12 ore
--------------------------	-----------	-----------------------	-----------	-----------------------	----------

26.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,56 \times 10^{-7}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$0,52 \times 10^{-7}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$0,52 \times 10^{-7}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$0,56 \times 10^{-7}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$0,56 \times 10^{-7}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$0,56 \times 10^{-7}$
	7	$0,56 \times 10^{-7}$
	15	$0,66 \times 10^{-7}$
	30	$0,90 \times 10^{-7}$
Intervallo di sorveglianza T = 90 giorni	45	$1,2 \times 10^{-7}$
	60	$1,6 \times 10^{-7}$
	90	$2,6 \times 10^{-7}$
	135	$6,1 \times 10^{-7}$

26.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 90 giorni:	$E_{50} = M \cdot 1,2 \cdot 10^{-7} - E_{50}^a \cdot 0,20$
---	--

27. I-131

27.1 Metabolismo

Il 50 % dello iodio inalato (classe di assorbimento F) viene esalato. La rimanente metà raggiunge rapidamente la circolazione sanguigna (frazione di riassorbimento $f_1 = 1$). Da qui il 30 % circa è riassorbito in un giorno nella ghiandola tiroidea e il 70 % viene eliminato per via urinaria. Il tempo di dimezzamento biologico nella tiroide è di 80 giorni. La permanenza nella tiroide dello iodio-131 è quindi determinata dal tempo di dimezzamento fisico di 8 giorni.

27.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio
Misurazione diretta dell'attività fissata dalla ghiandola tiroidea mediante un rivelatore di contaminazione.
Soglia di misura: 2000 Bq

Misurazione dell'incorporazione
Misurazione dell'attività di I-131 M in Bq mediante un rivelatore tiroideo.

27.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} : 7 giorni	T _{misura} : 30 giorni	tevento: 6–12 ore
-----------------------------------	---------------------------------	-------------------

27.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,092 \times 10^{-6}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$0,092 \times 10^{-6}$
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$0,10 \times 10^{-6}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$0,11 \times 10^{-6}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$0,12 \times 10^{-6}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$0,13 \times 10^{-6}$
	7	$0,15 \times 10^{-6}$
Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni	15	$0,31 \times 10^{-6}$
	30	$1,3 \times 10^{-6}$
	45	$5,2 \times 10^{-6}$

27.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 30 giorni: $E_{50} = M \cdot 0,31 \cdot 10^{-6} - E_{50}^a \cdot 0,06$

28. Ba-133

28.1 Metabolismo

Il metabolismo del bario nell'organismo dipende molto dalla solubilità del relativo composto, ma sostanzialmente il bario si comporta analogamente al Ca o allo Sr. I composti di bario solubili (classe di assorbimento F) raggiungono la circolazione sanguigna molto rapidamente e quasi completamente, quelli poco solubili vengono eliminati dai polmoni nel corso di pochi giorni, rispettivamente per il 50 % circa attraverso la circolazione sanguigna e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,1$), e parzialmente espulsi attraverso le feci. Il bario che raggiunge la circolazione sanguigna viene assorbito dal tessuto osseo o nuovamente eliminato, primariamente per via urinaria.

28.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell'attività toracica.

Soglia di misura: 6000 Bq

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione dell'attività di Ba-133 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

28.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	180 giorni	T _{misura} :	180 giorni	t _{evento} :	immediatamente
--------------------------	------------	-----------------------	------------	-----------------------	----------------

28.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$3,69 \times 10^{-9}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$6,60 \times 10^{-9}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$1,10 \times 10^{-8}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$1,64 \times 10^{-8}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$2,20 \times 10^{-8}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$2,75 \times 10^{-8}$
	7	$3,24 \times 10^{-8}$
	15	$4,79 \times 10^{-8}$
	30	$5,78 \times 10^{-8}$
	60	$6,89 \times 10^{-8}$
	90	$7,99 \times 10^{-8}$
	180	$1,06 \times 10^{-7}$
	270	$1,25 \times 10^{-7}$

29. Cs-134

29.1 Metabolismo

Il 50 % del cesio inalato (classe di assorbimento F) viene esalato. La restante metà raggiunge rapidamente la circolazione sanguigna (frazione di riassorbimento $f_1 = 1$). Tale frazione si ripartisce uniformemente nel corpo intero. Il 10 % di questa attività viene eliminata con un tempo di dimezzamento biologico di 2 giorni principalmente attraverso le vie urinarie; il restante 90 % viene eliminato con un tempo di dimezzamento biologico di 110 giorni negli uomini e 70 giorni nelle donne. Per il controllo dell'incorporazione si utilizza il tempo di dimezzamento corrispondente al metabolismo maschile.

29.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell'attività toracica. Poiché il cesio passa rapidamente dai polmoni al corpo, non ci si può attendere che tale misura comprenda tutto il cesio inalato. Si suppone così che venga misurato solo il 50 % dell'attività incorporata.

Soglia di misura: 6000 Bq

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione dell'attività di Cs-134 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

29.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	180 giorni	T _{misura} :	180 giorni	tevento:	immediatamente
--------------------------	------------	-----------------------	------------	----------	----------------

29.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,16 \times 10^{-7}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$0,19 \times 10^{-7}$
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$0,21 \times 10^{-7}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$0,22 \times 10^{-7}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$0,22 \times 10^{-7}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$0,23 \times 10^{-7}$
	7	$0,23 \times 10^{-7}$
	15	$0,25 \times 10^{-7}$
	30	$0,27 \times 10^{-7}$
	60	$0,34 \times 10^{-7}$
Intervallo di sorveglianza T = 180 giorni	90	$0,42 \times 10^{-7}$
	180	$0,80 \times 10^{-7}$
	270	$1,5 \times 10^{-7}$

29.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 180 giorni:	$E_{50} = M \cdot 0,42 \cdot 10^{-7} - E_{50}^a \cdot 0,28$
--	---

30. Cs-137

30.1 Metabolismo

Il 50 % del cesio inalato (classe di assorbimento F) viene esalato. La restante metà raggiunge rapidamente la circolazione sanguigna (frazione di riassorbimento $f_1 = 1$). Tale frazione si ripartisce uniformemente nel corpo intero. Il 10 % di questa attività viene eliminata con un tempo di dimezzamento biologico di 2 giorni principalmente attraverso le vie urinarie; il restante 90 % viene eliminato con un tempo di dimezzamento biologico di 110 giorni negli uomini e 70 giorni nelle donne. Per il controllo dell'incorporazione si utilizza il tempo di dimezzamento corrispondente al metabolismo maschile.

30.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell'attività toracica. Poiché il cesio passa rapidamente dai polmoni al corpo, non ci si può attendere che tale misura comprenda tutto il cesio inalato. Si suppone così che venga misurato solo il 50 % dell'attività incorporata.

Soglia di misura: 9000 Bq

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione dell'attività di Cs-137 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

30.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	180 giorni	T _{misura} :	180 giorni	t _{evento} :	immediatamente
--------------------------	------------	-----------------------	------------	-----------------------	----------------

30.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$1,1 \times 10^{-8}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$1,3 \times 10^{-8}$
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$1,5 \times 10^{-8}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$1,5 \times 10^{-8}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$1,6 \times 10^{-8}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume t = T/2	6	$1,6 \times 10^{-8}$
	7	$1,6 \times 10^{-8}$
	15	$1,7 \times 10^{-8}$
	30	$1,9 \times 10^{-8}$
	60	$2,2 \times 10^{-8}$
Intervallo di sorveglianza T = 180 giorni	90	$2,8 \times 10^{-8}$
	180	$4,8 \times 10^{-8}$
	270	$8,6 \times 10^{-8}$

30.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 180 giorni:	$E_{50} = M \cdot 2,8 \cdot 10^{-8} - E_{50}^a \cdot 0,33$
--	--

31. Eu-152

31.1 Metabolismo

L'europio inalato (classe di assorbimento M) viene in gran parte eliminato rapidamente attraverso il naso e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,005$). L'europio che raggiunge la circolazione sanguigna viene assorbito dal tessuto osseo o raggiunge il fegato (tempo di dimezzamento biologico 3500 giorni) per il 40 % circa, mentre il 6 % raggiunge i reni, dove viene eliminato con un tempo di dimezzamento biologico di circa 10 giorni.

31.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio
Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell'attività toracica.
Soglia di misura: 1000 Bq

Misurazione dell'incorporazione
Misurazione dell'attività di Eu-152 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

31.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	180 giorni	T _{misura} :	180 giorni	t _{evento} :	immediatamente
--------------------------	------------	-----------------------	------------	-----------------------	----------------

31.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$5,48 \times 10^{-8}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$1,04 \times 10^{-7}$
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$1,80 \times 10^{-7}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$2,52 \times 10^{-7}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$3,02 \times 10^{-7}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$3,27 \times 10^{-7}$
	7	$3,39 \times 10^{-7}$
	15	$3,65 \times 10^{-7}$
	30	$4,01 \times 10^{-7}$
	60	$4,49 \times 10^{-7}$
	90	$4,81 \times 10^{-7}$
	180	$5,29 \times 10^{-7}$
	270	$5,64 \times 10^{-7}$

32. Sm-153

32.1 Metabolismo

Il samario inalato (classe di assorbimento M) viene rapidamente eliminato attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,0005$). La piccola quantità di samario che raggiunge la circolazione sanguigna viene assorbita, per il 90 %, dal tessuto osseo e dal fegato, con un tempo di dimezzamento biologico di 3500 anni. La permanenza del samario-153 nel corpo è quindi determinata dal tempo di dimezzamento fisico di 46,7 ore.

32.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio (obbligatoria)
Una volta tolti i guanti, misurazione della contaminazione delle mani mediante un apposito rivelatore.
Soglia di misura: 300 Bq cm⁻²
Misurazione dell'incorporazione
Misurazione dell'attività di Sm-153 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

32.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

Tsondaggio:	dopo ogni impiego	Tmisura:	in caso di superamento della soglia di misura	tevento:	immediatamente
-------------	-------------------	----------	---	----------	----------------

32.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$1,96 \times 10^{-9}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$5,31 \times 10^{-9}$
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$1,30 \times 10^{-8}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$2,61 \times 10^{-8}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$4,42 \times 10^{-8}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$6,83 \times 10^{-8}$
	7	$1,01 \times 10^{-7}$
	10	$3,05 \times 10^{-7}$
	15	$1,87 \times 10^{-6}$
	20	$1,14 \times 10^{-5}$
	30	$4,22 \times 10^{-4}$

33. Eu-154

33.1 Metabolismo

L'europio inalato (classe di assorbimento M) viene in gran parte eliminato rapidamente attraverso il naso e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,005$). L'europio che raggiunge la circolazione sanguigna viene assorbito dal tessuto osseo o raggiunge il fegato (tempo di dimezzamento biologico 3500 giorni) per il 40 % circa, mentre il 6 % raggiunge i reni, dove viene eliminato con un tempo di dimezzamento biologico di circa 10 giorni.

33.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell'attività toracica.

Soglia di misura: 800 Bq

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione dell'attività di Eu-154 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

33.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	180 giorni	T _{misura} :	180 giorni	tevento:	immediatamente
--------------------------	------------	-----------------------	------------	----------	----------------

33.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$7,10 \times 10^{-8}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$1,35 \times 10^{-7}$
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$2,33 \times 10^{-7}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$3,27 \times 10^{-7}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$3,92 \times 10^{-7}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$4,24 \times 10^{-7}$
	7	$4,40 \times 10^{-7}$
	15	$4,74 \times 10^{-7}$
	30	$5,21 \times 10^{-7}$
	60	$5,85 \times 10^{-7}$
	90	$6,27 \times 10^{-7}$
	180	$6,95 \times 10^{-7}$
	270	$7,46 \times 10^{-7}$

34. Er-169

34.1 Metabolismo

L'erbio inalato (classe di assorbimento M) viene rapidamente eliminato attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,0005$). Circa il 5 % rimane fissato nei polmoni per lungo tempo. La permanenza di questa frazione nel corpo è determinata dal tempo di dimezzamento fisico di 9,4 giorni. La piccola quantità di erbio che raggiunge la circolazione sanguigna viene assorbita per il 65 % dal tessuto osseo e dal fegato, oppure direttamente eliminata.

34.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio (obbligatoria)

Una volta tolti i guanti, misurazione della contaminazione delle mani mediante un apposito rivelatore.

Soglia di misura: 1000 Bq cm⁻²

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione della concentrazione C_u di Er-169 nelle urine in Bq/l, mediante contatore proporzionale dopo preparazione chimica.

34.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} : dopo ogni impiego	T _{misura} : in caso di superamento della soglia di misura	tevento: 1 giorno
--	---	-------------------

34.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	4,25×10 ⁻⁷
C _u : Risultato della misura in Bq/l	2	4,75×10 ⁻⁶
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	2,95×10 ⁻⁵
m(t): Frazione escreta nelle urine giornalmente (= 1,4 l) in l ⁻¹	4	4,60×10 ⁻⁵
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	5,17×10 ⁻⁵
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume t = T/2	6	5,65×10 ⁻⁵
	7	6,16×10 ⁻⁵
	10	8,05×10 ⁻⁵
	15	1,24×10 ⁻⁴
	20	1,91×10 ⁻⁴
	30	4,47×10 ⁻⁴

35. Lu-177

35.1 Metabolismo

Il lutezio inalato (classe di assorbimento M) viene rapidamente eliminato attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,0005$). La piccola quantità di lutezio che raggiunge la circolazione sanguigna viene assorbita per il 62 % circa dal corpo (soprattutto dal tessuto osseo), con un tempo di dimezzamento biologico di 3500 anni. Il resto viene eliminato in misura analoga attraverso le feci e le urine. La permanenza del lutezio-177 nel corpo è determinata dal tempo di dimezzamento fisico di 6,7 giorni.

35.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio (obbligatoria)

Una volta tolti i guanti, misurazione della contaminazione delle mani mediante un apposito rivelatore.

Soglia di misura: 300 Bq cm⁻²

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione dell'attività di Lu-177 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

35.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	dopo ogni impiego	T _{misura} :	in caso di superamento della soglia di misura	t _{evento} :	immediatamente
--------------------------	-------------------	-----------------------	---	-----------------------	----------------

35.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$3,48 \times 10^{-9}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$7,63 \times 10^{-9}$
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$1,56 \times 10^{-8}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$2,58 \times 10^{-8}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$3,57 \times 10^{-8}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$4,38 \times 10^{-8}$
	7	$5,08 \times 10^{-8}$
	10	$7,27 \times 10^{-8}$
	15	$1,27 \times 10^{-7}$
	20	$2,23 \times 10^{-7}$
	30	$6,75 \times 10^{-7}$

36. Re-186

36.1 Metabolismo

Il renio inalato (classe di assorbimento M) raggiunge rapidamente la tiroide, lo stomaco, il fegato e l'intestino. Si ritiene che il resto dell'attività si ripartisca uniformemente in tutto l'organismo. Circa il 70 % del renio viene eliminato attraverso feci e urine in parti uguali (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,8$) con un tempo di dimezzamento biologico di 1,6 giorni.

36.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Una volta tolti i guanti, misurazione della contaminazione delle mani mediante un apposito rivelatore.

Soglia di misura: 300 Bq cm⁻²

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione dell'attività di Re-186 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

36.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} : dopo ogni impiego	T _{misura} : in caso di superamento della soglia di misura	t _{evento} : immediatamente
--	---	--------------------------------------

36.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

E₅₀ = M·{e_{inh}/m(t)}	t [giorni]	e _{inh} /m(t) [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	2,74×10 ⁻⁹
M: Risultato della misura in Bq	2	4,90×10 ⁻⁹
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	8,22×10 ⁻⁹
m(t): Frazione di ritenzione	4	1,30×10 ⁻⁸
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	1,94×10 ⁻⁸
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume t = T/2	6	2,80×10 ⁻⁸
	7	3,90×10 ⁻⁸
	10	9,09×10 ⁻⁸
	15	2,89×10 ⁻⁷
	20	8,28×10 ⁻⁷
	30	6,22×10 ⁻⁶

37. Re-188

37.1 Metabolismo

Il renio inalato (classe di assorbimento M) raggiunge rapidamente la tiroide, lo stomaco, il fegato e l'intestino. Si ritiene che il resto dell'attività si ripartisca uniformemente in tutto l'organismo. Circa il 70 % del renio viene eliminato attraverso feci e urine in parti uguali (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,8$) con un tempo di dimezzamento biologico di 1,6 giorni.

37.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Una volta tolti i guanti, misurazione della contaminazione delle mani mediante un apposito rivelatore.

Soglia di misura: 300 Bq cm⁻²

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione dell'attività di Re-188 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

37.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	dopo ogni impiego	T _{misura} :	in caso di superamento della soglia di misura	t _{evento} :	immediatamente
--------------------------	-------------------	-----------------------	---	-----------------------	----------------

37.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$3,75 \times 10^{-9}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$1,49 \times 10^{-8}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$5,53 \times 10^{-8}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$1,93 \times 10^{-7}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$6,43 \times 10^{-7}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$2,06 \times 10^{-6}$
	7	$6,33 \times 10^{-6}$
	10	$1,61 \times 10^{-4}$
	15	$2,75 \times 10^{-2}$

38. TI-201

38.1 Metabolismo

Il 50 % del tallio inalato (classe di assorbimento F) viene esalato. La restante metà raggiunge rapidamente la circolazione sanguigna (frazione di riassorbimento $f_1 = 1$). Nella misura del 97 %, questa parte viene ripartita omogeneamente in tutto il corpo; il 3 % restante si deposita nei reni. Il tallio è eliminato con un tempo di dimezzamento biologico di 10 giorni.

38.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione diretta della radiazione gamma per mezzo di uno strumento di rivelazione dell'attività toracica.

Soglia di misura: 55 000 Bq

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione dell'attività di TI-201 M in Bq per mezzo di un contatore a corpo intero.

38.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	14 giorni	T _{misura} :	14 giorni	t _{evento} :	immediatamente
--------------------------	-----------	-----------------------	-----------	-----------------------	----------------

38.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,16 \times 10^{-9}$
M: Risultato della misura in Bq	2	$0,25 \times 10^{-9}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$0,35 \times 10^{-9}$
m(t): Frazione di ritenzione	4	$0,48 \times 10^{-9}$
	5	$0,66 \times 10^{-9}$
	6	$0,89 \times 10^{-9}$
Intervallo di sorveglianza T = 14 giorni	7	$1,19 \times 10^{-9}$
	8	$1,61 \times 10^{-9}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	9	$2,16 \times 10^{-9}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	10	$2,91 \times 10^{-9}$
	14	$9,55 \times 10^{-9}$
	21	$56,7 \times 10^{-9}$

39. Ra-223

39.1 Metabolismo

Il radio inalato (classe di assorbimento M) viene eliminato, nell’arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie e l’apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 0,2$). Circa il 5 % rimane fissato nei polmoni per lungo tempo. La permanenza nei polmoni è determinata dai meccanismi di clearance polmonare. Il radio che raggiunge la circolazione sanguigna si deposita soprattutto nel tessuto osseo.

39.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Una volta tolti i guanti, misurazione della contaminazione delle mani mediante un apposito rivelatore.

Soglia di misura: 50 Bq cm⁻²

Misurazione dell’incorporazione

Misurazione della concentrazione C_u di Ra-223 e dei nuclidi figli nelle urine in Bq/l.

39.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l’evento e la prima misurazione

$T_{\text{sondaggio}}$: dopo ogni impiego	T_{misura} : in caso di superamento della soglia di misura	t_{evento} : 1 giorno
--	---	--------------------------------

39.4 Interpretazione senza tenere conto di un’incorporazione antecedente

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]
E_{50} : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$5,23 \times 10^{-3}$
C_u : Risultato della misura in Bq/l	2	$3,05 \times 10^{-2}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$4,79 \times 10^{-2}$
$m(t)$: Frazione escreta nelle urine giornalmente (= 1,4 l) in l ⁻¹	4	$7,16 \times 10^{-2}$
t : Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l’incorporazione.	5	$1,06 \times 10^{-1}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume $t = T/2$	6	$1,54 \times 10^{-1}$
	7	$2,20 \times 10^{-1}$
	8	$3,06 \times 10^{-1}$
	9	$4,16 \times 10^{-1}$
	10	$5,48 \times 10^{-1}$
	30	5,21
	40	$1,10 \times 10^1$

40. Ra-226

40.1 Metabolismo

Il radio inalato (classe di assorbimento M) viene eliminato, sull'arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_i = 0,2$). Circa il 5 % rimane fissato nei polmoni per lungo tempo. La permanenza nei polmoni è determinata dai meccanismi di clearance polmonare. Il radio che raggiunge la circolazione sanguigna si deposita soprattutto nel tessuto osseo.

40.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione della concentrazione di attività α nell'aria del luogo di lavoro.
Soglia di misura: 380 Bq h/m³ (valore integrato su un anno)

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione della concentrazione C_u di Ra-226 e dei nuclidi figli nelle urine in Bq/l.

40.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	—	T _{misura} :	180 giorni	t _{evento} :	immediatamente
--------------------------	---	-----------------------	------------	-----------------------	----------------

40.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	$0,20 \times 10^{-2}$
C _u : Risultato della misura in Bq/l	2	$0,99 \times 10^{-2}$
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	3	$1,50 \times 10^{-2}$
m(t): Frazione escreta nelle urine giornalmente (= 1,4 l) in l ⁻¹	4	$2,11 \times 10^{-2}$
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.	5	$2,93 \times 10^{-2}$
Se il momento di incorporazione è sconosciuto si assume t = T/2	6	$4,03 \times 10^{-2}$
	7	$5,42 \times 10^{-2}$
	15	$17,6 \times 10^{-2}$
	30	$32,6 \times 10^{-2}$
	60	$48,8 \times 10^{-2}$
Intervallo di sorveglianza T = 180 giorni	90	$68,8 \times 10^{-2}$
	180	151×10^{-2}
	270	275×10^{-2}

40.5 Correzione in caso di incorporazione antecedente

Intervallo di sorveglianza T = 180 giorni:	$E_{50} = M \cdot 6,9 \cdot 10^{-1} - E_{50}^a \cdot 0,25$
--	--

41. Th-232

41.1 Metabolismo

Il 90 % del torio-232 inalato (ipotesi: ossido o idrossido, classe di assorbimento S) viene eliminato, nell'arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 2 \times 10^{-4}$). Circa il 5 % rimane fissato nei polmoni per lungo tempo. La permanenza nei polmoni è determinata, a causa del lungo tempo di dimezzamento fisico, dai meccanismi di clearance polmonare. Il torio che raggiunge la circolazione sanguigna viene principalmente depositato a lungo termine nel tessuto osseo, dove rilascia una dose relativamente elevata al midollo osseo a causa della continua ristrutturazione ossea.

41.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio (obbligatoria)

Misurazione della concentrazione di torio-232 nell'aria del luogo di lavoro (sorveglianza dell'aria).

Soglia di misura: 70 Bq h/m³ (valore integrato su un anno)

In caso di superamento della soglia di misura, vengono raccolte e misurate le feci e le urine dei primi 3 giorni. Se la misura risulta superiore a 10 volte la soglia, si effettua anche una misurazione con un rivelatore a corpo intero.

A complemento delle misurazioni di sondaggio, si effettua ogni anno una misurazione della concentrazione C_u di Th-232 nelle urine in Bq/l.

41.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	—	T _{misura} :	360 giorni	t _{evento} :	immediatamente
--------------------------	---	-----------------------	------------	-----------------------	----------------

41.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

Ciascun risultato positivo deve essere analizzato singolarmente.

E₅₀ = C_u · {e_{inh}/m(t)} E₅₀ = M_{st} · {e_{inh}/m(t)} E₅₀ = M · {e_{inh}/m(t)}	misurazione delle urine misurazione delle feci misurazione del corpo intero	t [giorni]	Urine e _{inh} /m(t) [Sv·l/Bq]	Feci e _{inh} /m(t) [Sv·g/Bq]	Corpo intero e _{inh} /m(t) [Sv/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv		1	1,3	0,011×10 ⁻²	0,24×10 ⁻⁴
C _u : Risultato della misuraz. in Bq/l (urine)		2	5,1	0,0075×10 ⁻²	0,48×10 ⁻⁴
M _{st} : Risultato della misuraz. in Bq/g (feci)		3	8,8	0,014×10 ⁻²	0,86×10 ⁻⁴
M: Risultato della misuraz. in Bq (corpo intero)		4	11	0,034×10 ⁻²	1,3×10 ⁻⁴
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq		5	12	0,086×10 ⁻²	1,6×10 ⁻⁴
m(t): Frazione di escrezione giornaliera nelle urine (= 1,4 l) in l ⁻¹ o nelle feci in g ⁻¹ o ritenzione nel corpo intero.		6	13	0,21×10 ⁻²	1,8×10 ⁻⁴
		7	15	0,48×10 ⁻²	1,9×10 ⁻⁴
		15	22	2,4×10 ⁻²	2,1×10 ⁻⁴
		30	28	3,4×10 ⁻²	2,4×10 ⁻⁴
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione.		45	34	4,8×10 ⁻²	2,6×10 ⁻⁴
Se il momento di incorporazione è sconosciuto, si assume t = T/2		90	44	11×10 ⁻²	3,1×10 ⁻⁴
		180	53	32×10 ⁻²	3,6×10 ⁻⁴

42. U-235

42.1 Metabolismo

Il 90 % circa dell'uranio inalato (ipotesi: ossido, classe di assorbimento S) viene eliminato, sull'arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 2 \times 10^{-3}$). Circa il 5 % rimane fissato nei polmoni per lungo tempo. La permanenza nei polmoni è determinata dai meccanismi di clearance polmonare. L'uranio che raggiunge la circolazione sanguigna viene eliminato molto efficacemente attraverso i reni. La dose polmonare domina; la ritenzione ossea è di poca importanza. Nel caso di composti solubili come UF₆, bisogna prestare attenzione anche alla tossicità chimica.

42.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione della concentrazione di U-235 nell'aria del luogo di lavoro (sorveglianza dell'aria respirabile).

Soglia di misura: 140 Bq h/m³ (valore integrato su un anno)

In caso di superamento della soglia di misura, vengono raccolte e misurate le feci e le urine dei primi 3 giorni.

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione della concentrazione C_u di U-235 nelle urine in Bq/l.

42.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	—	T _{misura} :	90 giorni	tevento:	immediatamente
--------------------------	---	-----------------------	-----------	----------	----------------

42.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

Ogni risultato positivo deve essere analizzato singolarmente.

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$ $E_{50} = M_{st} \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	Urine $e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]	Feci $e_{inh}/m(t)$ [Sv·g/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	0,012	0,055×10 ⁻³
C _u : Risultato della misuraz. in Bq/l (urine)	2	0,19	0,038×10 ⁻³
M _{st} : Risultato della misuraz. in Bq/g (feci)	3	0,33	0,073×10 ⁻³
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	4	0,36	0,17×10 ⁻³
m(t): Frazione di escrezione giornaliera nelle urine (= 1,4 l) in l ⁻¹ o nelle feci in g ⁻¹ .	5	0,39	0,44×10 ⁻³
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione. Se il momento di incorporazione è sconosciuto, si assume t = T/2	6	0,43	1,1×10 ⁻³
	7	0,45	2,4×10 ⁻³
	15	0,71	12×10 ⁻³
	30	1,1	17×10 ⁻³
	45	1,4	24×10 ⁻³
	90	2,0	55×10 ⁻³
	180	2,6	165×10 ⁻³

43. U-238

43.1 Metabolismo

Il 90 % circa dell'uranio inalato (ipotesi: ossido, classe di assorbimento S) viene eliminato, nell'arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 2 \times 10^{-3}$). Circa il 5 % rimane fissato nei polmoni per lungo tempo. La permanenza nei polmoni è determinata dai meccanismi di clearance polmonare. L'uranio che raggiunge la circolazione sanguigna viene eliminato molto efficacemente attraverso i reni. La dose polmonare domina; la ritenzione ossea è di poca importanza. Nel caso di composti di uranio solubili come l'UF₆ domina la tossicità chimica.

43.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione della concentrazione di U-238 nell'aria del luogo di lavoro (sorveglianza dell'aria).

Soglia di misura: 150 Bq h/m³ (valore integrato su un anno)

In caso di superamento della soglia di misura, vengono raccolte e misurate le feci e le urine dei primi 3 giorni.

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione della concentrazione C_u di U-238 nelle urine in Bq/l.

43.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	—	T _{misura} :	90 giorni	tevento:	immediatamente
--------------------------	---	-----------------------	-----------	----------	----------------

43.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

Ogni risultato positivo deve essere analizzato singolarmente.

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$ $E_{50} = M_{st} \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [giorni]	Urine $e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]	Selles $e_{inh}/m(t)$ [Sv·g/Bq]
E ₅₀ : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	0,011	0,052×10 ⁻³
C _u : Risultato della misuraz. in Bq/l (urine)	2	0,18	0,036×10 ⁻³
M _{st} : Risultato della misuraz. in Bq/g (feci)	3	0,31	0,068×10 ⁻³
e _{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq	4	0,33	0,16×10 ⁻³
m(t): Frazione di escrezione giornaliera nelle urine (= 1,4 l)) in l ⁻¹ o nelle feci in g ⁻¹	5	0,36	0,41×10 ⁻³
t: Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione. Se il momento di incorporazione è sconosciuto, si assume t = T/2	6	0,40	1,0×10 ⁻³
	7	0,42	2,3×10 ⁻³
	15	0,67	12×10 ⁻³
	30	1,0	16×10 ⁻³
	45	1,3	23×10 ⁻³
	90	1,9	52×10 ⁻³
	180	2,4	154×10 ⁻³

44. Np-237

44.1 Metabolismo

Il 90 % circa del nettunio inalato (ipotesi: classe di assorbimento M) viene eliminato, sull'arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 5 \times 10^{-4}$). Circa il 5 % rimane fissato nei polmoni per lungo tempo. La permanenza relativamente breve nei polmoni è determinata dai meccanismi di clearance polmonare. Il nettunio che raggiunge la circolazione sanguigna viene depositato per tempi lunghi nel tessuto osseo e nel fegato. Il midollo osseo e le cellule germinali ricevono così dosi relativamente elevate. Quando la clearance polmonare è avanzata, l'eliminazione ha luogo principalmente per via urinaria.

44.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione della concentrazione di Np-237 nell'aria del luogo di lavoro (sorveglianza dell'aria).

Soglia di misura: 60 Bq h/m³ (valore integrato su un anno)

In caso di superamento della soglia di misura, vengono raccolte e misurate le feci e le urine dei primi 3 giorni.

Misurazione dell'incorporazione

Misurazione della concentrazione C_u di Np-237 nelle urine in Bq/l

44.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

Tsondaggio:	—	Tmisura:	90 giorni	tevento:	immediatamente
-------------	---	----------	-----------	----------	----------------

44.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

Ogni risultato positivo deve essere analizzato singolarmente.

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$ $E_{50} = M_{st} \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$ $E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	misurazione delle urine misurazione delle feci misurazione dei polmoni	t [giorni]	Urine $e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]	Feci $e_{inh}/m(t)$ [Sv·g/Bq]	Giorni $e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E_{50} : Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv		1	$3,4 \times 10^{-3}$	$0,014 \times 10^{-2}$	$2,6 \times 10^{-4}$
		2	$1,6 \times 10^{-2}$	$0,010 \times 10^{-2}$	$2,7 \times 10^{-4}$
C_u : Risultato della misuraz. in Bq/l (urine)		3	$3,0 \times 10^{-2}$	$0,019 \times 10^{-2}$	$2,7 \times 10^{-4}$
		4	$4,4 \times 10^{-2}$	$0,045 \times 10^{-2}$	$2,8 \times 10^{-4}$
M_{st} : Risultato della misuraz. in Bq/g (feci)		5	$6,2 \times 10^{-2}$	$0,12 \times 10^{-2}$	$2,8 \times 10^{-4}$
		6	$8,1 \times 10^{-2}$	$0,28 \times 10^{-2}$	$2,8 \times 10^{-4}$
M : Risultato della misuraz. in Bq (polmoni)		7	0,11	$0,65 \times 10^{-2}$	$2,9 \times 10^{-4}$
		15	0,21	$3,6 \times 10^{-2}$	$3,3 \times 10^{-4}$
e_{inh} : Fattore di dose in Sv/Bq		30	0,27	$5,4 \times 10^{-2}$	$3,9 \times 10^{-4}$
		45	0,32	$7,9 \times 10^{-2}$	$4,5 \times 10^{-4}$
$m(t)$: Frazione di escrezione giornaliera nelle urine (= 1,4 l) in l ⁻¹ o nelle feci in g ⁻¹ o ritenzione nei polmoni		90	0,48	0,23	$6,8 \times 10^{-4}$
		180	0,78	1,0	13×10^{-4}
t : Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione. Se il momento di incorporazione è sconosciuto, si assume $t = T/2$					

45. Pu-239

45.1 Metabolismo

Il 90 % circa del plutonio inalato (ipotesi: ossido, classe di assorbimento S) viene eliminato, nell'arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie e l'apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 1 \times 10^{-5}$). Circa il 5 % rimane fissato nei polmoni per lungo tempo. La permanenza nei polmoni è determinata dai meccanismi di clearance polmonare. Il plutonio che raggiunge la circolazione sanguigna viene depositato e vi resta a lungo termine nel fegato e nel tessuto osseo, dove rilascia una dose relativamente elevata al midollo osseo a causa della continua ristrutturazione ossea.

45.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio (obbligatoria)
Misurazione della concentrazione di Pu-239 nell'aria del luogo di lavoro (sorveglianza dell'aria).
Soglia di misura: 100 Bq h/m³ (valore integrato su un anno)
In caso di superamento della soglia di misura, vengono raccolte e misurate le feci e le urine dei primi 3 giorni.
A complemento della misurazione di sondaggio si effettua ogni anno una misurazione della concentrazione C_u di Pu-239 nelle urine in Bq/l.

45.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l'evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	—	T _{misura} :	360 giorni	tevento:	immediatamente
--------------------------	---	-----------------------	------------	----------	----------------

45.4 Interpretazione senza tenere conto di un'incorporazione antecedente

Ogni risultato positivo deve essere analizzato singolarmente.

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$ $E_{50} = M_{st} \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	misurazione delle urine misurazione delle feci	t [giorni]	Urine $e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]	Feci $e_{inh}/m(t)$ [Sv·g/Bq]
E_{50} :	Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	5,1	$0,0075 \times 10^{-2}$
C_u :	Risultato della misuraz. in Bq/l (urine)	2	8,3	$0,0052 \times 10^{-2}$
M_{st} :	Risultato della misuraz. in Bq/g (feci)	3	14	$0,0099 \times 10^{-2}$
e_{inh} :	Fattore di dose in Sv/Bq	4	20	$0,024 \times 10^{-2}$
$m(t)$:	Frazione di escrezione giornaliera nelle urine (= 1,4 l) in l ⁻¹ o nelle feci in g ⁻¹	5	26	$0,059 \times 10^{-2}$
t:	Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l'incorporazione. Se il momento di incorporazione è sconosciuto, si assume $t = T/2$	6	31	$0,15 \times 10^{-2}$
		7	37	$0,33 \times 10^{-2}$
		15	61	$1,7 \times 10^{-2}$
		30	68	$2,4 \times 10^{-2}$
		45	68	$3,3 \times 10^{-2}$
		90	73	$7,5 \times 10^{-2}$
		180	73	22×10^{-2}

46. Am-241

46.1 Metabolismo

Il 90 % circa dell’americio inalato (tutti i composti; ipotesi: classe di assorbimento M) viene eliminato, nell’arco di ore o di giorni, attraverso le vie respiratorie e l’apparato digerente (frazione di riassorbimento $f_1 = 5 \times 10^{-4}$). Circa il 5 % rimane fissato nei polmoni per lungo tempo. La permanenza relativamente breve nei polmoni è determinata dai meccanismi di clearance polmonare. L’americio che raggiunge la circolazione sanguigna viene depositato per tempi lunghi nel tessuto osseo e nel fegato. Il midollo osseo e le cellule germinali ricevono così dosi relativamente elevate. Quando la clearance polmonare è avanzata, l’eliminazione ha luogo principalmente per via urinaria.

46.2 Metodi di misurazione

Misurazione di sondaggio

Misurazione della concentrazione di Am-241 nell’aria del luogo di lavoro (sorveglianza dell’aria).

Soglia di misura: 30 Bq h/m³ (valore integrato su un anno)

In caso di superamento della soglia di misura, vengono raccolte e misurate le feci e le urine dei primi 3 giorni. Se la misura è superiore a 10 volte la soglia, si determina anche l’attività nei polmoni mediante uno strumento di misura per l’attività toracica.

Misurazione dell’incorporazione

Misurazione della concentrazione C_u di Am-241 nelle urine in Bq/l

46.3 Intervalli di sorveglianza T e lasso di tempo t tra l’evento e la prima misurazione

T _{sondaggio} :	—	T _{misura} :	90 giorni	t _{evento} :	immediatamente
--------------------------	---	-----------------------	-----------	-----------------------	----------------

46.4 Interpretazione senza tenere conto di un’incorporazione antecedente

Ogni risultato positivo deve essere analizzato singolarmente.

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$ $E_{50} = M_{st} \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$ $E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	misurazione delle urine misurazione delle feci misurazione dei polmoni	t [giorni]	Urine $e_{inh}/m(t)$ [Sv·l/Bq]	Feci $e_{inh}/m(t)$ [Sv·g/Bq]	Polmoni $e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E ₅₀ :	Dose efficace impegnata in 50 anni in Sv	1	0,021	$0,025 \times 10^{-2}$	$4,7 \times 10^{-4}$
C _u :	Risultato della misuraz. in Bq/l (urine)	2	0,16	$0,018 \times 10^{-2}$	$4,8 \times 10^{-4}$
M _{st} :	Risultato della misuraz. in Bq/g (feci)	3	0,29	$0,034 \times 10^{-2}$	$4,9 \times 10^{-4}$
M:	Risultato della misuraz. in Bq (polmoni)	4	0,42	$0,082 \times 10^{-2}$	$5,0 \times 10^{-4}$
e _{inh} :	Fattore di dose in Sv/Bq	5	0,53	$0,21 \times 10^{-2}$	$5,1 \times 10^{-4}$
m(t):	Frazione di escrezione giornaliera nelle urine (= 1,4 l) in l ⁻¹ o nelle feci in g ⁻¹ o ritenzione nei polmoni	6	0,60	$0,51 \times 10^{-2}$	$5,1 \times 10^{-4}$
		7	0,65	$1,2 \times 10^{-2}$	$5,2 \times 10^{-4}$
		15	0,97	$6,4 \times 10^{-2}$	$5,9 \times 10^{-4}$
t:	Lasso di tempo, in giorni, tra la misura e l’incorporazione.	30	1,5	$9,6 \times 10^{-2}$	$7,1 \times 10^{-4}$
	Se il momento di incorporazione è sconosciuto, si assume t = T/2	45	1,8	14×10^{-2}	$8,2 \times 10^{-4}$
		90	2,4	41×10^{-2}	12×10^{-4}
		180	3,4	159×10^{-2}	23×10^{-4}

C Spiegazioni riguardanti le schede caratteristiche specifiche

Le schede caratteristiche specifiche dei radionuclidi sono stabilite secondo uno schema unificato. Ogni scheda comprende 5 parti. Nella prima viene dato un cenno del metabolismo dell'isotopo. I metodi per la misurazione dell'incorporazione e la misurazione di sondaggio sono indicati nella seconda parte. Quando la soglia di misura non viene superata, in generale si può assumere che la dose efficace impegnata annua non supera 1 mSv. Nella parte seguente sono indicati gli intervalli di sorveglianza. Gli ultimi due paragrafi permettono l'interpretazione dei risultati delle misure secondo l'allegato 11.

Bibliografia:	1. Metabolismo:	ICRP 30 ¹ , ICRP 78, ICRP 119
	2. m(t):	ICRP 78, BfS ²
	3. e _{inh} :	ICRP 68 (identica al BSS ³ e alla direttiva 96/29/Euratom ⁴)

¹ International Commission on Radiological Protection, www.icrp.org

² Deutsches Bundesamt für Strahlenschutz [Ufficio federale tedesco per la radioprotezione], www.bfs.de.

³ International Atomic Energy Agency (IAEA): International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources (1996), Safety Series No. 115, www.iaea.org.

⁴ Direttiva 96/29/Euratom del Consiglio del 13 maggio 1996 che stabilisce le norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti, GU L 159 del 29.6.1996, pag. 1 segg.
