

RELAZIONE TECNICA DI RADIOPROTEZIONE

Allegata alla istanza di riconvalida del Nulla Osta di Categoria B relativa a pratiche con sorgenti di radiazioni ionizzanti detenute dalla Azienda Sanitaria Locale di Viterbo (Art. 52 D.Lgs. 101/2020), rilasciati in conformità alla previgente normativa (Artt. 235.1, 235.5 D.Lgs. 101/2020), incluso l'allontanamento dal regime autorizzatorio (Art. 54.4 D. Lgs. 101/2020)

03 Marzo 2025

Redatta da:

Dott. Leonardo Chiatti
Esperto in Radioprotezione n. 30369
Resp. UO Fisica Sanitaria ASL Viterbo

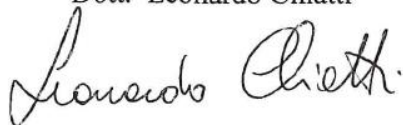
Validata da:

Dott. Stefano Maccafeo
Medico Responsabile dell'Impianto
Resp. UO Medicina Nucleare ASL Viterbo

L' Esperto in Radioprotezione

Responsabile della U.O. Fisica Sanitaria

Dott. Leonardo Chiatti



Dott. LEONARDO CHIATTI
Esperto in Radioprotezione
III° Grado n. 369 (D.Lgs. 101/2020)

Il Medico Responsabile dell'Impianto

Dott. Stefano Maccafeo

ASL VITERBO
Polo Ospedaliero Presidio Belcolle
U.O.S.D. MEDICINA NUCLEARE
Dirigente Responsabile
Dott. Stefano Maccafeo



Ospedale S. Rosa (ex Belcolle) di Viterbo
Unità Operativa di Medicina Nucleare

Relazione di Radioprotezione
(Art. 109 D.Lgs. 101/2020)

- 1. Premessa**
- 2. Descrizioni locali ed aree (All. XIV punto 3.4.A)**
 - 2.1 Area SPECT**
 - 2.1.1 Descrizione e caratteristiche dei locali e delle aree**
 - 2.1.1.a Camera calda
 - 2.1.1.b Sala somministrazione ed ergonomia
 - 2.1.1.c Sala attesa calda pazienti e WC caldi
 - 2.1.1.d Sala esame SPECT e locale comandi
 - 2.1.1.e Zona filtro
 - 2.1.2 Classificazione degli ambienti e delle aree**
 - 2.2 Area PET (estensione di prevista realizzazione)**
 - 2.2.1 Descrizione e caratteristiche dei locali e delle aree**
 - 2.2.1.a Camera calda
 - 2.2.1.b Sala somministrazione-attesa calda pazienti
 - 2.2.1.c Bagno caldo
 - 2.2.1.d Locale decontaminazione
 - 2.2.1.e Locale controllo di qualità
 - 2.2.1.f Zona filtro
 - 2.2.1.g Sala esame PET e locale comandi
 - 2.2.1.h Sala medici
 - 2.2.2 Classificazione degli ambienti e delle aree**
- 3. Criteri seguiti per la classificazione delle aree e del personale ai sensi dell'Art. 133 D.Lgs. 101/20 (All. XIV punto 3.4 B)**
 - 3.1 Criteri di classificazione degli ambienti e delle aree**
 - 3.2 Criteri di classificazione del personale**
- 4. Descrizione delle operazioni, delle sorgenti di radiazione e delle attrezzature (All. XIV punto 3.4.c) e giustificazione della pratica (Artt. 4,50,157 del D.Lgs. 101/2020)**
 - 4.1 Descrizione delle operazioni**
 - 4.2 Logica dei percorsi**
 - 4.3 Descrizione delle sorgenti**
 - 4.4 Modalità di movimentazione delle sorgenti non sigillate all'interno della installazione**
 - 4.5 Descrizione delle attrezzature**
 - 4.6 Giustificazione della pratica (Artt. 4, 50, 157 D.Lgs. 101/2020)**
- 5. Barriere protettive e dispositivi di sicurezza (All. XIV punto 3.4.c)**
 - 5.1 Valutazione delle schermature della zona calda area SPECT**
 - 5.2 Valutazione delle schermature dell'area PET**
 - 5.3 Dispositivi di sicurezza**
- 6. Valutazione del rischio e modalità di limitazione delle esposizioni in condizioni di normale attività (All. XIV punto 3.4.d; Art. 109, comma 2.a D.Lgs. 101/2020)**
 - 6.1 Esposizione del personale in condizioni di esercizio**

6.1.1 Area SPECT

6.1.2 Area PET

6.1.3 Radioembolizzazione con microsfere di Y-90

6.2 Esposizione della popolazione in condizioni di esercizio

7. Individuazione e analisi degli scenari comportanti esposizioni potenziali da eventi anomali (All. XIV punto 3.4.d)

7.1 Valutazioni preventive delle esposizioni potenziali nei casi di emergenza radiologica di cui all'Art. 174 D.Lgs. 101/2020

- a) Contaminazione personale
- b) Spargimento di liquido radioattivo
- c) Incendio
- d) Allagamento
- e) Sisma

8. Produzione e modalità di gestione dei rifiuti radioattivi; modalità previste per la disattivazione delle installazioni (All. XIV punto 3.4.e)

8.1 Rifiuti radioattivi solidi (All. XIV punto 3.5)

8.2 Rifiuti liquidi (All. XIV punto 3.6). Stima della quantità di escreti dei pazienti immessi nel sistema fognario dall'Installazione ed all'esterno dell'installazione (All. XIV punto 3.8.b)

8.3 Rifiuti aeriformi (All. XIV punto 3.6)

8.4 Riciclo e riutilizzo dei materiali; modalità previste per la disattivazione delle installazioni (All. XIV punto 3.7.g)

9. Valutazioni delle dosi dell'individuo rappresentativo della popolazione Art. 151 comma 3 D.Lgs. 101/2020 (All. XIV punto 3.4.e)

9.1 Valutazione a seguito di allontanamento di rifiuti solidi (All. XIV, punto 3.6.c, 3.6.d)

9.2 Valutazione a seguito della immissione in ambiente di rifiuti radioattivi liquidi; escreti dei pazienti immessi nel sistema fognario dalla installazione e fuori dalla installazione. Rispetto dei criteri di non rilevanza radiologica (Art. 151 comma 3; All. XIV, punti 3.8.b, 3.8.c). Formula di scarico (Allegato XIV, punti 3.5.c; 3.6.c; 3.8.c).

9.3 Dose all'individuo rappresentativo e rispetto dei criteri di non rilevanza radiologica (All. XIV, punti 3.5.c; 3.6.c; 3.8.c).

10. Vincoli di dose proposti ai fini dell'applicazione del principio di ottimizzazione (All. XIV punto 3.4.f)

11. Criteri e modalità di attuazione degli adempimenti previsti dagli articoli 130 e 131 del D.Lgs. 101/2020

11.1 Periodicità delle valutazioni (Art. 130 D. Lgs. 101/2020)

11.2 Periodicità delle comunicazioni (Art. 130.8 D.Lgs. 101/2020)

11.3 Periodicità dei sopralluoghi (Art 130.1.b,3,4,5.; Art. 131.1.c,e D.Lgs. 101/2020)

11.4 Strumentazione di misura dislocata permanentemente nella installazione

12. Modalità di attuazione degli obblighi previsti dagli Artt. 110, 111 del D. Lgs. 101/2020

13. Benessere di radioprotezione

Allegati: 1) Regolamento di sicurezza; 2) Bibliografia-sitografia

1. Premessa

La presente relazione tecnica contiene le valutazioni di cui all'Art. 109 del D. Lgs. 101/2020, relative alle pratiche esercite presso la Unità Operativa di Medicina Nucleare dell'Ospedale di S. Rosa (Belcolle) in Viterbo. L' esercente è la Azienda Sanitaria Locale di Viterbo, la cui sede legale è Via Enrico Fermi 15, 01100 Viterbo. Essa concerne sia le attività svolte presso i locali attualmente operativi, dedicati ad imaging SPECT, sia le attività previste nei locali adibiti all'imaging PET, attualmente in fase di avvio di realizzazione.

Poiché la presente relazione è espressamente redatta quale allegato alla istanza di riconvalida del Nulla Osta di Categoria B per le pratiche esercite da ASL Viterbo, nella tabella delle attività detenute/consumate oggetto di istanza sono considerate anche due piccole sorgenti di calibrazione e controllo inserite in strumenti di misura gestiti da altre Unità Operative aziendali (Laboratorio Analisi Cliniche Belcolle, Fisica Sanitaria), già precedentemente autorizzate e detenute. Gli estremi della precedenti autorizzazioni sono riportati in una apposita colonna della tabella proposta per la riconvalida.

Oggetto della istanza di riconvalida

A.Pratiche diagnostiche, terapeutiche, analitiche con uso di isotopi radioattivi (Artt. 235.1, 235.5 D-Lgs. 101/2020)

Si riporta la tabella delle attività detenute (istantanee ed annuali) della quale si chiede la convalida (Numero di registrazione sede STRIMS: SRT8109CCQ-VT0013):

Isotopo	Attività massima istantanea (GBq)	Attività annua (GBq)	Sigillato (S) Non sigillato (N)	Dislocazione	Estremi NO
Iodio-131	2,0	50	N	Medicina Nucleare	1
Iodio-123	0,7	35	N	Medicina Nucleare	1
Gallio-67	0,5	7.4	N	Medicina Nucleare	1
Indio-111	0,3	17	N	Medicina Nucleare	1
Tallio-201	2,0	40	N	Medicina Nucleare	1
Tecnezio-99m	30*	1600*	N	Medicina Nucleare	1
Ittrio-90	20	210	N	Medicina Nucleare	1
Erbio-169	0,8	0,8	N	Medicina Nucleare	1
Samario-153	9	300	N	Medicina Nucleare	1
Renio-186	1,3	13	N	Medicina Nucleare	1
Radio-223	0,1	0,6	N	Medicina Nucleare	1
Fluoro-18	10	2125	N	Med. Nucl. PET	2 ⁺
Carbonio-11 [^]	1	90	N	Med. Nucl. PET	2
Gallio-68	1*	25*	N	Med. Nucl. PET	2
Sodio-22	0,037		S	Med. Nucl. PET	4
Germanio-68	0,200		S	Med. Nucl. PET	4
Cesio-137	0,009		S	Medicina Nucleare	3
Cesio-137	$1,85 \times 10^{-5}$		S	Medicina Nucleare	3
Europio-152	$1,85 \times 10^{-5}$		S	Medicina Nucleare	3
Cobalto-57	0,6		S	Medicina Nucleare	3
Sr-90/Y-90	0,003		S	Fisica Sanitaria	3
Nichelio-63	0,555		S	Lab. Analisi Belcolle	3

Note. * = generatori (Mo-Tc, Ge-Ga); le attività indicate si riferiscono alla data di calibrazione del

fornitore. [^] = non prevista produzione on site; ⁺ = attività detenute riviste rispetto a precedente N.O.

Produzione neutronica assente, per tutte le sorgenti in elenco

Riassunto delle pratiche con isotopi e dei relativi estremi autorizzativi

1	Radiofarmaci somministrati a pazienti per diagnostica SPECT o terapia	Determ. Direttore Generale ASL Viterbo n. 2706 del 11/11/2005; parere Comm. Regionale Radioprotezione n. 1788 del 07/10/05 e 1839 del 21/10/05. Delib. Comm. Straord. ASL Viterbo n. 1022/2015; parere Comm. Regionale Radioprotezione n. 388934 del 17/07/2015
2	Radiofarmaci somministrati a pazienti per diagnostica PET	Delib. Direttore Generale ASL Viterbo n. 150/2020; parere Comm. Regionale Radioprotezione n. 89562 del 26/11/2019
3	Sorgenti di marcatura in medicina nucleare, per il controllo di apparecchi SPECT e calibrazione di apparecchi di radioprotezione	Determ. Direttore Generale ASL Viterbo n. 1022/2013; parere Comm. Regionale Radioprotezione n. 1474 del 18/07/2006
4	Sorgenti contenuti in fantocci per il controllo di apparecchi PET, che saranno acquisiti con prossima fornitura di tale tecnologia	<u>Non autorizzate</u> . Si richiede NO contestuale al presente aggiornamento

Verifica delle condizioni richieste dal D. Lgs. 101/20 (Artt. 50-52 ed All. XIV) per la richiesta di nulla osta Cat. B

Tab. I : Attività istantanee relative a sorgenti non sigillate presenti presso la UO Medicina Nucleare ASL di Viterbo (All. XIV)

Isotopo	Attività istantanea (GBq) A_i	Attività Tab. I-1A D. Lgs. 101/20 (GBq) A_0	$A_0 \times 10^6$ (GBq) Art. 1.1.a, punto a-1	$A_i/(A_0 \times 10^6)$
Iodio 131	2,0	10^{-3}	10^3	2×10^{-3}
Iodio 123	0,7	10^{-2}	10^4	7×10^{-5}
Gallio 67	0,5	10^{-5}	10	5×10^{-2}
Indio 111	0,3	10^{-3}	10^3	3×10^{-4}
Tallio 201	2,0	10^{-3}	10^3	2×10^{-3}
Tecnezio 99m	30*	10^{-2}	10^4	3×10^{-3}
Ittrio 90	20	10^{-4}	10^2	0,2
Erbio 169	0,8	10^{-2}	10^4	8×10^{-5}
Samario 153	9	10^{-3}	10^3	9×10^{-3}
Renio 186	1,3	10^{-3}	10^3	$1,3 \times 10^{-3}$
Radio 223	0,1	10^{-4}	10^2	1×10^{-3}
Fluoro 18	10	10^{-3}	10^3	1×10^{-2}
Carbonio 11	1	10^{-5}	10	0,1
Gallio 68	1*	10^{-5}	10	0,1
Totale				0,479

Nota: I valori in terza colonna, moltiplicati per 1000, sono inferiori per diversi isotopi ai valori riportati in prima colonna. Ricorre quindi la necessità di richiedere il nulla osta (Art. 50.1.c.1)

Tab. II : Attività detenute per anno solare relative a sorgenti non sigillate presenti presso la U.O. Medicina Nucleare della AUSL di Viterbo (All. XIV)

Isotopo	Attività annua (GBq) A_a	Attività Tab. I-1A D. Lgs. 101/20 (GBq) A_0	$A_0 \times 50 \times 10^6$ (GBq) Art. 1.1.a, punto a-2	$A_a/(A_0 \times 50 \times 10^6)$
Iodio 131	50	10^{-3}	5×10^4	1×10^{-3}
Iodio 123	35	10^{-2}	5×10^5	7×10^{-5}
Gallio 67	7,4	10^{-5}	5×10^2	$1,48 \times 10^{-2}$
Indio 111	17	10^{-3}	5×10^4	$3,4 \times 10^{-4}$
Tallio 201	40	10^{-3}	5×10^4	8×10^{-4}
Tecnezio 99m	1600*	10^{-2}	5×10^5	$3,2 \times 10^{-3}$
Ittrio 90	210	10^{-4}	5×10^3	$4,2 \times 10^{-2}$
Erbio 169	0,8	10^{-2}	5×10^5	$1,6 \times 10^{-6}$
Samario 153	300	10^{-3}	5×10^4	6×10^{-3}
Renio 186	13	10^{-3}	5×10^4	$2,6 \times 10^{-4}$
Radio 223	0,6	10^{-4}	5×10^3	$1,2 \times 10^{-4}$
Fluoro 18	2125	10^{-3}	5×10^4	$4,25 \times 10^{-2}$
Carbonio 11	90	10^{-5}	5×10^2	$1,8 \times 10^{-1}$
Gallio 68	25*	10^{-5}	5×10^2	5×10^{-2}
Totale				0,3415

Tab. Ibis : Attività istantanee detenute in forma di sorgenti sigillate (All. XIV)

Isotopo	Attività istantanea (GBq) A_i	Attività Tab. I-1A D. Lgs. 101/20 (GBq) A_0	$A_0 \times 3000 \times 10^6$ (GBq) Art. 1.1.b, punto b-1	$A_i/(A_0 \times 3000 \times 10^6)$
Sodio 22	0,037	10^{-3}	3×10^6	$1,2 \times 10^{-8}$
Germanio 68	0,2	10^{-5}	3×10^4	$6,7 \times 10^{-6}$
Cesio 137	0,009	10^{-5}	3×10^4	$3,0 \times 10^{-7}$
Cesio 137	$1,85 \times 10^{-5}$	10^{-5}	3×10^4	$6,0 \times 10^{-10}$
Europio 152	$1,85 \times 10^{-5}$	10^{-3}	3×10^6	$6,0 \times 10^{-12}$
Cobalto 57	0,6	10^{-3}	3×10^6	$2,0 \times 10^{-7}$
S 90/Y 90	0,003	10^{-5}	3×10^4	$1,0 \times 10^{-7}$
Nichelio 63	0,555	10^{-1}	3×10^8	$1,8 \times 10^{-9}$
Totale				0,0000073

Tab. Iibis : Attività annue detenute in forma di sorgenti sigillate * (All. XIV)

Isotopo	Attività annua (GBq) A_a	Attività Tab. I-1A D. Lgs. 101/20 (GBq) A_0	$A_0 \times 50 \times 3000 \times 10^6$ (GBq) Art. 1.1.b, punto b-2	$A_a/(A_0 \times 50 \times 3000 \times 10^6)$
Sodio 22	0,037	10^{-3}	$1,5 \times 10^8$	$2,4 \times 10^{-10}$
Germanio 68	0,2	10^{-5}	$1,5 \times 10^6$	$1,34 \times 10^{-7}$
Cesio 137	0,009	10^{-5}	$1,5 \times 10^6$	6×10^{-9}
Cesio 137	$1,85 \times 10^{-5}$	10^{-5}	$1,5 \times 10^6$	$1,2 \times 10^{-11}$
Europio 152	$1,85 \times 10^{-5}$	10^{-3}	$1,5 \times 10^8$	$1,2 \times 10^{-13}$
Cobalto 57	0,6	10^{-3}	$1,5 \times 10^8$	4×10^{-9}
S 90/Y 90	0,003	10^{-5}	$1,5 \times 10^6$	2×10^{-9}
Nichelio 63	0,555	10^{-1}	$1,5 \times 10^{10}$	$3,6 \times 10^{-11}$
Totale				0,000000146

* Poiché il ciclo d'uso delle sorgenti sigillate qui considerate, e pertanto il loro avvicendamento, è di diversi anni, le attività detenute annue coincidono con quelle istantanee

Attività istantanee

Rapporto di cui all'Art. 2.3.a = 0,479 (Tabella I, totale) + 0,0000073 (Tabella Ibis, totale) = 0,4790073 < 1

Attività annue

Rapporto di cui all'Art. 2.3.b = 0,3415 (Tabella II, totale) + 0,000000146 (Tabella IIbis, totale) = 0,341500146 < 1

Ricorrono quindi le condizioni della richiesta di nulla osta di Categoria B (Artt. 1.2 e 2.3, Allegato XIV).

B. Nulla osta per l'allontanamento dal regime autorizzatorio (Art. 54.4 D. Lgs. 101/2020)

Le pratiche di Medicina Nucleare esercite dalla Azienda Sanitaria Locale di Viterbo presso il reparto di Medicina Nucleare dell'Ospedale di Belcolle in Viterbo implicano la produzione di effluenti, consistenti nei liquami prodotti dai pazienti durante le procedure diagnostiche e terapeutiche (non in ricovero protetto) con somministrazione di isotopi in forma di sorgenti non sigillate. Tali liquami sono raccolti in un apposito impianto di decadimento e scaricati in conformità alla seguente formula di scarico:

Tabella B1. Formula di scarico – deflusso dalle vasche di decadimento

	I-131	I-123	Ga-67	In-111	Tl-201	Tc-99m	Y-90	Er-169	Sm-153	Re-186	Ra-223	F-18	C-11	Ga-68
Attività rilasciata in un singolo scarico (MBq)	87,1	$6,4 \times 10^{-15}$	0,087	0,026	0,044	$4,5 \times 10^{-32}$	0	0	0,003	0,548	0,61	0	0	0
Concentrazione volumica di attività al rilascio (Bq/mc)**	2903 3	$2,1 \times 10^{-15}$	0,029	0,009	0,015	$1,5 \times 10^{-32}$	0	0	0,001	0,183	0,203	0	0	0
Concentrazione massica di attività al rilascio (Bq/g)***	0,032	0	$3,2 \times 10^{-8}$	1×10^{-8}	$1,7 \times 10^{-8}$	0	0	0	$1,1 \times 10^{-9}$	$2,0 \times 10^{-7}$	$0,2 \times 10^{-7}$	0	0	0
Ritorno di dose (μ Sv/anno)*	1,2	0	$1,1 \times 10^{-5}$	$8,4 \times 10^{-6}$	6×10^{-5}	0	0	0	4×10^{-7}	$3,1 \times 10^{-3}$	0,01	0	0	0
Attività annua rilasciata (MBq/anno) – Formula di scarico	871,2	$6,4 \times 10^{-14}$	0,87	0,26	0,44	$4,5 \times 10^{-31}$	0	0	0,03	5,48	6,1	0	0	0
Totale (MBq/anno)	884,4													

* 10 scarichi annui; ** Volume vasca = 3 m³; Cautelativamente: densità liquame = 0,9 g/cm³.

Tabella B2. Formula di scarico - spurgo del gruppo Imhoff a riposo

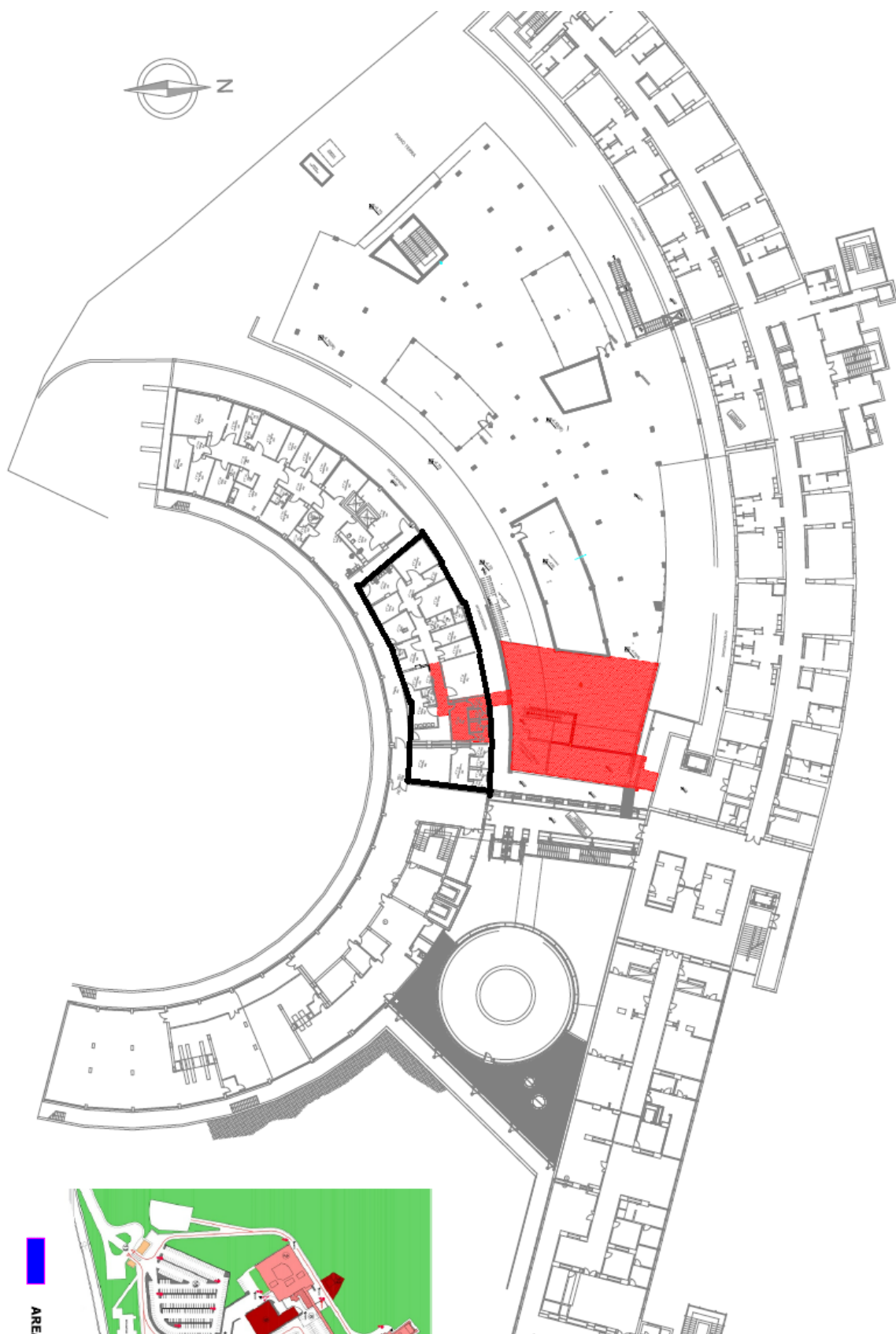
	I-131	I-123	Ga-67	In-111	Tl-201	Tc-99m	Y-90	Er-169	Sm-153	Re-186	Ra-223	F-18	C-11	Ga-68
Concentrazione volumica di attività allo spurgo (Bq/mc)	3,2 x 10 ⁵	1,1 x 10 ⁻⁴¹	0,145	0,006	0,037	4 x 10 ⁻⁹⁸	0	0	9 x 10 ⁻⁷	4,6	1 x 10 ⁻⁴	0	0	0
Concentrazione massica di attività allo spurgo (Bq/g)	0,36	1,2 x 10 ⁻⁴⁷	1,61 x 10 ⁻⁷	6,7 x 10 ⁻⁹	4,1 x 10 ⁻⁸	4,4 x 10 ⁻¹⁰⁴	0	0	1 x 10 ⁻¹²	5,1 x 10 ⁻⁶	1,1 x 10 ⁻¹⁰	0	0	0
Ritorno totale di dose da esposizione esterna (µSv/anno)	< 0,05													
Ritorno totale di dose da inalazione (µSv/anno)	< 10 ⁻⁵													
Attività annua rilasciata (MBq/anno) – Formula di scarico	0,32	1,1 x 10 ⁻⁴⁷	1,45 x 10 ⁻⁷	6,2 x 10 ⁻⁹	3,7 x 10 ⁻⁸	4 x 10 ⁻¹⁰⁴	0	0	9 x 10 ⁻¹³	4,6 x 10 ⁻⁶	0,010	0	0	0
Totale (MBq/anno)	0,32													

* Volume singolo gruppo Imhoff = 1 m³. Ipotezzato uno spurgo annuo (molto cautelativo), dopo tre mesi di riposo.

2. Descrizioni locali ed aree (All. XIV punto 3.4.a)

La Unità Operativa di Medicina Nucleare è ubicata presso l'Ospedale di Belcolle in Viterbo– strada Sanmartinese s.n.c., al piano 2 (interrato) del Blocco E. Essa consta di ambulatori, studi medici, attesa pazienti, zona calda, sala diagnostica con SPECT, tutti disposti allo stesso livello. Costituiscono parte integrante del complesso la centrale per lo smaltimento dei rifiuti liquidi ed il deposito per lo stoccaggio temporaneo dei rifiuti solidi, posti sotto il nuovo Blocco Operatorio, in posizione distaccata rispetto al rimanente reparto.

E' in fase di avvio la costruzione di una estensione del reparto con un nuovo impianto destinato all'imaging PET. Tale estensione si situa al Piano Terra del nuovo Blocco Operatorio, tra il settore semicircolare della Piastra Tecnologica (corpo E) ed il nuovo corpo di fabbrica in fase di ultimazione (corpo A3). Si tratta, a tutti gli effetti, di un ampliamento del reparto esistente ed operativo, direttamente connesso a quest'ultimo.



Collocazione del reparto di Medicina Nucleare (in nero) e della costruenda estensione PET (in rosso) nel contesto del piano seminterrato (attuale Piano I) dell'Ospedale di Belcolle.

2.1 Area SPECT

Nel contesto della area SPECT già operativa la “zona calda” è costituita dall’insieme dei seguenti locali:

- sala gamma camera SPECT;
- sala comando gamma camera;
- locale per misure di captazione tiroidea, sonda a pozzetto e controllo di qualità
- docce calde con antibagno;
- attesa calda, con relativo bagno ed antibagno;
- sala somministrazione ed ergonomia;
- camera calda
- corridoio di collegamento con ingresso paziente ed uscita paziente separate

Nella zona calda sono compresi due bagni con relativi antibagni. Un bagno è a disposizione degli operatori: esso è provvisto di doccia di decontaminazione, mentre nell’antebagno è reperibile il kit di decontaminazione con tanica di TFD, guanti, copriscarpe, scopa e paletta, buste di nylon. L’altro bagno è invece destinato ai pazienti caldi in attesa. Gli scarichi di entrambi i bagni sono collegati con il sistema di raccolta e di decadimento dei rifiuti liquidi.

La zona filtro è separata dalla zona calda mediante porta a scorrimento ed è dotata di accesso dall’esterno per i soli operatori. I rimanenti locali costituiscono la zona fredda e consistono nella attesa fredda pazienti, locale accettazione e studi medici.

I rivestimenti di tutti gli ambienti sono in PVC, esteso fino al controsoffitto e con raccordo sgusciato al pavimento.

2.1.1.a Camera calda

L’accesso alla camera calda avviene attraverso un locale di compensazione delle pressioni con ingresso autorizzato mediante card. Chiudendo la porta di accesso è possibile aprire la porta della camera calda vera e propria (tenuta in depressione) oppure quella del locale isolatore (tenuto in sovrappressione).

Nel primo locale, cioè la camera calda vera e propria, sono detenute le sorgenti (sigillate e non sigillate); in questo locale vengono inoltre preparati i radiofarmaci per la somministrazione.

Gli arredi e gli accessori più rilevanti sono i seguenti:

- a) una cella di manipolazione con sistema di aspirazione direttamente collegato con l’esterno e dotata di filtrazione assoluta.
- b) un banco di lavoro in acciaio inox con bordi rialzati e paratia mobile scorrevole con visiva.
- c) un lavello, il cui scarico è collegato con le vasche di raccolta e decadimento, con apertura acqua a gomito per eventuale decontaminazione delle mani degli operatori.
- d) liquidi di decontaminazione, asciugamani di carta, guanti a perdere (ogni altro materiale d’uso è a perdere).
- e) un microcuriometro per la valutazione dell’attività da somministrare al paziente, integrato con la cella di manipolazione.
- f) armadio schermato per deposito radioattivi (30 mmPb)
- g) cella frigorifera schermata (30 mmPb)
- h) set completi di portasiringhe schermati in W, Pb e perspex (per i beta-emettitori)
- i) secchio schermato a pedale
- j) mattoni di piombo a coda di rondine

k) telepinze di manipolazione

Lo sportello del vano passapreparati per il passaggio delle siringhe alla stanza di somministrazione è schermato con 2 mm Pb.

Nel secondo locale è presente un isolatore per marcature cellulari conforme alle norme NBP, un frigorifero per la conservazione di reagenti ed una centralina di controllo della radioattività ambientale. Altri misuratori di attività (un Geiger ed un contaminometro) sono disponibili in un armadio in zona pulita (Sala Esami) per il controllo di eventuali contaminazioni.

2.1.1.b Sala somministrazione ed ergonomia

In questo ambiente è prevista la somministrazione dei radiofarmaci al paziente. Esso è attrezzato con:

- a) un apposito piano di appoggio in acciaio inox per la somministrazione di sostanze marcate ai pazienti per via endovenosa e varie sedie di metallo o formica incombustibile e facilmente decontaminabile.
- b) una poltrona per somministrazioni coperta con lenzuolo di carta a perdere
- c) un secchio schermato con apertura a pedale per rifiuti solidi
- d) una cyclette o tapis roulant per prove sotto sforzo

2.1.1.c Sala attesa calda pazienti e WC caldi

In questo ambiente avviene lo stazionamento dei pazienti “caldi”, cioè già iniettati, in attesa dell'esame. E' attrezzato con mobili di metallo e/o di formica incombustibile e facilmente decontaminabile e con un contenitore schermato per rifiuti solidi con apertura a pedale. Da esso è possibile accedere ai servizi igienici riservati ai soli pazienti caldi. Tutti gli scarichi di questo servizio sono collegati alle vasche di raccolta e decadimento.

2.1.1.d Sala esame SPECT e locale comandi

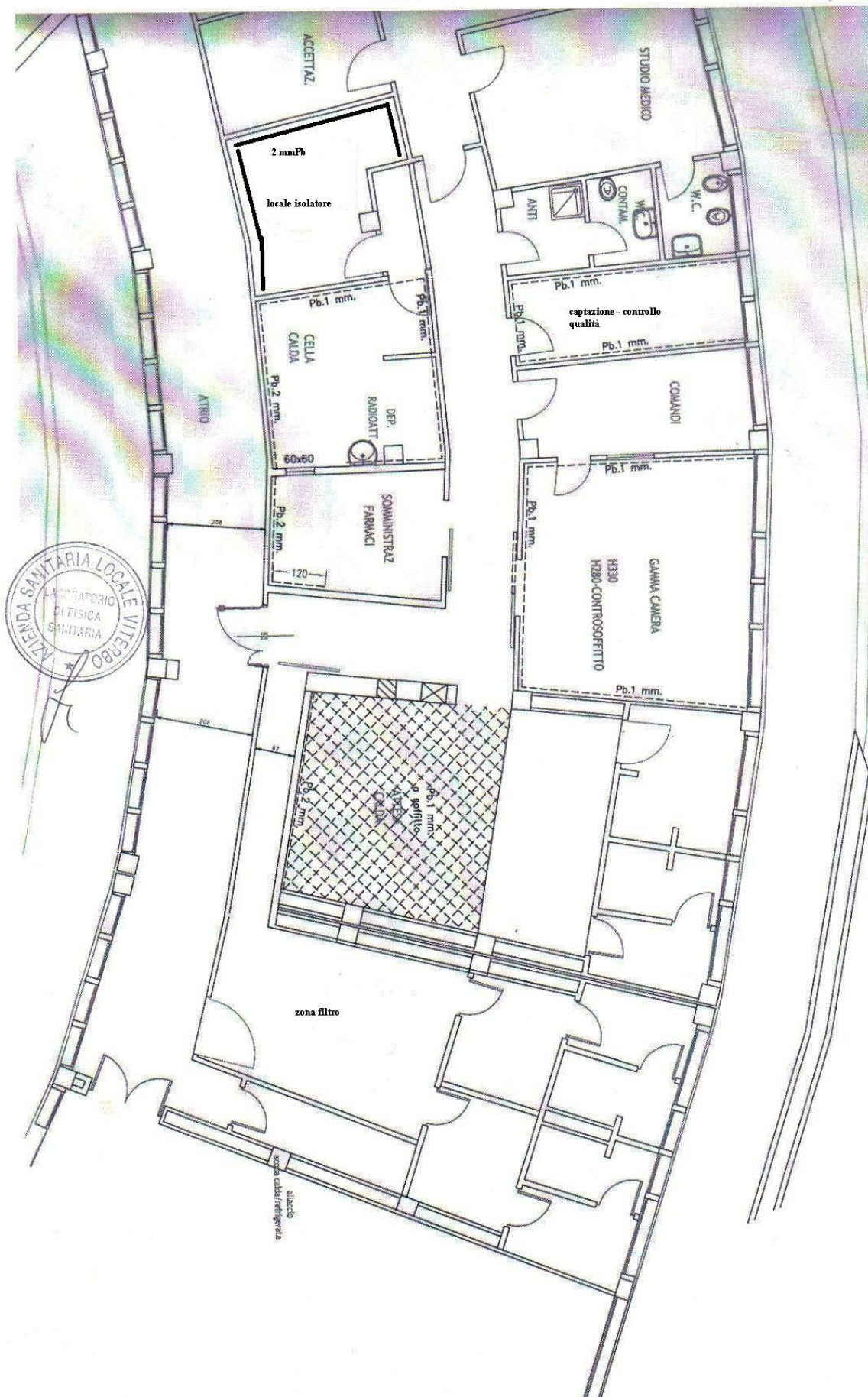
Nella sala esami è installato il tomografo SPECT utilizzato per le procedure di imaging nucleare. La consolle di comando dell'apparecchiatura è collocata in un ambiente adiacente, separato dal primo da parete schermata. Il controllo visuale del paziente è assicurato tramite opportuna visiva schermata.

Nel locale comandi è collocato anche il PC di controllo remoto dell'impianto di smaltimento, collegato anche con il multicanale per la misurazione della concentrazione di attività dei liquami.

2.1.1.e Zona filtro

Alla zona filtro si accede dall'esterno del reparto e tale accesso è consentito ai soli operatori all'inizio e fine del turno. Essa ricomprende i servizi igienici a disposizione degli operatori e lo spazio per il cambio degli indumenti all'inizio e fine del turno. Vi è inoltre dislocato un rivelatore “mani-piedi” per la rilevazione delle contaminazioni personali.

Dalla zona filtro si accede, dopo aver percorso un breve corridoio, alla zona calda a livello della uscita pazienti. I due ambienti sono separati da una porta scorrevole.



2.1.2 Classificazione degli ambienti e delle aree

Sulla base delle valutazioni eseguite, l'intera zona calda è classificata zona controllata. Gli ambienti esterni alla zona calda, identificati complessivamente come zona fredda, sono considerati tutti zona libera.

Il locale raccolta liquami ed il soprastante locale di deposito dei rifiuti solidi sono cautelativamente classificati zona controllata ad accesso interdetto ai non addetti.

2.2 Area PET (estensione di prevista realizzazione)

L'impianto comprende i seguenti locali:

- sala tomografo PET-CT
- sala comandi
- vano tecnico
- camera calda con deposito radioattivi
- sala somministrazione-attesa calda
- bagno caldo;
- stanza decontaminazione;
- locale controllo di qualità (QC)
- zona filtro
- sala medici.

Il locale tecnico esistente adiacente all'impianto, lato sala medici, è il deposito rifiuti radioattivi solidi della UO Medicina Nucleare con annesso corpo scala di accesso al vano sotterraneo delle vasche di decadimento.

L'accesso all'impianto avviene tramite un ponte di collegamento all'attuale corridoio interno della Medicina Nucleare, situato nella Zona Calda del reparto esistente. Tecnicamente, quindi, l'intero ampliamento è un ampliamento della Zona Calda del reparto esistente. Solamente il paziente chiamato per l'esame PET al locale accettazione (posto nella Zona Fredda del reparto esistente) può entrare nell'impianto attraversando, accompagnato dal personale sanitario, la Zona Calda attualmente esistente. Ad eccezione del paziente, solamente gli operatori sono ammessi in Zona Calda e possono quindi accedere all'impianto.

Tenendo conto di questa premessa occorre poi distinguere, all'interno dell'ampliamento, due classi di locali. Alla prima classe appartengono:

- sala tomografo PET-CT
- camera calda con deposito radioattivi
- sala somministrazione-attesa calda
- bagno caldo;
- stanza decontaminazione;
- locale controllo di qualità (QC)

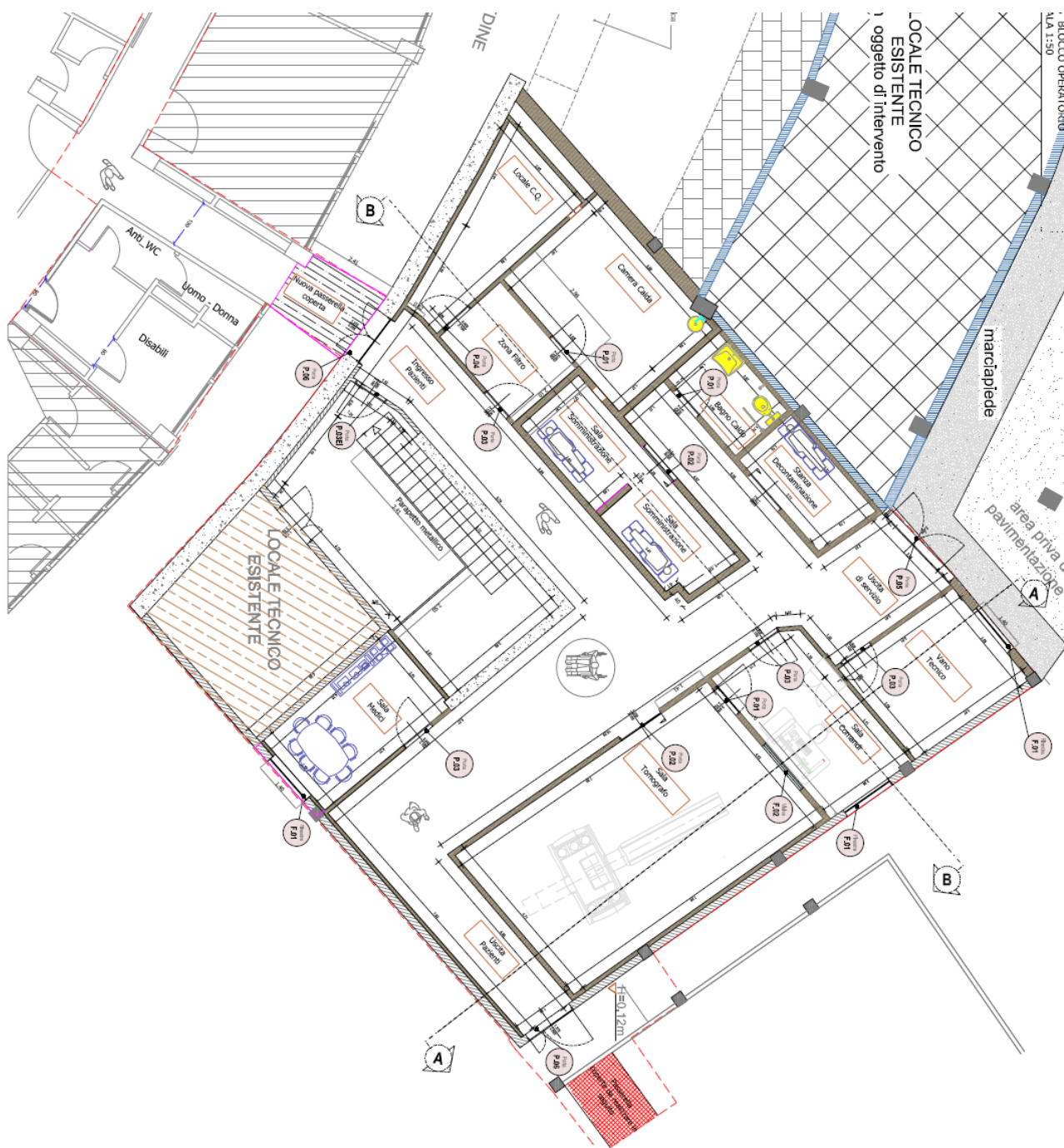
Le pareti di questi locali necessitano di schermature adeguate. I rimanenti locali (vano tecnico, zona filtro, sala medici) non necessitano di tali accorgimenti eccetto nel caso di pareti in comune con i locali della prima classe. La distinzione tra le due classi di locali è definita dalla dislocazione dei radiofarmaci e dalla permanenza del paziente iniettato (due aspetti che non riguardano i locali della seconda classe).

Solamente i pazienti destinati all'esame PET attraversano il ponte di collegamento, accompagnati dal personale sanitario, ed entrano nella area PET. Pertanto la camera calda è destinata al deposito e

lavorazione dei soli radiofarmaci PET; inoltre, la sala somministrazione-attesa calda ed il bagno caldo, collegato con il sistema di raccolta e di decadimento dei liquami, sono per le esigenze dei soli pazienti cui vengono somministrati tali radiofarmaci. I servizi igienici per il personale (bagno ed antibagno) sono collocati nella zona filtro del reparto esistente. Le docce calde sono posizionate nella zona calda del reparto esistente. Dato che le lavorazioni vengono eseguite interamente sotto cella di manipolazione schermata, il loro uso sembra improbabile.

Tutti i locali sono provvisti di condizionamento d'aria senza ricircolo con almeno 5 ricambi/ora (Allegato C del DCA U0008 del 10/02/2011 Regione Lazio). E' garantito il mantenimento in depressione di tutti i locali rispetto al corridoio interno, in modo da assicurare la conformità alla normativa vigente, (D.P.R. 14-1-1997; Allegato C del DCA U0008 del 10/02/2011 Regione Lazio). La zona filtro di accesso alla camera calda ed al locale CQ è in lieve sovrappressione sia rispetto al corridoio di accesso che a questi locali, in conformità alle specifiche del D.M. 30 marzo 2005 (G.U. nr. 168 21/7/2005). La linea di estrazione aria dell'isolatore della camera calda è sotto filtrazione assoluta (HEPA 14).

I rivestimenti di tutti gli ambienti sono in PVC o materiale lavabile e decontaminabile simile, esteso fino al controsoffitto e con raccordo sgusciato al pavimento.



Area PET

2.2.1 Descrizione e caratteristiche dei locali e delle aree

2.2.1.a Camera calda

In questo ambiente è prevista la detenzione, manipolazione e preparazione degli isotopi radioattivi (radiofarmaci PET).

La porta di accesso al deposito dovrà essere opportunamente schermata e munita di chiave ed il locale sarà arredato con :

- a) un armadio schermato per radiofarmaci PET
- b) una cella di manipolazione/isolatore con sistema di aspirazione direttamente collegato con l'esterno e dotato di filtrazione assoluta. La cella dovrà essere schermata con 50 mmPb.
- c) frazionatore di dose automatico con siringhe a doppio calibratore
- d) contenitore schermato per rifiuti radioattivi in acciaio inox
- e) banco decontaminabile in acciaio inox con ante e cassettera
- f) un lavello, il cui scarico deve essere collegato con le vasche di raccolta e decadimento e con apertura acqua a gomito per eventuale decontaminazione delle mani degli operatori.
- g) liquidi di decontaminazione, asciugamani di carta, guanti a perdere (ogni altro materiale d'uso deve essere a perdere)
- h) telepinze per il trasferimento di flaconi radioattivi, da un contenitore schermato ad un altro.
- i) portasinghe schermati
- j) schermasinghe in tungsteno
- k) rivelatore ambientale gamma
- l) computer "all in one" con stampante per la gestione del workflow

Lo sportello per il passaggio delle siringhe alla stanza di somministrazione deve essere schermato con 2 mm Pb. Il frazionatore di dose e gli eventuali generatori devono essere alloggiati entro la cella di manipolazione (non sono ammissibili lavorazioni al banco).

2.2.1.b Sala somministrazione-attesa calda pazienti

In questo ambiente è prevista la somministrazione delle sostanze marcate al paziente. Vi è inoltre previsto lo stazionamento dei pazienti "caldi", cioè già iniettati, in attesa dell'esame. Esso è attrezzato con :

- a) stand per somministrazione
- b) due poltrone per somministrazione reclinabili
- c) due predalini a due gradini
- d) un contenitore schermato per rifiuti radioattivi in acciaio inox
- e) un appendiabiti
- f) un carrello di emergenza multifunzione su ruote

Dovrebbe inoltre essere disponibile un defibrillatore.

2.2.1.c Bagno caldo

La sala somministrazione-attesa calda è collocata nelle immediate vicinanze di un servizio igienico riservato ai soli pazienti in attesa. Tutti gli scarichi di questo servizio sono collegati all'impianto di raccolta e decadimento già esistente. La idoneità dell'impianto nel suo dimensionamento attuale alle necessità ulteriori create dall'ampliamento è discussa in una successiva sezione.

2.2.1.d Locale decontaminazione

In questa stanza sono eseguite le operazioni di decontaminazione su pazienti che siano stati soggetti a contaminazione esterna accidentale. Vi è inoltre raccolto un kit completo di decontaminazione standard per le superfici. Il locale può anche essere utilizzato come area di emergenza per la gestione di eventi clinici critici.

2.2.1.e Locale controllo di qualità

Afferiscono a questo locale le attività di controllo di qualità sui radiofarmaci previsti dalle norme di buona produzione (D.M. 30 marzo 2005). Vi si possono inoltre svolgere, se del caso, le attività di preparazione, carico e scarico di fantocci per i controlli di qualità sul tomografo. L'arredo di minima è il seguente:

- a) banco decontaminabile in acciaio inox con ante e cassettera con protezione mobile
- b) contaminometro portatile
- c) contenitore schermato per rifiuti radioattivi in acciaio inox
- d) radiocromatografo
- e) computer all in one con stampante
- f) sedia su base rotante a rotelle, braccioli ergonomici e schienale

2.2.1.f Zona filtro

La zona filtro è un vano di passaggio che consente l'accesso, dal corridoio interno, alla camera calda ed al locale CQ. L'unico arredo è costituito da un monitor di contaminazione mani-piedi. Le tre porte del locale sono automatiche e l'accesso dal corridoio è regolato da un dispositivo di consenso, ad esempio a badge. Il locale è in lieve sovrappressione rispetto al locale CQ, alla camera calda ed al corridoio esterno.

2.2.1.g Sala esame PET e locale comandi

Nel locale PET-CT è collocato il tomografo per l'esecuzione dei diversi tipi di scintigrafie previsti. La consolle di comando dell'apparecchiatura è collocata nella sala comandi adiacente; la osservazione del paziente è resa possibile da opportuna visiva piombata.

Il vano tecnico ospita tutte le apparecchiature (quadri elettrici, trasformatori, eccetera) ausiliarie del tomografo. L'accesso a questo vano è consentito esclusivamente per ispezione o service.

2.2.1.h Sala medici

La esecuzione degli esami richiede la presenza di un medico nucleare che sarà, almeno in turnazione, dedicato alla supervisione e gestione delle procedure PET. Questo locale è quindi destinato a fornire un appoggio al medico nucleare di turno. La attività di refertazione è invece svolta in Zona Fredda, nel reparto già esistente.

2.2.2 Classificazione degli ambienti e delle aree

L'area PET è una estensione della Zona Calda del reparto esistente. Pertanto tutta l'area è classificata come zona controllata. L'accesso è quindi consentito al solo personale autorizzato ed ai pazienti che devono essere sottoposti ad esame.

3. Criteri seguiti per la classificazione delle aree e del personale ai sensi dell'Art. 133 D.Lgs. 101/20 (All. XIV punto 3.4 B)

3.1 Criteri di classificazione degli ambienti e delle aree

La classificazione degli ambienti è stata effettuata ai sensi dell'Art. 133 del D.Lgs. 101/2020, che fissa i seguenti limiti massimi (per anno solare) di dose efficace a carico del lavoratore operante nelle differenti zone:

Zona Libera:	1 mSv
Zona Sorvegliata:	6 mSv
Zona Controllata:	20 mSv

Come già esposto, sono classificate Zona Libera i locali esclusi dalla zona calda (accettazione, sala attesa fredda pazienti, studi medici). Tutti gli altri locali appartengono alla zona calda della Medicina Nucleare (compresi tutti i locali della estensione PET) e sono quindi classificati Zona Controllata.

3.2 Criteri di classificazione del personale

I criteri seguiti per la classificazione del personale sono quelli enunciati dall'Art. 133 del D.Lgs. 101/2020:

Sono classificati in Categoria A i lavoratori esposti che, sulla base degli accertamenti compiuti dall'Esperto di Radioprotezione sono suscettibili di una esposizione superiore, per anno solare, ad uno qualunque dei seguenti valori:

- 6 mSv di dose efficace
- 15 mSv di dose equivalente per il cristallino
- 150 mSv di dose equivalente per la pelle, mani, avambracci, piedi, caviglie

Sono classificati in Categoria B i lavoratori esposti che, sulla base degli accertamenti compiuti dall'Esperto di Radioprotezione sono suscettibili di una esposizione, per anno solare, ricompresa tra i seguenti valori:

- 1-6 mSv di dose efficace
- >15 mSv di dose equivalente per il cristallino
- 50-150 mSv di dose equivalente per la pelle, mani, avambracci, piedi, caviglie

Sono classificati non esposti i soggetti che, sulla base degli accertamenti compiuti dall'Esperto di Radioprotezione sono suscettibili di una esposizione, per anno solare, non suscettibile di superare i seguenti limiti:

- 1 mSv di dose efficace
- 15 mSv di dose equivalente per il cristallino
- 50 mSv di dose equivalente per la pelle, mani, avambracci, piedi, caviglie

Sulla base di questi criteri e delle valutazioni riportate in questa relazione, il personale impegnato nelle attività di Medicina Nucleare è personale esposto con la seguente classificazione:

Categoria A: Medici Nucleari, Tecnici Sanitari di Radiologia Medica, Infermieri

Categoria B: Studenti del corso TSRM, Medici in consulenza, Fisici Medici, personale ausiliario

4. Descrizione delle operazioni, delle sorgenti di radiazione e delle attrezzature (All. XIV punto 3.4.c) e giustificazione della pratica (Artt. 4,50,157 del D.Lgs. 101/2020)

4.1 Descrizione delle operazioni

Vengono somministrate ai pazienti a scopo diagnostico o terapeutico piccole quantità di radiofarmaci tramite iniezioni o somministrazione per via orale. Le procedure diagnostiche consistono fondamentalmente in attività di imaging eseguita con SPECT (ed in prospettiva PET), o in esami di captazione tiroidea con apposita sonda. Le procedure terapeutiche consistono nella somministrazione di Iodio-131 in forma di ioduro di sodio per il trattamento dell'ipertiroidismo. Sporadicamente, sono anche eseguite somministrazioni terapeutiche per il controllo della metastatizzazione in pazienti oncologici con isotopi Ra-223, Sm-153, Re-186 ed attività di radiosinovioresi del ginocchio (Y-90) e delle dita (Er-169). E' prevista la attivazione di procedure di radioembolizzazione delle metastasi epatiche con microsfele di Y-90. Queste attività sono svolte in accordo a specifiche procedure interne redatte in applicazione di linee guida nazionali.

L'iter di ciascun paziente prevede due fasi distinte: una precedente alla somministrazione del radiofarmaco, detta fase fredda, ed una successiva, detta fase calda. Durante la fase calda, il paziente è confinato all'interno della zona calda, l'accesso alla quale è interdetto ai non addetti. Il percorso del paziente attraverso le due fasi è dettagliato in un punto successivo. L'attività collaterale di refertazione e consulto viene svolta negli ambienti freddi.

4.2 Logica dei percorsi

Il paziente che deve effettuare un esame accede al reparto dal corridoio esterno, attraverso l'ambiente denominato "attesa fredda" ed interloquisce con il personale della accettazione attraverso l'apposito sportello, al quale vengono svolte le formalità di rito. All'arrivo del suo turno, egli viene ammesso nel corridoio interno del reparto entrando dalla zona fredda. Percorrendo tale corridoio rettilineo esso passa in zona calda. A questo punto il percorso è soggetto ad una biforcazione, a seconda che il paziente sia destinato ad un esame SPECT oppure PET.

Paziente destinato ad esame SPECT

Il paziente accede alla sala somministrazione dell'area SPECT, dove gli viene somministrato il radiofarmaco. Successivamente, il paziente si sposta nell'attiguo locale di attesa calda della stessa area, dove aspetta di essere chiamato per l'espletamento dell'esame.

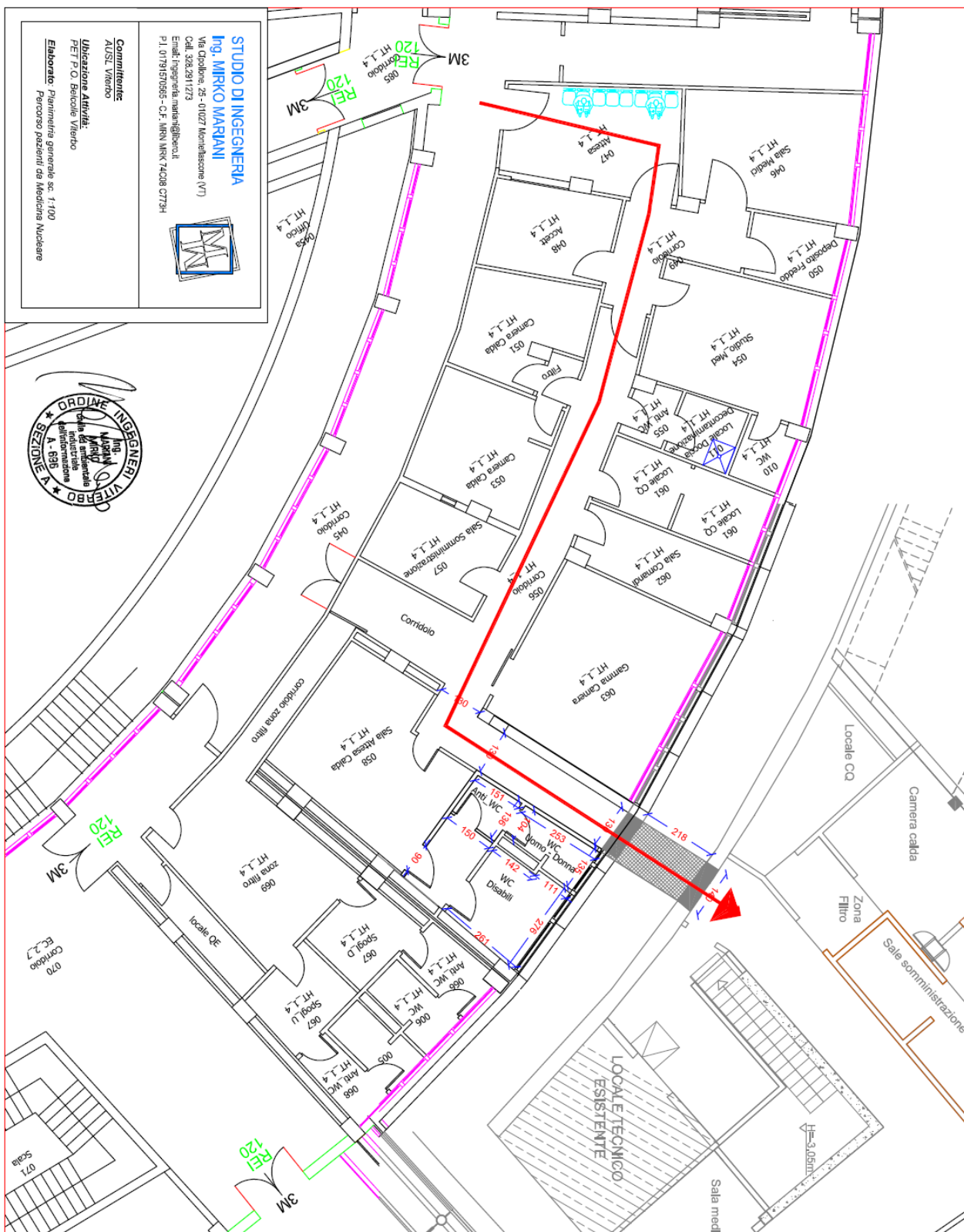
Quando la chiamata arriva egli, attraversando il corridoio interno della zona calda, accede al locale dove è situata il tomografo SPECT (nel caso di esame scintigrafico). E' possibile un precedente passaggio al locale ergonomia, nel caso di prova sotto sforzo. Terminato l'esame, il paziente viene riaccompagnato in attesa calda per la sosta post-esame, terminata la quale egli riattraversa il corridoio interno uscendo dalla porta opposta a quella di ingresso.

Paziente destinato ad esame PET

L'attesa fredda-accettazione è situata nella zona fredda del reparto già esistente di Medicina Nucleare. Il paziente che deve effettuare un esame PET-CT vi espleta le formalità relative alla accettazione ed attende di essere chiamato per la somministrazione del radiofarmaco. All'arrivo della chiamata, accompagnato dal personale sanitario egli viene ammesso al corridoio interno del reparto e varca la porta di accesso alla Zona Calda del reparto esistente. Sempre accompagnato, egli percorre il corridoio interno di tale Zona girando poi a sinistra, in modo da raggiungere l'area PET-CT attraverso il ponte di collegamento. Pervenuto in tale area, egli viene accompagnato al locale somministrazione.

In questo locale l'Infermiere Professionale o, eventualmente, lo stesso Medico Nucleare effettua la somministrazione del radiofarmaco mediante iniezione. Successivamente, il paziente viene fatto sedere su una delle due poltrone regolabili sistemate nelle due distinte posizioni di "attesa calda", in attesa di essere chiamato per l'espletamento dell'esame. Tale attesa è essenzialmente motivata dalla necessità di completare l'uptake del tracciante.

Quando la chiamata arriva, egli viene accompagnato alla sala esame attraverso il corridoio interno della Zona Calda dell'area PET-CT. Terminato l'esame, egli esce dalla sala esame ed attraversando l'altro ramo del corridoio interno esce dal reparto. Il paziente interno barellato segue il medesimo percorso, saltando però la fase di accettazione ed attesa fredda.



Isotopo	Attività massima istantanea (GBq)	Attività annua (GBq)	Sigillato (S) Non sigillato (N)	Dislocazione	Note
Iodio-131	2,0	50	N	Medicina Nucleare	D, T
Iodio-123	0,7	35	N	Medicina Nucleare	D
Gallio-67	0,5	7,4	N	Medicina Nucleare	D
Indio-111	0,3	17	N	Medicina Nucleare	D
Tallio-201	2,0	40	N	Medicina Nucleare	D
Tecnezio-99m	30*	1600*	N	Medicina Nucleare	D
Ittrio-90	20	210	N	Medicina Nucleare	T
Erbio-169	0,8	0,8	N	Medicina Nucleare	T
Samarium-153	9	300	N	Medicina Nucleare	T
Renio-186	1,3	13	N	Medicina Nucleare	T
Radio-223	0,1	0,6	N	Medicina Nucleare	T
Fluoro-18	10	2125	N	Med. Nucl. PET	D
Carbonio-11 [^]	1	90	N	Med. Nucl. PET	D
Gallio-68	1*	25*	N	Med. Nucl. PET	C
Sodio-22	0,037		S	Med. Nucl. PET	C
Germanio-68	0,200		S	Med. Nucl. PET	C
Cesio-137	0,009		S	Medicina Nucleare	C
Cesio-137	0,0000185		S	Medicina Nucleare	C
Europio-152	0,0000185		S	Medicina Nucleare	C
Cobalto-57	0,6		S	Medicina Nucleare	C
Sr-90/Y-90	0,003		S	Fisica Sanitaria	I
Nichelio-63	0,555		S	Lab. Analisi Belcolle	I

4.4 Modalità di movimentazione delle sorgenti non sigillate all'interno della installazione

La sequenza di movimentazione è, nel complesso, la seguente:

ricezione del radioisotopo da fornitore
manipolazione sotto cappa schermata per la preparazione della dose da somministrare
somministrazione del radiofarmaco
gestione del paziente

Il materiale radioattivo è consegnato da vettore autorizzato direttamente al reparto, seguendo il più breve cammino possibile all'interno dell'Ospedale. Il TSRM accettante registra il carico su apposito portale informatico (Physico-MS) accedendo allo specifico modulo. Su un altro portale (ASTRIM) sono registrate dal TSRM le singole preparazioni di dose e somministrazioni, con completa tracciatura delle stesse.

Il TSRM prepara le dosi prescritte dal Medico Nucleare utilizzando la cella schermata di manipolazione posizionata in camera calda e attraverso la finestra passa-preparati passa i flaconi schermati alla sala somministrazione, dove il Medico Nucleare o l'Infermiere provvede alla somministrazione.

Le figure professionali coinvolte nell'impiego degli isotopi sono: Medici Nucleari, Tecnici di Radiologia, Infermieri Professionali, Biologi e Fisici Sanitari.

I Medici Nucleari possono eseguire la somministrazione del radiofarmaco e talvolta essere coinvolti nella gestione del paziente caldo. Essi sono coinvolti nelle attività di sala operatoria concernenti la chirurgia radioguidata e la radioembolizzazione, disciplinate da idonee procedure interne.

I Tecnici di Radiologia sono preposti alle seguenti fasi esecutive :

- 1) preparazione del radiofarmaco in camera calda - ad es. per eluizione e frazionamento
- 2) posizionamento del paziente (in appoggio all'Infermiere)
- 3) esecuzione della scintigrafia

Gli Infermieri Professionali somministrano i radiofarmaci ai pazienti e possono essere coinvolti in attività di assistenza ai pazienti caldi.

I Biologi svolgono la loro opera nelle procedure di marcatura cellulare. Sono inoltre coinvolti nel controllo di qualità previsto dalle norme di buona preparazione dei radiofarmaci (NBP). Tali attività si svolgono essenzialmente in camera calda, in particolare nel locale isolatore, e nel locale controllo di qualità.

Compiti dei Fisici Sanitari sono il controllo di qualità periodico sugli acquisitori di dati (gamma camera e sonde) nonché sulle apparecchiature di misura della attività somministrata al paziente (microcuriometri). Sono inoltre coinvolti in attività di supporto alla clinica in Zona Controllata, se richiesto.

4.5 Descrizione delle attrezzature

In aggiunta alle dotazioni tecnologiche dei singoli locali, analiticamente descritte nella Sezione 2, sono disponibili un Geiger ed un contaminometro, conservati in un armadio in zona pulita (Sala Esami) per il controllo di eventuali contaminazioni e/o sospette anomalie.

4.6 Giustificazione della pratica (Artt. 4, 50, 157 D.Lgs. 101/2020)

La giustificazione in generale delle pratiche di Medicina Nucleare descritte in questa relazione è desumibile dalla letteratura scientifica, e dalle linee guida nazionali ed internazionali che raccomandano tali pratiche. La giustificazione in termini radioprotezionistici della singola prestazione è un atto medico demandato al Medico Nucleare responsabile della sua effettuazione.

5. Barriere protettive e dispositivi di sicurezza (All. XIV punto 3.4.c)

5.1 Valutazione delle schermature della zona calda area SPECT

- 1) Considerazioni preliminari

Le presenti valutazioni sono relative alla attività prevalente con impatto sul dimensionamento delle barriere fisse, cioè l'attività di diagnostica in vivo. I radioisotopi impiegati a tale scopo, nonché i valori inizialmente assunti (in fase di progetto) per il carico di lavoro annuo e l'attività somministrata per esame sono elencati nella tabella seguente.

TABELLA N° 1

<u>Isotopo</u>	<u>Carico di lavoro</u>
I-131	Scintigrafie varie e/o total-body, attività somministrata media/esame 185 MBq, numero di pazienti/anno 250
I-123	Scintigrafie varie, attività somministrata media/esame 185 MBq, numero di pazienti/anno 40
Ga-67	Scintigrafia tumorale, attività somministrata media/esame 185-370 MBq, numero di pazienti/anno 20
In-111	Marcatura radiofarmaci per immunoscintigrafia, attività somministrata media/esame 111-185 MBq, numero di pazienti/anno 90
Tl-201	Scintigrafia tumorale, scintigrafia cardiaca, attività somministrata media/esame 185 MBq, numero di pazienti/anno 200
Tc-99m	Scintigrafie varie, attività somministrata media/esame 740 MBq, numero di pazienti/anno 2000

Sulla base di questo elenco, le attività istantanee ed annue inizialmente assunte per ciascun isotopo furono le seguenti :

TABELLA N° 2

<u>Isotopo</u>	<u>Attività massima istantanea</u>	<u>Attività annua</u>
I-131	2.0 GBq	50 GBq
I-123	0.3 GBq	8 GBq
Ga-67	0.4 GBq	7.4 GBq
In-111	0.2 GBq	17 GBq
Tl-201	0.74 GBq	40 GBq
Tc-99m	30 GBq	1600 GBq

2) Considerazioni tecniche

Il calcolo delle barriere protettive, illustrate nella planimetria in scala 1:50 allegata, è effettuato utilizzando i metodi di calcolo, criteri e tabelle contenuti nelle seguenti pubblicazioni: I.C.R.P. N. 33, I.C.R.P. N. 35, I.C.R.P. N. 60, nonché i dati sui radioisotopi disponibili sul sito della Health Physics Society (www.nchps.org/nsds.htm)

Per maggior dettaglio la base dei calcoli è esposta nell'appendice A del presente allegato.

I principali dati utilizzati per l'analisi delle barriere sono elencati di seguito, per ciascuno dei radioisotopi di interesse.

TABELLA N° 3

<u>Isotopo</u>	<u>Emivita</u> <u>T_{1/2}</u>	<u>Energia keV</u> <u>(% abbondanza)</u>	<u>Spessore decivalente</u> <u>SDV</u>	<u>Costante Γ</u> <u>($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2$)/(h·GBq)</u>
I-131	8.02 d	364 (81%), 637 (7%), 284 (6%)	11 mm Pb	66.2
I-123	13.20 h	159 (83%)	2 mm Pb	74,78
Ga-67	78.30 h	93 (40%), 184 (20%), 300 (17%), 393 (20%)	6 mm Pb	26.7
In-111	2.83 d	172 (90%), 245 (94%)	3 mm Pb	87.5
Tl-201	73.10 h	167 (9.4%), 68-82 (93%)	1 mm Pb	17.1
Tc-99m	6.02 h	140 (90%)	1 mm Pb	21.3

Il valore della costante Γ per lo I-123 riporta alla dose in aria; per gli altri elementi esso riporta alla dose in tessuto.

La classificazione delle aree è la seguente:

area calda : zona controllata

area fredda: zona libera

A titolo precauzionale, l'obiettivo di progetto della sala comandi SPECT è stato comunque considerato quello della zona libera. Di conseguenza, solamente nel contesto di questo Allegato, il locale sala comandi è assimilato ad una "zona libera".

I limiti di dose da non superare, prescritti dalla legge per le diverse zone sono:

<u>zona libera</u> :	$H = 1 \text{ mSv/anno}$,
<u>zona controllata</u> :	$H = 20 \text{ mSv/anno}$.

I locali soprastanti e sottostanti sono da considerarsi "zona libera".

3) Spessori delle barriere

Barriere protettive aggiuntive rispetto alle semplici pareti devono essere previste, all'interno della zona calda, per i seguenti locali:

- sala Gamma Camera;
- sala somministrazione-ergonomia;
- locale captazione tiroidea-controllo di qualità;
- deposito radiofarmaci – camera calda-camera isolatore;
- attesa calda
- WC di decontaminazione

Nella planimetria sono indicati gli ambienti interni alla zona calda e gli spessori di piombo previsti.

Data la natura delle sorgenti (radioisotopi in forma non sigillata e pazienti a cui è stato somministrato il radiofarmaco), tutte le barriere sono da considerarsi barriere primarie.

Il carico di lavoro, in termini di numero di pazienti annuo e di attività somministrata o detenuta, è stato dedotto dalle tabelle 1 e 2 precedentemente riportate.

Ai fini del calcolo delle barriere, si sono considerati solo Tc-99m e I-131, data l'evidente prevalenza del numero di esami effettuati e della attività detenuta per questi due radioisotopi; l'effetto degli altri è stato considerato complessivamente e, cautelativamente, come se tutti i restanti esami fossero eseguiti con il Ga-67.

Per tutte le barriere, il fattore d'uso U è stato assunto uguale ad 1. Il fattore di occupazione T è stato assunto uguale ad 1 per tutte le zone interne all'area calda e per gli ambienti ai piani superiori, uguale ad $\frac{1}{4}$ per tutte le zone esterne al reparto, inclusi gli ambienti al piano inferiore (si tratta di corridoi di transito o di passaggi per personale addetto alla manutenzione dell'edificio e di spogliatoi).

Nei paragrafi successivi, sono riassunti i criteri di calcolo e il giudizio sull'idoneità delle barriere, con o senza prescrizioni, per tutti gli ambienti analizzati; i dettagli dei calcoli, nonché gli spessori di Pb calcolati sono riportati per esteso in appendice B.

Sala SPECT

In questo ambiente, la fonte di irraggiamento è costituita dai pazienti sottoposti a esame scintigrafico.

Per ogni tipo di scintigrafia, si è assunto che la durata dell'esame sia di 30 min. Dal numero di esami per anno riportati in tabella 1 si ottengono i seguenti valori per il numero di ore l'anno di permanenza dei pazienti all'interno della sala:

$$t = 145 \text{ h/anno}$$

$$t = 1000 \text{ h/anno}$$

$$t = 155 \text{ h/anno}$$

Si assume una distanza media da tutte le pareti pari a 2 m.

Sulla scorta delle valutazioni eseguite, si ritiene che lo spessore di progetto sia ampiamente sufficiente per le pareti, il pavimento ed il soffitto.

Sala di somministrazione-ergonomia

Anche in questo ambiente, la fonte di irraggiamento è costituita dai pazienti, per la precisione quelli sottoposti a prove da sforzo (ergonomia) o quelli a cui è stato appena somministrato il radiofarmaco (somministrazione).

Il numero di pazienti annuo e/o il tempo di permanenza è sicuramente inferiore ai valori considerati per il locale Gamma Camera. Si ritiene, pertanto, ampiamente sufficiente lo spessore di progetto previsto per questi locali (si veda a proposito l'appendice B).

Camera Calda e Deposito radiofarmaci

In questo ambiente, la fonte di irraggiamento è costituita dai radioisotopi in deposito, con i quali vengono preparati i radiofarmaci al momento dell'esecuzione dell'esame.

Le attività massime istantanee per i diversi radioisotopi custodite nel locale sono elencate nella tabella 2. Tale attività vengono detenute per tutto l'anno solare, per cui questo determina un numero di ore l'anno per tutte le sorgenti pari a:

$$t = 24 \text{ h/giorno} \times 365 \text{ giorni/anno} = 8760 \text{ h/anno}$$

Il Tc-99m è, antecedentemente alla eluizione e frazionamento, stoccato in una colonna di eluizione dello spessore di piombo di 2,5 cm circa. La colonna viene conservata in un vano piombato, all'interno della cella di manipolazione, con pareti dello spessore di 4 cm in tutte le direzioni.

Gli altri radiofarmaci sono custoditi all'interno di un armadio schermato con 2 mmPb, o di un frigorifero schermato con identiche caratteristiche. Le confezioni devono essere avvolte in mattoni di piombo a coda di rondine per uno spessore complessivo di 30 mm su tutti i lati. In queste condizioni la schermatura è ritenuta idonea.

Attesa calda

In questo ambiente, la fonte di irraggiamento è costituita dai pazienti che stazionano al suo interno, in attesa di eseguire l'esame oppure in attesa di tornare in reparto (se interni). Le percentuali ipotizzate sono 80% di pazienti esterni e 20% interni.

Il tempo di permanenza è stimabile pari a 2h (esterni) e 4h (interni).

Sulla base del numero di esami per radioisotopo in tabella 1, si può calcolare il tempo di permanenza delle “sorgenti” all’interno della sala pari a:

$$\begin{aligned} t &= 700 \text{ h/anno} \\ t &= 4800 \text{ h/anno} \\ t &= 750 \text{ h/anno} \end{aligned} \quad \text{Tutti gli altri (Ga-67)}$$

Gli spessori indicati nel progetto sono risultati idonei.

WC di decontaminazione

È destinato all’espletamento delle prime operazioni di decontaminazione a seguito di eventi incidentali collegati all’impiego clinico dei radiofarmaci. A causa dell’occasionalità dell’occupazione di detto ambiente, si ritiene che gli spessori previsti da progetto siano ampiamente sufficienti a garantire gli obiettivi di progetto.

4) Porte

La porta di accesso al locale gamma-camera SPECT è schermata con 1 mmPb per abbattere la dose nella zona controllata costituita dal corridoio di servizio e transito pazienti.

Non si provvede alla installazione di una porta piombata in attesa calda (che potrebbe creare qualche problema di comunicazione in caso di richiesta di assistenza), mentre è predisposta una paratia mobile che lasci lo spazio per l’ingresso-uscita di singole persone. Tale paratia può essere facilmente spostata nei casi in cui crei ingombro.

APPENDICE A: formulario

Significato dei termini:

Γ = costante – rateo di Kerma in aria o in tessuto $\left(\frac{\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{GBq}} \right)$

H_L = equivalente di dose massima ammissibile per la zona oltre la barriera (mSv / anno)

T = fattore di occupazione della zona a valle della barriera.

A = attività somministrata per esame, oppure attività massima istantanea detenuta (GBq)

t = tempo di permanenza della sorgente nell’ambiente considerato (h/anno)

d = distanza minima sorgente barriera (m)

Numero spessori decivalenti (SDV) per radiazione primaria

$$N_{10} = \log \left(\frac{\Gamma \cdot A \cdot t \cdot T}{H_L \cdot d^2} \right)$$

APPENDICE B: dettagli dei conteggi delle barriere

Sala gamma camera

Barriera	Categoria	Zona a valle	H (mSv/anno)	T	d (m)	N ₁₀	Note
N° 1 (terrapieno)	Non necessaria (tutta roccia)						
N° 2 (bagni attesa calda)	Primaria	Controllata	20	1	2	-	(1)
N° 3 (corridoio interno)	Primaria	Controllata	20	1/4	2	-	(1)
N° 4 (comandi)	Primaria	Libera	1	1	2	0.6	(1)
Soffitto	Primaria	Libera	1	1	2	0.6	(1)
Pavimento	Primaria	Libera	1	1/4	2	-	(1)

Note :

- (1) Gli N₁₀ riportati sono relativi al Tc-99m.

Cella calda e deposito radioattivi

Barriera	Categoria	Zona a valle	H (mSv/anno)	T	d (m)	N ₁₀	Note
N° 1 (corridoio interno)	Primaria	Controllata	20	¼	0.5	2.3	(1)
N° 2 (somministrazione)	Primaria	Controllata	20	1	0.5	2.3	(1)
N° 3 (corridoio esterno)	Primaria	Libera	1	¼	2.5	1.7	(1)
N° 4 (isolatore)	Primaria	Controllata	1	¼	0.5	3.1	(1)
Soffitto	Primaria	Libera	1	1	2.2	2.4	(1,2)
Pavimento	Primaria	Libera	1	¼	2	1.8	(1)

Note :

- (1) Gli N₁₀ riportati sono relativi allo I-131.
(2) Il valore di d per il soffitto è basato sull'ipotesi che le sorgenti siano in deposito a 1 m da terra

Attesa calda (compresi bagni)

Barriera	Categoria	Zona a valle	H (mSv/anno)	T	d (m)	N ₁₀	Note
N° 1 (terrapieno)	Non necessaria (tutta roccia)						
N° 2 (zona filtro)	Primaria	Libera	1	1	2.2	1.2	-
N° 3 (corridoio esterno)	Primaria	Libera	1	1/4	2.2	0.6	(1)
N° 4 (corridoio interno)	Primaria	Controllata	20	¼	2.2	-	-
N° 5 (gamma camera)	Primaria	Controllata	20	1	2.2	-	(2)
Soffitto	Primaria	Libera	1	1	2	1.3	-
Pavimento	Primaria	Libera	1	¼	2	0.7	(1)

Note:

- (1) Il valore N₁₀ riportato è relativo al Tc-99m; dato il basso carico di lavoro, per lo I-131 non è necessario prevedere alcuno spessore aggiuntivo
(2) Schermatura già presente.

Riepiloghi degli spessori di piombo.

<u>Sala Gamma Camera</u>				
<u>Barriera</u>	<u>mm Pb calcolati</u>	<u>mm Pb da progetto</u>	<u>Giudizio</u>	<u>Note</u>
N° 1 (terrapieno)	0	0	Idonea	-
N° 2 (bagni attesa calda)	1	1	Idonea	-
N° 3 (corridoio interno)	1	1	Idonea	-
N° 4 (comandi)	1	1	Idonea	-
Soffitto	1	0	Idonea	(1)
Pavimento	0	0	Idonea	-
<u>Cella calda e deposito radioattivi</u>				
<u>Barriera</u>	<u>mm Pb calcolati</u>	<u>mm Pb da progetto</u>	<u>Giudizio</u>	<u>Note</u>
N° 1 (corridoio interno)	25,5	1	Idonea alle condizioni di cui alla nota	(2)
N° 2 (somministrazione)	25,5	0	Idonea alle condizioni di cui alla nota	(2)
N° 3 (corridoio esterno)	24	2	Idonea alle condizioni di cui alla nota	(2)
N° 4 (isolatore)	34	1	Idonea alle condizioni di cui alla nota	(2, 5)
Soffitto	26	0	Idonea alle condizioni di cui alla nota	(2)
Pavimento	20	0	Idonea alle condizioni di cui alla nota	(2)
<u>Attesa calda (compresi bagni)</u>				
<u>Barriera</u>	<u>mm Pb calcolati</u>	<u>mm Pb da progetto</u>	<u>Giudizio</u>	<u>Note</u>
N° 1 (terrapieno)	-	-	Idonea	
N° 2 (zona filtro)	1.2	-	Idonea	Sufficiente attenuazione della muratura (30 cm circa)
N°3 (corridoio esterno)	0.6	2	Idonea	
N° 4 (corridoio interno)	-	-	Idonea	
N° 5 (gamma camera)	-	1	Idonea	Presenza occasionale di pazienti caldi
Soffitto	1.3	1	Idonea	Lo spessore del soffitto (ca 15 cm di calcestruzzo) garantisce

				sufficiente attenuazione addizionale
Pavimento	0.7	0	Idonea	Lo spessore del pavimento (ca 15 cm di calcestruzzo) garantisce l'attenuazione sufficiente

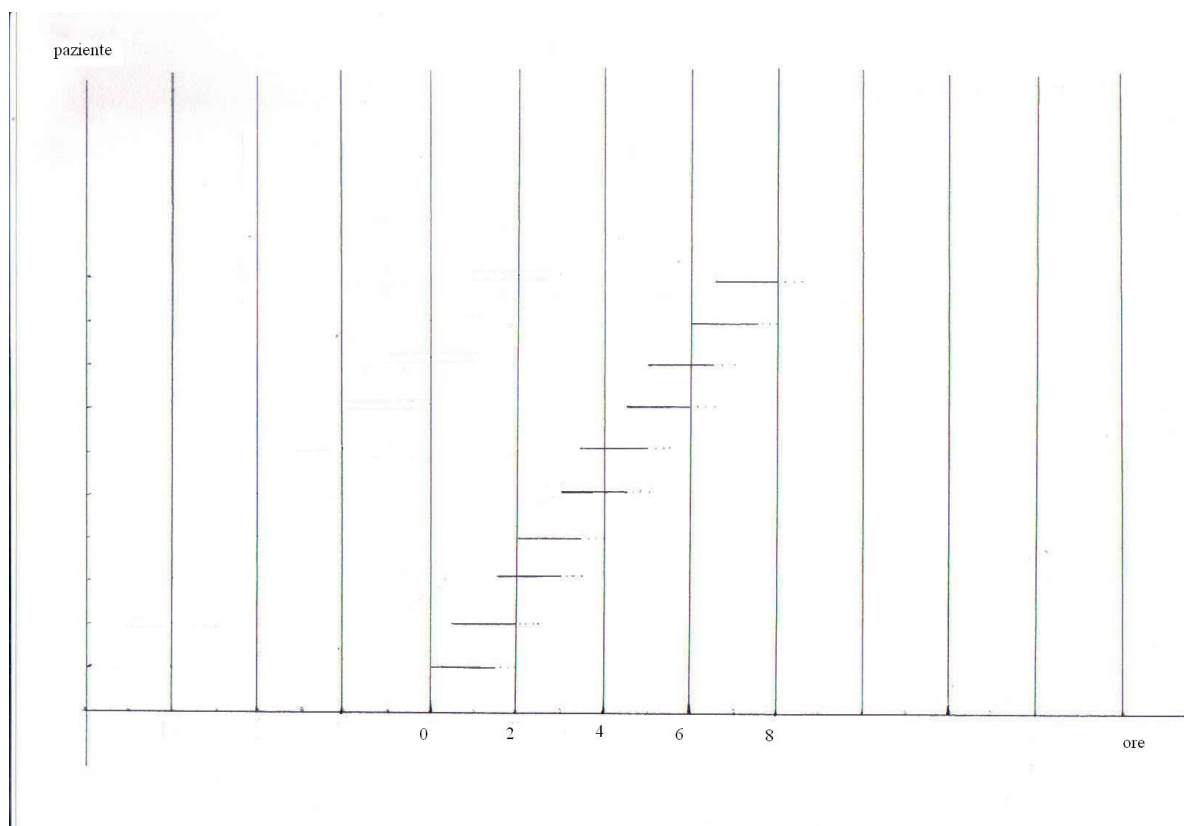
Altri ambienti:	
WC contaminati:	nessuna schermatura (presenza solo occasionale di sorgenti); Idonea
Sala somministrazione	I due portelli di comunicazione devono essere schermati con 2 mm Pb. Le pareti verso la zona libera esterna sono schermate con 2 mmPb. Idonea

Note:

- (1) Nessuno spessore in piombo; è sufficiente lo spessore del soffitto, pari a 15 cm di calcestruzzo.
- (2) Il deposito vero e proprio è costituito da apposito armadio schermato, con uno spessore pari ad almeno 30 mm Pb-equivalente (da ottenersi, eventualmente, con un numero sufficiente di mattoncini di piombo).
Il Tc 99-m è stoccato in una colonna di eluizione dello spessore di 2,5 cm di piombo, alloggiata in un vano con pareti di piombo dello spessore di 4 cm in tutti i lati, all'interno della cella di manipolazione.
- (3) Le pareti indicate come "terrapieno" separano un intercapedine in quota che solo in casi eccezionali potrebbe essere utilizzata per lavori. Il terrapieno vero e proprio, non frequentato, è posto oltre questa intercapedine.
- (4) Le altezze delle schermature sono da intendersi fino a m. 2,20 dal livello del piano di calpestio.
- (5) Il locale isolatore è ulteriormente schermato con 2 mmPb verso l'esterno per garantire la continuità della schermatura nella perimetrazione della zona calda.

5.1 Valutazione delle schermature dell'area PET

Si assume un carico massimo di 2500 pazienti/anno, circa 10 pazienti al giorno, secondo lo schema orario qui raffigurato. Si considera il solo ^{18}F in ragione della sua assoluta prevalenza.



Per ogni paziente consideriamo una fase di permanenza nel locale di somministrazione di 1,5 ore, con una fase di uptake di 1 ora (Raccomandazioni Procedurali AIMN per l'uso oncologico del ^{18}F -FDG, versione 04/2017), seguita da una escrezione urinaria del 15 % della attività residua, e da una fase di esame della durata di 0,5 ore. Ai fini della presente valutazione consideriamo esclusivamente l'isotopo Fluoro-18, con una vita media $\tau = 158$ min. Assumeremo una attività somministrata standard $A_0 = 370$ MBq. Non distingueremo tra la costante gamma specifica per la sorgente nuda e quella per la sorgente incorporata nel paziente. Assumeremo invece cautelativamente un'unica costante gamma specifica pari a quella della sorgente nuda cioè (AAPM TG 108):

$$\Gamma = 0,143 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h MBq}} \quad (\text{ad 1 metro}) .$$

Con queste premesse, la attività media del paziente nella fase di uptake è data da ($1 \text{ h} = 60 \text{ min}$):

$$\begin{aligned} \bar{A}_{\text{uptake}} &= \frac{1}{60 \text{ min}} \int_{t=0 \text{ min}}^{t=60 \text{ min}} A dt = \frac{-A_0 \tau}{90 \text{ min}} \int_{t/\tau=0}^{t/\tau=60/158} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) d\left(\frac{t}{\tau}\right) = \frac{A_0 \tau}{60 \text{ min}} \left(1 - e^{-\frac{60}{158}}\right) = \\ &= \frac{370 \text{ MBq} \times 158 \text{ min}}{60 \text{ min}} (1 - 0,683) = 309 \text{ MBq} . \end{aligned}$$

La attività media del paziente nella successiva fase di scanning di $0,5 \text{ h} = 30 \text{ min}$ è invece:

$$\begin{aligned}\bar{A}_{\text{scanning}} &= \frac{1}{30 \text{ min}} \int_{t=60 \text{ min}}^{t=(60+30) \text{ min}} A dt = \frac{-A_0 \tau}{30 \text{ min}} \int_{t/\tau=60/158}^{t/\tau=(60+30)/158} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) d\left(\frac{t}{\tau}\right) = \frac{A_0 \tau}{30 \text{ min}} \left(e^{-\frac{60}{158}} - e^{-\frac{90}{158}} \right) = \\ &= \frac{370 \text{ MBq} \times 158 \text{ min}}{30 \text{ min}} (0,683 - 0,565) \cong 230 \text{ MBq} .\end{aligned}$$

Tenendo conto della riduzione dovuta alla escrezione urinaria questa attività diventa:

$$\bar{A}_{\text{scanning}} = (1 - 0,15) \times 230 \text{ MBq} = 196 \text{ MBq} .$$

Nella fase di uptake il paziente è seduto immobile sulla poltrona di somministrazione alla distanza di 1 m dalla parete di separazione dal corridoio interno del sito (fattore di occupazione ICRP: T = ¼). Pertanto la dose incidente su tale parete è:

$$\Gamma \times \bar{A}_{\text{uptake}} \times 60 \text{ min} \times \frac{1}{4} = 11 \mu\text{Sv} .$$

Nella fase di scanning il paziente dista circa 2 m dalle pareti 1, 3, 4. La dose incidente su tali pareti è:

$$\Gamma \times \bar{A}_{\text{scanning}} \times 30 \text{ min} \times \frac{1}{4} \times T = 3,50 \mu\text{Sv} \times T$$

Dove il fattore di occupazione T dipende dalla parete. La parete 1 dà su un corridoio interno per il quale può essere assunto T = ¼. La parete 3 dà su una zona esterna con presenza umana assimilabile a quella di un parcheggio; per essa si può assumere T = 1/16. A valle della parete 4 abbiamo un piccolo locale di decontaminazione per il quale si può assumere T = ¼. Le dosi incidenti diventano pertanto:

parete 1: 0,9 μSv;

parete 3: 0,22 μSv;

parete 4: 0,9 μSv .

Nelle stesse circostanze il paziente dista circa 5 m dalla parete 2 di separazione dalla sala comandi (fattore di occupazione ICRP: T = 1). Assumendo cautelativamente eguale a 4 m tale distanza, la dose totale incidente sulla parete 2 è:

$$\Gamma \times \bar{A}_{\text{scanning}} \times 30 \text{ min} \times \frac{1}{16} = 0,88 \mu\text{Sv} .$$

La dose totale annua incidente sulle pareti è dunque la seguente:

parete sala uptake-corridoio: 2500 pz/anno × 11 μSv/pz = 28 mSv/anno

pareti 1, 4: 2500 pz/anno × 0,9 μSv/pz = 2,3 mSv/anno

$$\text{parete 3: } 2500 \text{ pz/anno} \times 0,22 \text{ } \mu\text{Sv/pz} = 0,6 \text{ mSv/anno}$$

$$\text{parete 2: } 2500 \text{ pz/anno} \times 0,88 \text{ } \mu\text{Sv/pz} = 2,2 \text{ mSv/anno}$$

Per la sala comandi, il corridoio interno e le aree circostanti il sito assumiamo come obiettivo di progetto $H = 1 \text{ mSv/anno}$. Il numero di spessori emivalenti di materiale associati ad una parete con dose annua incidente D è pari a:

$$n\text{HVL} = -\frac{1}{0,693} \ln\left(\frac{H}{D}\right).$$

Si ha dunque, nei quattro casi:

$$\text{parete sala uptake-corridoio: } n\text{HVL} = 4,8$$

$$\text{pareti 1, 4: } n\text{HVL} = 1,2$$

$$\text{parete 3: } n\text{HVL} = 0 \quad (\text{assunti } 1 \text{ mmPb cautelativamente, vedi appresso})$$

$$\text{parete 2: } n\text{HVL} = 1,2.$$

Per la parete di separazione tra la sala uptake ed il corridoio interno è preferibile il calcestruzzo. Questo materiale ha uno spessore emivalente $\text{HVL} = 3,5 \text{ cm}$ per i fotoni di $0,511 \text{ MeV}$ e pertanto ne è sufficiente uno spessore di:

$$3,5 \text{ cm} \times n\text{HVL} = 3,5 \text{ cm} \times 4,8 = 17 \text{ cm}.$$

Il mattone pieno ha $\text{HVL} = 6 \text{ cm}$, per cui si perviene a spessori non convenienti.

Per quanto riguarda invece le pareti della sala esami è senz'altro preferibile un rivestimento interno in piombo, materiale il cui spessore emivalente per i fotoni di annichilazione (tenuto conto della degradazione dovuta all'attraversamento del paziente) è $\text{HVL} = 3 \text{ mm}$. Si ha uno spessore di $3,6 \text{ mmPb}$ da applicare internamente su tutte le pareti eccetto la 3. E' immediato vedere che tale spessore garantisce l'obiettivo di progetto anche per la radiazione X proveniente dalla componente CT dello scanner. Infatti per un tipico tomografo CT con l'isocentro lungo l'asse maggiore della sala in posizione distale rispetto alla sala comandi, i valori di dose per una singola scansione alla apertura massima di 40 mm sono i seguenti:

$$\text{pareti 1,3 : } 2,6 \text{ } \mu\text{Sv/scan}$$

$$\text{parete 2: } 1,3 \text{ } \mu\text{Sv/scan}$$

$$\text{parete 4: } 5,2 \text{ } \mu\text{Sv/scan}$$

$$\text{soffitto: } 5,2 \text{ } \mu\text{Sv/scan}.$$

Tali dati sono forniti da un produttore e sono relativi ad un singolo giro di 1 s , con apertura massima pari a 40 mm . La tecnica era 140 kV , 100 mA e l'oggetto diffusore era un fantoccio body da 32 cm . Pertanto, se consideriamo dieci scansioni a paziente con $\text{pitch}=1$ (che coprono una lunghezza di

scansione di 40 cm che è tipica), con una corrente di 450 mA alla tensione di 140 kV i valori di dose saranno moltiplicati per $(450/100) \times 10 = 45$. Essi diventeranno, per un singolo paziente:

pareti 1,3 : 117 $\mu\text{Sv/pz}$

parete 2: 58,5 $\mu\text{Sv/pz}$

parete 4, soffitto: 234 $\mu\text{Sv/pz}$.

Moltiplicando per 2500 pz/anno si ottengono le dosi annuali incidenti sulle pareti:

pareti 1,3 : 292 mSv

parete 2: 146 mSv

parete 4, soffitto: 585 mSv .

Il fattore di attenuazione a 140 kV (filtrazione media) di una parete di 3,6 mmPb è circa 3×10^{-5} . Moltiplicando per tale fattore le dosi ottenute si ottengono valori di dose a valle delle pareti rispettivamente di 0,009 mSv, 0,004 mSv e 0,017 mSv. Questi risultati dovrebbero essere poi ridotti per il fattore di occupazione dei locali a valle della barriera. I valori finali sono tre-quattro ordini di grandezza più bassi dell'obiettivo di progetto e pertanto, considerate le assunzioni cautelative sfruttate nel calcolo, 3,6 mmPb sono uno spessore adeguato anche per garantire la protezione dai raggi X.

Per la parete 3, essendo $T = 1/16$ si ottiene una dose incidente di $292 \text{ mSv/anno} \times 1/16 = 18,2 \text{ mSv/anno}$. Tale dose equivale ad $\text{nHVL} = 4,2$ cioè ad uno spessore di meno di 1 mmPb. Si assume cautelativamente una schermatura di 1 mmPb.

Il soffitto richiede una attenuazione di 2 mmPb equivalenti a circa 80 mm di cemento ($1,7 \times 10^{-3}$). Poiché lo spessore della parete è di circa 40 cm di cemento e massetto, non sono richieste schermature aggiuntive.

Considerazioni sui locali sotto-soprastanti

Non vi sono locali sottostanti. L'edificio poggia su terreno pieno.

Per quanto riguarda la dose annua incidente sul soffitto nel punto più caldo, ossia in corrispondenza delle poltrone di stazionamento del paziente durante la fase di uptake, essa può essere stimata assumendo una distanza paziente-soffitto di 3 m:

$$2500 \frac{\text{pz}}{\text{anno}} \times 0,143 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h MBq}} \times \bar{A}_{\text{uptake}} \times 60 \text{ min} \times \frac{1}{9} \approx 12,3 \text{ mSv} .$$

Questa dose equivale, con l'obiettivo di progetto $H = 1 \text{ mSv}$, ad un numero di spessori emivalenti $\text{nHVL} = 3,6$. In calcestruzzo si ha uno spessore totale di $3,6 \times 3,5 \text{ cm} = 13 \text{ cm}$. Lo spessore del pavimento del blocco operatorio soprastante risulta essere (dalle sezioni fornite dalla competente UO) di almeno 40 cm di cemento e massetto. Non si ritengono perciò necessarie schermature aggiuntive.

Considerazioni sulla radiofarmacia

Per somministrare 370 MBq di Fluoro-18 a 10 pazienti è necessario un immagazzinamento giornaliero minimo di x MBq di tale isotopo. Come si vede dal grafico orario riportato in figura, passano $6,5 \text{ h} = 390 \text{ min}$ tra la prima somministrazione e l'ultima. Quindi:

$$x e^{-\frac{390}{158}} = 370 \text{ MBq} ,$$

relazione che fornisce un valore di x realisticamente nell'ordine di 5000 MBq. Noi diciamo 10 GBq, attività massima detenuta richiesta in Nulla Osta. A questo carico massimo di tracciante corrisponde un rateo di dose ad 1 m da sorgente nuda di:

$$0,143 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h MBq}} \times 10000 \text{ MBq} \approx 1,43 \frac{\text{mSv}}{\text{h}} .$$

Inserendo tale carico in un isolatore schermato con 50 mmPb (circa 10 spessori emivalenti) tale rateo si abbassa a:

$$1,43 \frac{\text{mSv}}{\text{h}} \times \frac{1}{1024} = 1,4 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}} .$$

Perciò la dose assorbita ad 1 m dalla sorgente in 6,5 h di attività lavorativa non può in ogni caso eccedere:

$$1,4 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}} \times 6,5 \text{ h} = 9,0 \mu\text{Sv} .$$

Il limite superiore rapportato ad un anno è pertanto:

$$50 \frac{\text{settimane}}{\text{anno}} \times 5 \frac{\text{gg}}{\text{settimana}} \times 9,0 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{gg}} = 2,25 \text{ mSv} .$$

Ad una distanza di 2 m dall'isolatore tale dose diviene $2,25 \text{ mSv/anno} \times \frac{1}{4} = 0,56 \text{ mSv/anno}$. Non vi è dunque necessità di schermare le pareti della zona della radiofarmacia se si usa un isolatore con le caratteristiche indicate.

Una parete già esistente, realizzata in cemento poroso dello spessore di 20 cm, separa la futura radiofarmacia dalla centrale termica del nuovo Blocco Operatorio, per la quale si può considerare un fattore di occupazione $T = 1/16$ (locale tecnico). Assumendo una dose incidente reale di 2,5 mSv si ha quindi una dose incidente ai fini del calcolo del numero di HVL che è $2,5 \text{ mSv/anno} \times 1/16 = 0,14 \text{ mSv/anno}$. E' dunque rispettato il limite per la popolazione prescritto dalla normativa vigente. Tale parete non richiede quindi schermatura addizionale.

Per quanto riguarda la parete di separazione tra il bagno caldo utilizzato dai pazienti in fase di uptake ed il corridoio interno ($T = \frac{1}{4}$), considerando un uso di circa venti minzioni al giorno della durata di un minuto l'una, si ha una dose incidente [considerando una distanza paziente-corridoio di 1 m]:

$$2500 \text{ pz} \times 0,143 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h MBq}} \times \bar{A}_{\text{uptake}} \times 20 \text{ min} \times \frac{1}{4} = 9,2 \text{ mSv}$$

Con l'obiettivo di progetto assunto, questa dose equivale ad uno spessore di 3,2 HVL. In calcestruzzo, questo spessore corrisponde a 12 cm. Lo spessore esistente (in cemento) è di 20 cm. Si prescrive cautelativamente una schermatura addizionale di 1 mmPb.

Conclusioni

Parete	Locali separati dalla parete	Schermatura calcolata	Schermatura prevista da progetto
1	Sala tomografo-corridoio interno	3,6 mmPb compresa porta	3,6 mmPb compresa porta
2	Sala tomografo-sala comandi	3,6 mmPb compresa visiva	3,6 mmPb compresa visiva
3	Sala tomografo-cortile esterno	1,0 mmPb	1,0 mmPb
4	Sala tomografo-corridoio interno	3,6 mmPb	3,6 mmPb
5	Camera calda e locale CQ-cortile esterno	17 cm calcestruzzo	17 cm calcestruzzo
6	Camera calda-bagno caldo e corridoio uptake	17 cm calcestruzzo	17 cm calcestruzzo
7	Camera calda-zona filtro	1 mmPb	1 mmPb
8	Camera calda-locale CQ	1 mmPb	1 mmPb
9	Zona filtro-sala somministrazione	17 cm calcestruzzo	17 cm calcestruzzo
10	Sala somministrazione-camera calda e corridoio uptake	17 cm calcestruzzo	17 cm calcestruzzo
11	Sala somministrazione-corridoio	17 cm calcestruzzo	17 cm calcestruzzo
12	Sala somministrazione-corridoio	17 cm calcestruzzo	17 cm calcestruzzo
13	Bagno caldo-centrale tecnica esterna	1 mmPb	3,6 mmPb
14	Stanza decontaminazione-centrale tecnica esterna	1 mmPb	1 mmPb
15	Stanza decontaminazione-corridoio	1 mmPb	1 mmPb
16	Stanza decontaminazione-corridoio uptake	1 mmPb	1 mmPb
17	Bagno caldo-corridoio	1 mmPb	1 mmPb

5.3 Dispositivi di sicurezza

Il reparto di Medicina Nucleare è dotato, come tutti i reparti dell'Ospedale di Belcolle, di sensori di allarme e rilevazione automatica di incendio collegati ad apposita centralina. Le squadre antincendio possono raggiungere il luogo in circa 10 minuti.

6. Valutazione del rischio e modalità di limitazione delle esposizioni in condizioni di normale attività (All. XIV punto 3.4.d; Art. 109, comma 2.a D.Lgs. 101/2020)

6.1 Esposizione del personale in condizioni di esercizio

6.1.1 Area SPECT

Per quanto concerne le attività collegate all'imaging SPECT, ventuno anni di monitoraggio continuo della dose per irradiazione a corpo intero e alle estremità, eseguito mediante dosimetri film badge e TLD-anello, hanno dato costantemente valori contenuti entro i limiti di esposizione per la popolazione, ed in realtà prossimi allo zero, sia per Medici Nucleari che per i Biologi. La dose globale a corpo intero è contenuta entro i limiti di esposizione per la popolazione, e comunque prossima allo zero, anche per i Tecnici di Radiologia e gli Infermieri. La dose alle estremità a carico di queste due figure, pur essendo ampiamente contenuta nei limiti di esposizione dei radioesposti di Categoria A, non è trascurabile, ed è attentamente monitorata.

Naturalmente, la dose alle estremità a carico dei Tecnici di Radiologia proviene dalle procedure di eluizione e frazionamento, e potrà essere ulteriormente contenuta con la prevista acquisizione di un frazionatore automatico per soluzione di Tecnezio, tecnologia recentemente divenuta disponibile. La dose alle estremità degli Infermieri proviene invece dalle procedure di somministrazione del radiofarmaco al paziente, mediante iniezioni. Sono disponibili presso il reparto, per il contenimento di questa dose, schermasiringhe di vari tipi (W, Pb, perspex per i beta-emettitori).

Nei ventuno anni summenzionati non si sono verificati casi di contaminazione di superfici o persone riferiti all'ERP o da questi constatati. Riportiamo di seguito la statistica "worst case" delle dosi a corpo intero ed alle estremità sul quadriennio 2020-23:

	Media (mSv)	Dev. Standard (mSv)
BIOLOGO – LETTURA TRIMESTRALE ESTREMITA'	0,068	0,093
BIOLOGO – LETTURA MENSILE CORPO INTERO	0	0
INFERMIERE – LETTURA TRIMESTRALE ESTREMITA'	3,5	3,8
INFERMIERE – LETTURA MENSILE CORPO INTERO	0,16	0,23
TSRM – LETTURA TRIMESTRALE ESTREMITA'	2,9	3,4
TSRM – LETTURA MENSILE CORPO INTERO	0,010	0,030
MEDICO – LETTURA TRIMESTRALE ESTREMITA'	0,06	0,14
MEDICO – LETTURA MENSILE CORPO INTERO	0,004	0,006
FISICO – CORPO INTERO ANNUALE	< 0,75	

Il rischio connesso con la esposizione interna è trascurabile perché tutte le lavorazioni delle dosi somministrate ai pazienti (compresa l'apertura delle capsule contenenti le pastiglie di radioioduro

di sodio) avvengono con l'uso prescritto di guanti, sotto cella di manipolazione schermata (5 mmPb) e flusso laminare con espulsione senza ricircolo. E' quindi inverosimile sia una contaminazione per ingestione che per adsorbimento o inalazione.

6.1.2 Area PET

Poiché questa area non è ancora operativa, le valutazioni sono di natura previsionale. Le sorgenti radioattive delle quali si prevede l'uso sono tutte costituite da isotopi in forma non sigillata, con la eccezione delle sorgenti di taratura e controllo del sistema PET che sono sigillate e racchiuse in fantocci. Un elenco presuntivo delle sorgenti da utilizzare, del tipo di pratica e del carico di lavoro previsto per ciascun isotopo è riportato nella seguente tabella.

Tabella 1 Carichi di lavoro massimi previsti per la attività PET-CT

Isotopo	Carico di lavoro
F-18	Essenzialmente FDG. Attività somministrata media/esame 375 MBq, numero di pazienti/anno 2250
C-11 *	Possiamo esemplificare con C11-colina per carcinoma prostatico ricorrente. Attività somministrata media/esame 700 MBq, numero di pazienti/anno 125
Ga-68	Generatori Ge-68/Ga-68. Tumori endocrini (es. DOTATOC). Attività somministrata media/esame 200 MBq, numero di pazienti/anno 125
Ge-68	Sorgenti sigillate confezionate entro fantocci per controllo di qualità del sistema PET. 200 MBq
Na-22	Sorgenti sigillate confezionate entro fantocci per controllo di qualità del sistema PET. 37 MBq

* Nota bene: non prevista produzione on site. Approvvigionamento soggetto alla adozione di adeguati protocolli di fornitura su filiera certificata

Sulla base di questo elenco, le attività istantanee ed annue prevedibili per ciascun isotopo sono le seguenti:

Tabella 2 Attività previste per la sezione PET-CT

Isotopo	Attività massima istantanea	Attività annua
F-18	10 GBq	2125 GBq
C-11	1 GBq	90 GBq
Ga-68	1 GBq	25 GBq
Ge-68	200 MBq	
Na-22	37 MBq	

Per le attività detenute e manipolate la radiofarmacia annessa al reparto PET-CT può essere considerata laboratorio di tipo "1".

In condizioni di normale esercizio, e di osservanza delle norme di sicurezza esposte nel seguito della presente relazione, le principali vie di irradiazione degli operatori possono essere riassunte come segue :

a) Tecnici sanitari di radiologia medica

<i>Irradiazione esterna</i>	
Attività	Sorgente
Preparazione radiofarmaco	Radiazione di fuga dagli armadi schermati o dal vano porta colonna nella cappa di manipolazione. Esposizione alle mani per attività in cella di manipolazione. Radiazione di fuga dalle siringhe.
Esecuzione dell' esame	Paziente sottoposto all' esame
<i>Irradiazione interna</i>	
Attività	Sorgente
Preparazione radiofarmaco	Assente
Esecuzione dell' esame	Assente

b) Medici nucleari

<i>Irradiazione esterna</i>	
Attività	Sorgente
Eventuale somministrazione radiofarmaco	Radiazione di fuga dalle siringhe.
Eventuale assistenza all' esame	Paziente sottoposto all' esame.
<i>Irradiazione interna</i>	
Attività	Sorgente
Somministrazione radiofarmaco	Assente
Eventuale assistenza all' esame	Assente

c) Infermieri

<i>Irradiazione esterna</i>	
Attività	Sorgente

Somministrazione del radiofarmaco	Paziente
Accompagnamento ed eventuale assistenza al paziente caldo; posizionamento del paziente	Paziente
<i>Irradiazione interna</i>	
Attività	Sorgente
Somministrazione del radiofarmaco	Assente
Accompagnamento ed eventuale assistenza al paziente caldo; posizionamento del paziente	Assente

d) Ausiliari

<i>Irradiazione esterna</i>	
Attività	Sorgente
Trasporto paziente non deambulante	Paziente barellato
<i>Irradiazione interna</i>	
Attività	Sorgente
Trasporto paziente non deambulante	Assente

e) Fisici sanitari

<i>Irradiazione esterna</i>	
Attività	Sorgente
Controlli di qualità periodici	Fantocci
Consulenza	Paziente
<i>Irradiazione interna</i>	
Attività	Sorgente
Controlli di qualità periodici	Assente
Consulenza	Assente

Le dosi attribuibili ai lavoratori in seguito alle esposizioni ordinarie sopra descritte sono state calcolate utilizzando i dati sui radioisotopi raccolti dalla Health Physics Society, nonché i dati

sperimentali sulla distribuzione delle dosi in corrispondenza delle estremità riportati in Magrini, *op. cit.* e sono così riassumibili.

Condizioni di normale esercizio

a) Tecnici sanitari di radiologia medica (supposte due unità di personale)

Attività	Dose stimata al singolo operatore	Criteri di valutazione
Preparazione radiofarmaco	Dose globale: 2,7 mSv/anno Dose alle mani: 50 mSv/anno	L'intera lavorazione deve essere eseguita sotto cappa e con frazionatore automatico. Assunti 30 secondi di contatto con la siringa schermata, 2125 GBq/anno di F-18 (rateo di dose a contatto circa 2,9 mSv/h/GBq). Assunto 158 μ Sv/h/GBq ad 1 m dal vial per la esposizione globale (AAPM 108)
Esecuzione dell' esame	Dose globale: 7,5 mSv/anno Dose alle mani: trascurabile	Durata della fase di pre-esame a 1 m dal paziente pari a 3 minuti (<u>120 μSv/h per paziente corpo intero con F-18, estremità trascurabile</u>); 2500 esami/anno; 375 MBq somministrati

b) Medici nucleari (due unità di personale)

Attività	Dose stimata	Criteri di valutazione
Eventuale somministrazione radiofarmaco	Limite superiore pari a quello per gli Infermieri	
Eventuale assistenza all' esame	Limite superiore pari a quello per gli infermieri	

c) Infermieri (due unità di personale)

Attività	Dose stimata	Criteri di valutazione
Somministrazione del radiofarmaco	Dose globale: 1,1 μ Sv/anno Dose alle mani: 20 mSv/anno	Assunti cautelativamente gli stessi criteri dei TSRM
Accompagnamento ed eventuale assistenza al paziente	Dose globale: 10 mSv/anno Dose alle mani: trascurabile	Durata della fase di pre-esame a 1 m dal paziente pari a 4 minuti (<u>120 μSv/h per paziente corpo intero</u>)

		con F-18, estremità trascurabile); 2500 esami/anno
--	--	--

d) Ausiliari

Attività	Dose stimata	Criteri di valutazione
Trasporto paziente non deambulante	Dose globale a tutti gli ausiliari: 5 mSv/anno Dose alle mani: trascurabile	60 µSv/h ad 1 m da paziente post-esame; 500 pazienti interni annui; 10 minuti per il trasporto di ciascun paziente

e) Fisici Sanitari (supposta una unità di personale)

Attività	Dose stimata	Criteri di valutazione
Controlli di qualità periodici	Dose globale: < 1 mSv/anno Dose alle mani: 1 mSv/anno	5 minuti di contatto con un fantoccio di 1 GBq, 4 controlli di qualità all'anno
Consulenza	Dose globale: < 1 mSv/anno Dose alle mani: trascurabile	

6.1.3 Radioembolizzazione con microsfere di Y-90

Per quanto riguarda le attività di preparazione del radiofarmaco, i dati del carico di dose al TSRM sono riassunti nella seguente tabella, che assume la manipolazione di 3 GBq per 30 minuti (da: SirTex SIR-Spheres® ⁹⁰Y-resin microspheres; foglio di istruzioni):

	Corpo intero (mSv)	Cristallino (mSv)	Dita (mSv)
Dose profonda Hp(10)	0,027	0,026	0,35
Dose superficiale Hp(0,07)	0,003	0,004	

Moltiplicando questi valori per 10 pazienti/anno si ottengono incrementi di dose piuttosto modesti a carico del TSRM. Per quanto riguarda le attività di infusione del radiofarmaco, i dati del carico di dose al Medico Nucleare sono riassunti nella seguente tabella, che assume la infusione di 2 GBq per 20 minuti (da rif. cit.):

	Corpo intero (mSv)	Cristallino (mSv)	Dita (mSv)
Dose profonda Hp(10)	0,038	0,12	0,32
Dose superficiale Hp(0,07)	0,004	0,054	

Durante il transito delle microsfele nei tubi di somministrazione l'irraggiamento non proviene dal solo frenamento dei raggi beta, ma anche e soprattutto dall'irraggiamento beta diretto. A titolo illustrativo si consideri che a 10 cm da una sorgente non schermata di ^{90}Y della attività di 1 GBq il rateo di dose in aria è di 83,8 cGy/h. Moltiplicando i valori riportati in tabella per 10 pazienti/anno si ottengono incrementi di dose piuttosto modesti a carico del Medico Nucleare. Dato l'attuale trend di dose dei Medici Nucleari, la procedura non sembra porre problemi di possibile superamento dei limiti di legge. Tuttavia il dato dell'ultima colonna pone il problema di una accurata preparazione della procedura e la necessità di un training con sorgenti simulate, al fine di minimizzare i tempi di esposizione ed il carico di dose alle estremità.

6.2 Esposizione della popolazione in condizioni di esercizio

L'impatto sulla popolazione di una Unità di Medicina Nucleare, in termini di dose assorbita, deriva principalmente dalla dispersione nell'ambiente di materiale radioattivo attraverso le vie fognarie (per la maggior parte, escreti dei pazienti). Il livello di radioattività disperso attraverso tali vie viene abbattuto grazie all'impiego di vasche di decadimento, cui sono collegati i bagni della zona calda e la loro gestione attraverso idonee procedure. Il funzionamento dell'impianto di smaltimento dei rifiuti liquidi e la valutazione di non rilevanza radiologica degli scarichi sono discussi in altre sezioni di questa relazione.

Il paziente dimesso dal reparto è inoltre una possibile fonte di esposizione esterna per le persone vicine, fin quando la sostanza radioattiva non sia stata completamente eliminata per decadimento fisico e/o biologico. Tale esposizione però, anche a distanza ravvicinata, comporta valori di dose inferiori al limite per la popolazione, come dimostrato ampiamente in letteratura. Tuttavia ai fini della ottimizzazione sono rilasciate al paziente, per alcune procedure, delle norme comportamentali da seguire nei primi giorni successivi all'esame.

Di seguito una valutazione di massima della esposizione dell'individuo rappresentativo (familiari o altre persone che possono venire a contatto ravvicinato con il paziente dimesso).

Irraggiamento esterno

La valutazione riportata nella seguente tabella si basa sulle seguenti assunzioni:

- I pazienti sottoposti ad attività diagnostica sono dimessi dal reparto con un'attività residua pari al 10% di quella somministrata.
- I pazienti sottoposti ad attività ambulatoriale sono dimessi con una attività pari al 100 % di quella somministrata.
- La componente gamma dei beta-emettitori e del Radio-223 è trascurata.
- Si utilizzano i valori delle costanti gamma riportate in letteratura.

- e) Nelle informazioni rilasciate ai pazienti che tornano al proprio domicilio si raccomanda di tenere una distanza di 2 metri da altre persone per un tempo, dipendente dall'isotopo, che viene comunicato al paziente.
- f) Si considerano i seguenti tempi totali di esposizione dei familiari: 20 ore per la diagnostica, 30 ore per la terapia ambulatoriale; si considera poi una esposizione di 8 ore per l'individuo della popolazione generale.
- g) L'esposizione dell'individuo rappresentativo della popolazione è considerata per un singolo paziente ed un singolo isotopo.

Isotopo	Attività somministrata (MBq)	% Attività residua	Costante gamma [$\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$]	Familiari		Dose all'individuo della popolazione a 1 m per 8 ore
				ore di permanenza	dose a 2 m (μSv)	
Iodio-131	185	10	$5,65 \cdot 10^{-2}$	20	5	8
Iodio-123	185	10	$4,54 \cdot 10^{-2}$	20	4	7
Gallio-67	185	10	$2,08 \cdot 10^{-2}$	20	2	3
Indio-111	110	10	$8,88 \cdot 10^{-2}$	20	5	8
Tallio-201	185	10	$1,16 \cdot 10^{-2}$	20	1	2
Tecnezio-99m	740	10	$2,06 \cdot 10^{-2}$	20	8	12
Ittrio-90	2600	100	$1,14 \cdot 10^{-3}$	30	22	24
Erbio-169	40	100	$0,34 \cdot 10^{-6}$	30	0,0001	0,0001
Samario-153	2000	100	$1,22 \cdot 10^{-2}$	30	183	195
Renio-186	1300	100	$4,91 \cdot 10^{-3}$	30	10	3
Radio-223	25	100	$1,99 \cdot 10^{-2}$	30	4	4
Fluoro-18	370	10	$1,88 \cdot 10^{-1}$	20	35	55
Carbonio-11 [^]	700	10	$1,94 \cdot 10^{-1}$	20	68	109
Gallio-68	200	10	$1,79 \cdot 10^{-1}$	20	18	29
Limite Art. 156.3					3000	300

Contaminazione interna

Viene considerata la introduzione per inalazione, con le seguenti ipotesi:

- a) Volume ambiente = 75 mc
- b) Frazione risospesa nell'ambiente per respirazione del paziente = 10^{-9}
- c) Volume inalato = 1,2 mc/h
- d) Durata contaminazione = 30 minuti/gg per 30 gg/anno

Isotopo	Attività somministrata (MBq)	% Attività residua	ICRP 119 Tab. A1 [Sv/Bq]	Dose per inalazione (Sv)
Iodio-131	185	10	$1,10 \cdot 10^{-8}$	$4,9 \cdot 10^{-11}$
Iodio-123	185	10	$1,10 \cdot 10^{-10}$	$4,9 \cdot 10^{-13}$
Gallio-67	185	10	$2,80 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-12}$
Indio-111	110	10	$3,10 \cdot 10^{-10}$	$8,2 \cdot 10^{-13}$
Tallio-201	185	10	$7,60 \cdot 10^{-21}$	$3,4 \cdot 10^{-23}$
Tecnezio99m	740	10	$2,90 \cdot 10^{-11}$	$5,1 \cdot 10^{-13}$
Ittrio-90	2600	100	$1,7 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$
Erbio-169	40	100	$9,2 \cdot 10^{-10}$	$8,8 \cdot 10^{-14}$
Samario-153	2000	100	$6,8 \cdot 10^{-10}$	$3,2 \cdot 10^{-10}$
Renio-186	1300	100	$1,2 \cdot 10^{-9}$	$3,7 \cdot 10^{-10}$
Radio-223	25	100	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-8}$
Fluoro-18	370	10	$9,3 \cdot 10^{-11}$	$8,2 \cdot 10^{-13}$
Carbonio-11 [^]	700	10	$5,8 \cdot 10^{-10}$	$9,7 \cdot 10^{-12}$
Gallio-68	200	10	$8,1 \cdot 10^{-11}$	$3,9 \cdot 10^{-13}$

7. Individuazione e analisi degli scenari comportanti esposizioni potenziali da eventi anomali (All. XIV punto 3.4.d)

Scenari incidentali tipici

Gli scenari incidentali ragionevolmente ipotizzabili per le diverse categorie di lavoratori sono elencati nel seguito:

a) Tecnici sanitari di radiologia medica

Attività	Incidente
Preparazione radiofarmaco	Dispersione di farmaco con conseguente contaminazione dell' operatore e/o delle superfici di lavoro
Esecuzione dell' esame	Nessuno

b) Medici nucleari

Attività	Incidente
Somministrazione radiofarmaco	Dispersione di farmaco con contaminazione dell' operatore
Eventuale assistenza all' esame	Vomito o incontinenza del paziente

c) Infermieri

Attività	Incidente
Chiamata pazienti caldi ; eventuale assistenza	Vomito o incontinenza del paziente

d) Ausiliari

Attività	Incidente
Trasporto pazienti non deambulanti	Vomito o incontinenza del paziente

e) Fisici sanitari

Attività	Incidente
Controlli di qualità periodici	Versamento di liquido radioattivo con contaminazione dell' operatore

Valutazione del rilascio di dose da scenari incidentali tipici

a) Tecnici sanitari di radiologia medica

Incidente	Dose stimata	Criteri di valutazione
Dispersione di farmaco con conseguente contaminazione	Dose globale: 4 μ Sv/incidente	Nell'ipotesi che venga disperso tutto il farmaco, la

dell' operatore e/o delle superfici di lavoro	Dose alle mani: 37 mSv/incidente	dose globale esterna è paragonabile a quella del presame, già valutata nel paragrafo precedente (<u>4 μSv/incidente corpo intero</u>). Nel caso di contatto con il liquido contaminante, escludendo l'assorbimento cutaneo della sostanza tramite l'uso di guanti, resta l'irradiazione da contatto esterna. Questa può essere paragonata, molto cautelativamente, ad una siringa non schermata (dati da letteratura, Magrini). Sono stati considerati 10 minuti di contatto prima del il lavaggio (<u>solo dose alle mani 37 mSv</u>).
---	----------------------------------	--

b) Medici nucleari

Incidente	Dose stimata	Criteri di valutazione
Dispersione di farmaco con contaminazione dell' operatore	Dose globale: 4 μ Sv/incidente Dose alle mani: 37 mSv/incidente	Stesse ipotesi del punto precedente
Vomito o incontinenza del paziente	Dose globale: 4 μ Sv/incidente Dose alle mani: 37 mSv/incidente	Stesse ipotesi del punto precedente

c) Infermieri

Incidente	Dose stimata	Criteri di valutazione
Vomito o incontinenza del paziente	Dose globale: 4 μ Sv/incidente Dose alle mani: 37 mSv/incidente	Stesse ipotesi del punto precedente

d) Ausiliari

Incidente	Dose stimata	Criteri di valutazione
Vomito o incontinenza del paziente	Dose globale: 4 μ Sv/incidente	Stesse ipotesi del punto precedente

	Dose alle mani: 37 mSv/incidente	
--	----------------------------------	--

e) Fisici Sanitari

Incidente	Dose stimata	Criteri di valutazione
Versamento di liquido radioattivo con contaminazione dell' operatore	Dose globale: 4 μ Sv/incidente Dose alle mani: 37 mSv/incidente	Stesse ipotesi del punto precedente

Radiofarmaci PET

a) Tecnici sanitari di radiologia medica

Incidente	Dose stimata	Criteri di valutazione
Dispersione di farmaco con conseguente contaminazione dell' operatore e/o delle superfici di lavoro	Dose globale per incidente: trascurabile Dose alle mani per incidente: 10 μ Sv	Nell'ipotesi che venga disperso tutto il farmaco, la dose globale esterna è paragonabile a quella del presame, già valutata in sezione 6.1.2. Nel caso di contatto con il liquido contaminante, escludendo l'assorbimento cutaneo della sostanza tramite l'uso di guanti, resta l'irradiazione da contatto esterna. Questa può essere valutata in circa 2 mSv/h. Rimuovendo subito il guanto, il cui uso è obbligatorio, l'esposizione è contenuta in 10 μ Sv circa

f) Medici nucleari

Incidente	Dose stimata	Criteri di valutazione
Dispersione di farmaco con contaminazione dell' operatore	Dose globale per incidente: trascurabile Dose alle mani per incidente: 10 μ Sv	Stesse ipotesi del punto precedente
Vomito o incontinenza del paziente	Dose globale per incidente: trascurabile Dose alle mani per incidente: $\approx$ 100 μ Sv	Circa 10 minuti impegnati nella decontaminazione

g) Infermieri

Incidente	Dose stimata	Criteri di valutazione
Vomito o incontinenza del paziente	Dose globale per incidente: trascurabile Dose alle mani per incidente: $\approx 100 \mu\text{Sv}$	Circa 10 minuti impegnati nella decontaminazione

h) Ausiliari

Incidente	Dose stimata	Criteri di valutazione
Vomito o incontinenza del paziente	Dose globale per incidente: trascurabile Dose alle mani per incidente: $\approx 100 \mu\text{Sv}$	Circa 10 minuti impegnati nella decontaminazione

i) Fisici Sanitari

Incidente	Dose stimata	Criteri di valutazione
Versamento di liquido radioattivo con contaminazione dell'operatore	Dose globale per incidente: trascurabile Dose alle mani per incidente: $10 \mu\text{Sv}$	Stesse ipotesi considerate per i TSRM

7.1 Valutazioni preventive delle esposizioni potenziali nei casi di emergenza radiologica di cui all'Art. 174 D.Lgs. 101/2020

L'eventualità di un incidente all'interno della Medicina Nucleare è dovuta sia ad una errata operazione manuale da parte del personale operatore (con conseguente contaminazione personale e spargimento di liquido radioattivo), sia all'evenienza di un incendio, di un allagamento o di un sisma.

a. CONTAMINAZIONE PERSONALE

Il caso più grave di contaminazione è quello in cui la sostanza radioattiva viene a contatto con la cute dell'operatore. L'utilizzo di guanti per le manipolazioni, da condursi rigorosamente all'interno della cella calda, rende tale evento assai improbabile. E' tuttavia concepibile un evento incidentale in conseguenza di una inosservanza delle norme di sicurezza.

Si può considerare il caso in cui l'1% dell'attività manipolata venga a deporsi su una superficie di 10 cm^2 di cute, e nel quale le procedure di decontaminazione lascino adesa una frazione adsorbita pari all' 1% della attività superficiale iniziale. Con tali assunzioni la dose equivalente alla pelle a seguito di contaminazione superficiale può essere stimata come:

$$H_{0,07}(\text{mSv}) = A(\text{MBq}) \times 10^{-5} (\text{cm}^{-2}) \times \tau (\text{s}) \times \beta_{\text{skin}} [\text{mSv}/(\text{s} \times \text{MBq}/\text{cm}^2)]$$

dove A = attività manipolata, τ = vita media dell'isotopo, β_{skin} = fattore di dose equivalente alla pelle (alla profondità 70 μm) per irradiazione β . Il caso più comune è quello del $\text{Tc}^{99\text{m}}$, per il quale si può assumere $A = 900 \text{ MBq}$ ed è $\tau = 31320 \text{ s}$, $\beta_{\text{skin}} = 0,0683 \text{ mSv}/(\text{s} \times \text{MBq}/\text{cm}^2)$. Si ottiene quindi $H_{0,07} = 19 \text{ mSv}$. Considerando il carattere di eccezionalità dell'evento, si può ritenere che la dose alle estremità riconducibile a questo scenario sia contenuta entro il limite di esposizione della popolazione. Il contributo alla dose efficace non viene calcolato, poiché la ponderazione con il fattore ICRP per l'organo pelle (0,01) e per la frazione di superficie corporea interessata (circa 0,001) lo rende trascurabile.

b. SPARGIMENTO LIQUIDO RADIOATTIVO

Per quanto riguarda lo spargimento di liquido radioattivo a seguito di incidente il personale deve comportarsi secondo le istruzioni contenute nelle norme di protezione e sicurezza. Tali incidenti sono del tutto eccezionali e le contaminazioni superficiali da esse derivanti sono circoscrivibili ed immediatamente rimosse in accordo alle procedure di sicurezza, rendendo minima la possibilità di una eventuale contaminazione interna. L'uso del prescritto kit di decontaminazione, comprensivo di indumenti protettivi, quali guanti, soprascarpe e copricapo, dovrebbe evitare il contatto della cute degli operatori con il liquido soggetto a rimozione. La irradiazione globale esterna dall'eventuale residuo adeso è trascurabile. Nelle stesse ipotesi dello scenario considerato al punto a) si avrebbe, in aggiunta alla dose efficace da contatto già stimata, una dose da irradiazione globale esterna inferiore a:

$$H^*(\text{mSv}) = A(\text{MBq}) \times 10^{-4} \times \tau (\text{s}) \times \Gamma [\text{mSv}/(\text{s} \times \text{MBq}/\text{m}^2)]$$

dove Γ è la costante gamma dell'isotopo. Nel caso del $\text{Tc}^{99\text{m}}$ è $\Gamma = 6,1 \times 10^{-9} \text{ mSv}/(\text{s} \times \text{MBq}/\text{m}^2)$. La dose ambientale calcolata ad un metro di distanza sull'intero decadimento è quindi $1,7 \times 10^{-5} \text{ mSv}$, un valore del tutto trascurabile.

c. INCENDIO

Nel reparto di Medicina Nucleare non è previsto l'impiego di sostanze infiammabili e sono disponibili estintori portatili. In caso di incendio o di allagamento è prioritario:

- far allontanare tutti i pazienti, visitatori, ecc., operando con calma ed in maniera rassicurante e decisa, per evitare qualsiasi forma di panico. Accompagnare i pazienti portatori di radioattività in un luogo sicuro e definito, in attesa di ulteriori provvedimenti;
- far allontanare immediatamente tutto il personale non coinvolto nelle preliminari operazioni di spegnimento; seguire i percorsi di esodo definiti dal Piano Antincendio vigente;
- avvisare gli operatori del Servizio Antincendio, rendendoli edotti della presenza degli isotopi radioattivi, della loro collocazione e della loro attività;
- rimuovere, ove possibile, le sorgenti radioattive;
- in caso di incendio di modesta entità provvedere al primo intervento basato sull'impiego degli estintori portatili sempre disponibili in sede.

Si considera, in via estremamente cautelativa che:

- il locale interessato dall'incidente sia il locale di detenzione delle sorgenti cioè il punto di massimo rischio;
- l'attività detenuta dell'*i*-esimo isotopo sia pari alla massima attività autorizzata A_i ;
- gli operatori siano dotati di dispositivi di protezione individuale (autorespiratori) con fattore di protezione $k_1 = 10^{-3}$ oppure ne siano sprovvisti ($k_1 = 1$);
- una frazione k_2 dell'attività presente sia dispersa in aria;
- tutta l'attività dispersa rimanga confinata nel locale (di volume V);
- non avvengano ricambi d'aria (assunzione ultra-conservativa);
- una frazione f dell'attività risospesa sia incorporata per ingestione;
- il rateo di respirazione sia $I = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ (regime di iperventilazione, in quanto normalmente può ragionevolmente considerarsi pari a $I = 1 \text{ m}^3/\text{h}$);

Con queste ipotesi, la attività dell'*i*-esimo isotopo introdotta in un operatore addetto alla emergenza per inalazione è stimabile come:

$$J_{i,ina} (\text{MBq}) = A_i (\text{MBq}) \times [V(\text{m}^3)]^{-1} \times k_1 \times k_2 \times (1-f) \times I (\text{m}^3/\text{s}) \times T (\text{s})$$

dove T è il tempo di permanenza dell'operatore durante l'intera esecuzione delle operazioni di spegnimento-emergenza. La attività dello stesso isotopo introdotta per ingestione è invece:

$$J_{i,ing} (\text{MBq}) = A_i (\text{MBq}) \times [V(\text{m}^3)]^{-1} \times k_1 \times k_2 \times f \times I (\text{m}^3/\text{s}) \times T (\text{s})$$

La dose efficace impegnata può essere quindi stimata come:

$$H (\text{mSv}) = \sum_i e_{ina} (\text{mSv/MBq}) \times J_{i,ina} (\text{MBq}) + \sum_i [e_{ing} (\text{mSv/MBq}) \times J_{i,ing} (\text{MBq})]$$

attraverso l'uso dei coefficienti di dose efficace impegnata per unità di attività introdotta per ingestione (e_{ing}) e inalazione (e_{ina}) per i lavoratori. Questi coefficienti sono riportati nell'allegato A della Pubblicazione 119 dell'ICRP (della quale consideriamo la versione emendata).

Consideriamo due distinti scenari incidentali: principio di incendio e incendio pienamente sviluppato.

a) Principio di incendio

Gli operatori della Medicina Nucleare presenti nel locale di detenzione rilevano l'incendio e ne tentano lo spegnimento. In tali condizioni è lecito assumere:

- $k_1 = 1$ (assenza di protezioni per le vie respiratorie)
- $k_2 = 0,01$ (il principio d'incendio conduce alla volatilizzazione dell'1% dell'attività detenuta)
- $T = 1 \text{ min}$ (tempo di permanenza per il tentativo di spegnimento)
- $f = 10^{-4}$

La considerazione può essere ristretta, in questo caso, alle sole sorgenti non sigillate in quanto per

le sorgenti sigillate il confezionamento della sorgente ed il contenimento in strutture metalliche rendono inverosimile la possibilità di vaporizzazione nelle prime fasi dell'incendio.

	A(GBq)	V(m ³)	J _{i,ina} (MBq)	e _{ina} (mSv/MBq)	J _{i,ing} (MBq)	e _{ing} (mSv/MBq)	H(mSv)
Iodio-131	2,0	37	0,27	1,1	0,27×10 ⁻⁴	22	0,3
Iodio-123	0,7	37	0,09	1,1×10 ⁻¹	9×10 ⁻⁶	2,1×10 ⁻¹	0,010
Gallio-67	0,5	39	0,07	2,8×10 ⁻²	7×10 ⁻⁶	1,9×10 ⁻¹	0,002
Indio-111	0,3	37	0,04	3,1×10 ⁻²	4×10 ⁻⁶	2,9×10 ⁻¹	0,001
Tallio-201	2,0	37	0,27	7,6×10 ⁻³	0,27×10 ⁻⁴	9,5×10 ⁻²	0,002
Tecnezio-99m	30	37	4,05	2,9×10 ⁻³	4,05×10 ⁻⁴	2,7×10 ⁻²	0,012
Ittrio-90	20	37	2,70	1,7×10 ⁻¹	2,7×10 ⁻⁴	2,7	0,460
Erbio-169	0,8	37	0,11	9,8×10 ⁻²	0,11×10 ⁻⁴	3,7×10 ⁻¹	0,011
Samario-153	9	37	1,21	6,8×10 ⁻²	1,21×10 ⁻⁴	7,4×10 ⁻¹	0,083
Renio-186	1,3	37	0,17	1,2×10 ⁻¹	0,17×10 ⁻⁴	1,5	0,020
Radio-223	0,1	37	0,01	690	1,0×10 ⁻⁶	100	6,9
Fluoro-18	10,0	39	1,35	6,0×10 ⁻³	1,35×10 ⁻⁴	4,9×10 ⁻²	0,008
Carbonio-11 [^]	1,0	39	0,14	3,2×10 ⁻⁴	0,14×10 ⁻⁴	2,4×10 ⁻²	4,4×10 ⁻⁵
Gallio-68	1,0	39	0,14	8,1×10 ⁻³	0,14×10 ⁻⁴	1,0×10 ⁻¹	0,001
Totale							7,8

b) Incendio

Fallito il tentativo di spegnimento del primo incendio, vengono avvertite le squadre di Servizio Antincendio, che intervengono per spegnere l'incendio ormai avanzato. In tali condizioni è lecito assumere:

- $k_1 = 0,001$ (presenza di protezioni per le vie respiratorie: autorespiratori)
- $k_2 = 1$ (l'incendio conduce alla volatilizzazione dell'intera attività detenuta)
- $T = 15$ min (tempo di permanenza per il tentativo di spegnimento)
- $f = 10^{-5}$ (in ragione delle protezioni disponibili)

In uno scenario worst case, sono da considerare anche le sorgenti sigillate. Nel seguito si riportano quelle conservate presso il reparto di Medicina Nucleare. Le dosi individuali stimate per i membri delle squadre sono riportate nella seguente tabella.

	A(GBq)	V(m ³)	J _{i,ina} (MBq)	e _{ina} (mSv/MBq)	J _{i,ing} (MBq)	e _{ing} (mSv/MBq)	H(mSv)
Iodio-131	2,0	37	0,04	1,1	4×10 ⁻⁶	22	0,04
Iodio-123	0,7	37	0,01	1,1×10 ⁻¹	1,3×10 ⁻⁶	2,1×10 ⁻¹	1,1×10 ⁻³
Gallio-67	0,5	39	0,01	2,8×10 ⁻²	1×10 ⁻⁶	1,9×10 ⁻¹	2,8×10 ⁻⁴
Indio-111	0,3	37	5,9×10 ⁻³	3,1×10 ⁻²	0,6×10 ⁻⁶	2,9×10 ⁻¹	1,8×10 ⁻⁴
Tallio-201	2,0	37	4,0×10 ⁻²	7,6×10 ⁻³	4×10 ⁻⁶	9,5×10 ⁻²	3,0×10 ⁻⁴
Tecnezio-99m	30	37	0,6	2,9×10 ⁻³	6,0×10 ⁻⁵	2,7×10 ⁻²	1,7×10 ⁻³
Ittrio-90	20	37	0,4	1,7×10 ⁻¹	4,0×10 ⁻⁵	2,7	6,8×10 ⁻²
Erbio-169	0,8	37	0,02	9,8×10 ⁻²	1,6×10 ⁻⁶	3,7×10 ⁻¹	2,0×10 ⁻³
Samario-153	9	37	0,18	6,8×10 ⁻²	1,8×10 ⁻⁵	7,4×10 ⁻¹	1,2×10 ⁻²
Renio-186	1,3	37	0,02	1,2×10 ⁻¹	2,5×10 ⁻⁶	1,5	2,4×10 ⁻³
Radio-223	0,1	37	1,5×10 ⁻³	690	1,5×10 ⁻⁷	100	1,03
Fluoro-18	10,0	39	0,2	6,0×10 ⁻³	2×10 ⁻⁵	4,9×10 ⁻²	1,2×10 ⁻³
Carbonio-11 [^]	1,0	39	0,02	3,2×10 ⁻⁴	2,1×10 ⁻⁶	2,4×10 ⁻²	6,4×10 ⁻⁶
Gallio-68	1,0	39	0,02	8,1×10 ⁻³	2,1×10 ⁻⁶	1,0×10 ⁻¹	1,6×10 ⁻⁴
Sodio-22	0,037	39	7,4×10 ⁻⁴	2,0	2,8×10 ⁻⁷	3,2	1,5×10 ⁻³
Germanio-68	0,200	39	4,0×10 ⁻³	13	1,5×10 ⁻⁶	1,3	5,2×10 ⁻²
Cesio-137	0,009	37	1,8×10 ⁻⁴	6,7	6,7×10 ⁻⁸	13	1,2×10 ⁻³
Cesio-137	0,0000185	37	3,7×10 ⁻¹⁰	6,7	1,4×10 ⁻¹³	13	2,5×10 ⁻⁹
Europio-152	0,0000185	37	3,7×10 ⁻¹⁰	39	1,4×10 ⁻¹³	1,4	1,4×10 ⁻⁸
Cobalto-57	0,6	37	1,2×10 ⁻⁵	0,94	4,5×10 ⁻⁹	0,21	1,1×10 ⁻⁵
Totale							1,2

c) Esposizione della popolazione

La maggior parte della attività detenuta istantaneamente è stoccata nella cassaforte schermata o nelle due celle di manipolazione (MN ordinaria e PET) situate all'interno delle rispettive camere calde. Si tratta di contenitori rivestiti in acciaio in grado di resistere a temperature di circa 1000 °C, ulteriormente schermate con piombo (punto di fusione = 327 °C). I locali menzionati non contengono sostanze infiammabili; il carico d'incendio è quindi basso, con valori abbondantemente inferiori a 10 kglegno/m². Si ritiene, che, stanti tali carichi, non vi siano rischi di rilevante dispersione spaziale e temporale di attività, in caso di incendio a sviluppo interno alla camera calda.

Per quantificare la esposizione potenziale della popolazione nell'improbabile caso di rilascio impulsivo in atmosfera di una nube radioattiva, sono state alcune stime del ritorno di dose alla popolazione basate sulle seguenti assunzioni:

- permanenza delle persone al suolo in posizione non riparata
- inalazione continua per tutta la permanenza della nube
- permanenza sul suolo contaminato per tutta la durata della vita media dei nuclidi, nessuna rimozione dei nuclidi depositati al suolo

Le stime sono state effettuate con il software Hotspot (versione 2.07.1, Livermore National Laboratory) per gli isotopi con il maggior ritorno di dose impegnata tra quelli elencati nell'ultima tabella, cioè: Iodio-131, Radio-223, Ittrio-90. E' stato ipotizzato il rilascio istantaneo di metà della attività massima detenuta. I plot della distribuzione al suolo della dose di ritorno sono i seguenti (sono riportati anche i parametri di calcolo e la distribuzione tabulata).

Iodio-131

HotSpot Version 2.07.1 General Plume
lug 18, 2023 12:40

Source Material : I-131 D 8.04d
Material-at-Risk (MAR) : 2,0000E+09 Bq
Damage Ratio (DR) : 1,000
Airborne Fraction (ARF) : 1,000
Respirable Fraction (RF) : 1,000
Leakpath Factor (LPF) : 0,500
Respirable Source Term : 1,00E+09 Bq
Non-respirable Source Term : 0,00E+00 Bq
Effective Release Height : 0,00 m
Wind Speed (h=10 m) : 1,25 m/s
Distance Coordinates : All distances are on the Plume Centerline
Wind Speed (h=H-eff) : 0,52 m/s
Stability Class : F
Respirable Dep. Vel. : 0,30 cm/s
Non-respirable Dep. Vel. : 8,00 cm/s
Receptor Height : 1,5 m
Inversion Layer Height : None
Sample Time : 10,000 min
Breathing Rate : 3,33E-04 m3/sec

Maximum Dose Distance : 0,010 km
Maximum TEDE : 3,15E-03 Sv
Inner Contour Dose : 0,010 Sv
Middle Contour Dose : 5,00E-03 Sv
Outer Contour Dose : 1,00E-03 Sv
Exceeds Inner Dose Out To : Not Exceeded
Exceeds Middle Dose Out To : Not Exceeded
Exceeds Outer Dose Out To : 0,016 km

FGR-11 Dose Conversion Data - Total Effective Dose Equivalent (TEDE)

Include Plume Passage Inhalation and Submersion
Include Ground Shine (Weathering Correction Factor : None)
Include Resuspension (Resuspension Factor : NCRP Report No. 129)
Exposure Window:(Start: 0,00 days; Duration: 4,00 days) [100% stay time].
Initial Deposition and Dose Rate shown
Ground Roughness Correction Factor: 1,000

RESPIRABLE					
DISTANCE	TEDE	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE	ARRIVAL
km	(Sv)	AIR CONCENTRATION	DEPOSITION	DOSE RATE	TIME
		(Bq-sec)/m3	(kBq/m2)	(Sv/hr)	(hour:min)
3,000	1,1E-07	3,5E+04	1,0E-01	1,4E-10	01:36
Inhalation : 1,02E-07 (Plume Passage)					
Submersion : 6,29E-10 (Plume Passage)					
Ground Shine: 1,14E-08					
Resuspension: 5,61E-11					
1,000	1,1E-06	3,2E+05	9,7E-01	1,3E-09	00:32
Inhalation : 9,46E-07 (Plume Passage)					
Submersion : 5,82E-09 (Plume Passage)					
Ground Shine: 1,06E-07					
Resuspension: 5,22E-10					

2,000	2,5E-07	7,5E+04	2,3E-01	3,1E-10	01:04
Inhalation : 2,23E-07 (Plume Passage)					
Submersion : 1,37E-09 (Plume Passage)					
Ground Shine: 2,50E-08					
Resuspension: 1,23E-10					
3,000	1,1E-07	3,5E+04	1,0E-01	1,4E-10	01:36
Inhalation : 1,02E-07 (Plume Passage)					
Submersion : 6,29E-10 (Plume Passage)					
Ground Shine: 1,14E-08					
Resuspension: 5,61E-11					
4,000	6,3E-08	1,9E+04	5,7E-02	7,8E-11	02:09
Inhalation : 5,65E-08 (Plume Passage)					
Submersion : 3,47E-10 (Plume Passage)					
Ground Shine: 6,30E-09					
Resuspension: 3,10E-11					
5,000	4,1E-08	1,2E+04	3,7E-02	5,0E-11	02:41
Inhalation : 3,63E-08 (Plume Passage)					
Submersion : 2,23E-10 (Plume Passage)					
Ground Shine: 4,05E-09					
Resuspension: 1,99E-11					
6,000	2,9E-08	8,7E+03	2,6E-02	3,5E-11	03:13
Inhalation : 2,57E-08 (Plume Passage)					
Submersion : 1,58E-10 (Plume Passage)					
Ground Shine: 2,86E-09					
Resuspension: 1,41E-11					
7,000	2,2E-08	6,5E+03	2,0E-02	2,6E-11	03:46
Inhalation : 1,93E-08 (Plume Passage)					
Submersion : 1,19E-10 (Plume Passage)					
Ground Shine: 2,15E-09					
Resuspension: 1,06E-11					
8,000	1,7E-08	5,1E+03	1,5E-02	2,1E-11	04:18
Inhalation : 1,52E-08 (Plume Passage)					
Submersion : 9,33E-11 (Plume Passage)					
Ground Shine: 1,69E-09					
Resuspension: 8,31E-12					
9,000	1,4E-08	4,2E+03	1,3E-02	1,7E-11	04:50
Inhalation : 1,23E-08 (Plume Passage)					
Submersion : 7,58E-11 (Plume Passage)					
Ground Shine: 1,37E-09					
Resuspension: 6,76E-12					
1,000	1,1E-06	3,2E+05	9,7E-01	1,3E-09	00:32
Inhalation : 9,46E-07 (Plume Passage)					
Submersion : 5,82E-09 (Plume Passage)					
Ground Shine: 1,06E-07					
Resuspension: 5,22E-10					
2,000	2,5E-07	7,5E+04	2,3E-01	3,1E-10	01:04
Inhalation : 2,23E-07 (Plume Passage)					
Submersion : 1,37E-09 (Plume Passage)					
Ground Shine: 2,50E-08					
Resuspension: 1,23E-10					
4,000	6,3E-08	1,9E+04	5,7E-02	7,8E-11	02:09
Inhalation : 5,65E-08 (Plume Passage)					

Submersion : 3,47E-10 (Plume Passage)
 Ground Shine: 6,30E-09
 Resuspension: 3,10E-11

6,000 2,9E-08 8,7E+03 2,6E-02 3,5E-11 03:13
 Inhalation : 2,57E-08 (Plume Passage)
 Submersion : 1,58E-10 (Plume Passage)
 Ground Shine: 2,86E-09
 Resuspension: 1,41E-11

8,000 1,7E-08 5,1E+03 1,5E-02 2,1E-11 04:18
 Inhalation : 1,52E-08 (Plume Passage)
 Submersion : 9,33E-11 (Plume Passage)
 Ground Shine: 1,69E-09
 Resuspension: 8,31E-12

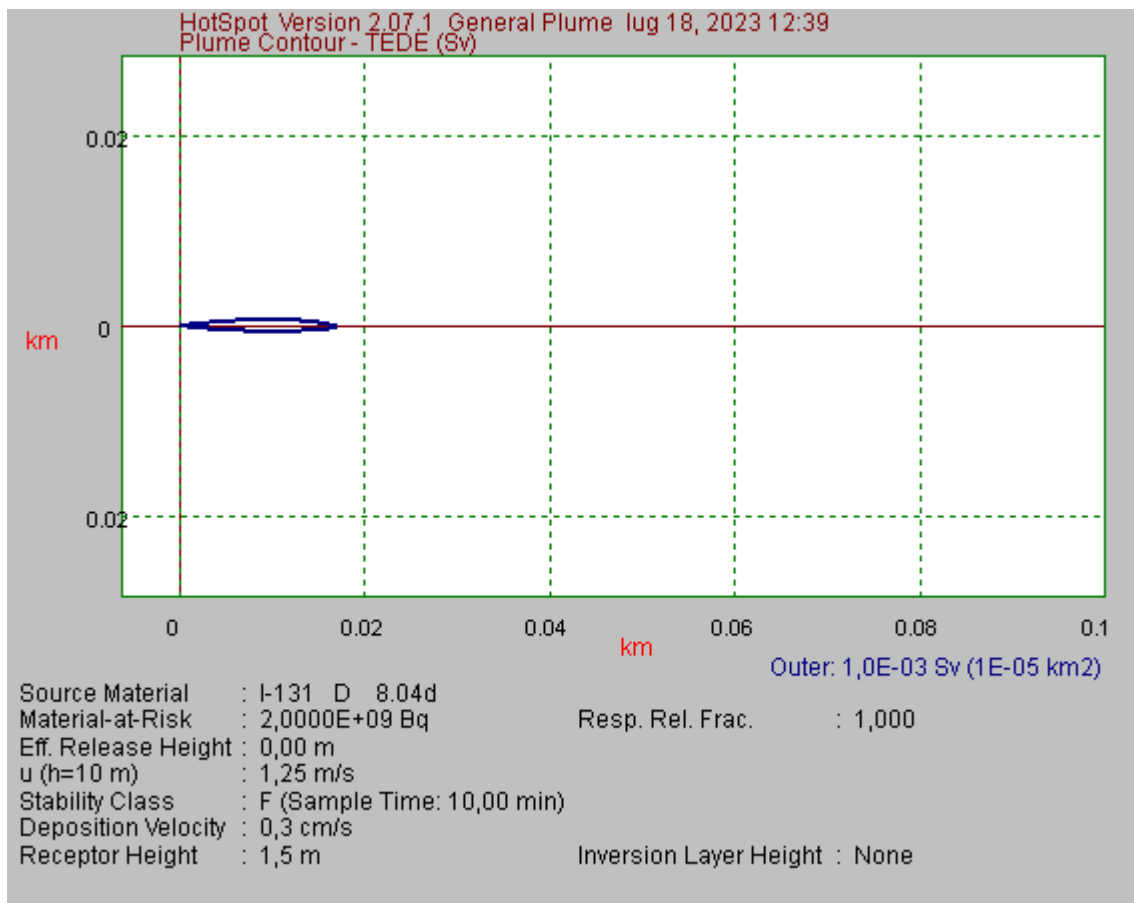
10,000 1,2E-08 3,5E+03 1,0E-02 1,4E-11 05:23
 Inhalation : 1,03E-08 (Plume Passage)
 Submersion : 6,32E-11 (Plume Passage)
 Ground Shine: 1,15E-09
 Resuspension: 5,63E-12

20,000 1,7E-09 5,2E+02 1,6E-03 2,1E-12 10:46
 Inhalation : 1,53E-09 (Plume Passage)
 Submersion : 9,44E-12 (Plume Passage)
 Ground Shine: 1,71E-10
 Resuspension: 8,41E-13

40,000 1,1E-10 3,4E+01 1,0E-04 1,4E-13 21:32
 Inhalation : 1,02E-10 (Plume Passage)
 Submersion : 6,24E-13 (Plume Passage)
 Ground Shine: 1,13E-11
 Resuspension: 5,56E-14

60,000 1,1E-11 3,4E+00 1,0E-05 1,4E-14 >24:00
 Inhalation : 1,00E-11 (Plume Passage)
 Submersion : 6,16E-14 (Plume Passage)
 Ground Shine: 1,12E-12
 Resuspension: 5,49E-15

80,000 2,2E-12 6,6E-01 2,0E-06 2,7E-15 >24:00
 Inhalation : 1,96E-12 (Plume Passage)
 Submersion : 1,21E-14 (Plume Passage)
 Ground Shine: 2,19E-13
 Resuspension: 1,07E-15



Ittrio-90

HotSpot Version 2.07.1 General Plume
lug 18, 2023 12:33

Source Material : Y-90 Y 64.0h
 Material-at-Risk (MAR) : 2,0000E+10 Bq
 Damage Ratio (DR) : 1,000
 Airborne Fraction (ARF) : 1,000
 Respirable Fraction (RF) : 1,000
 Leakpath Factor (LPF) : 0,500
 Respirable Source Term : 1,00E+10 Bq
 Non-respirable Source Term : 0,00E+00 Bq
 Effective Release Height : 0,00 m
 Wind Speed (h=10 m) : 1,25 m/s
 Distance Coordinates : All distances are on the Plume Centerline
 Wind Speed (h=H-eff) : 0,52 m/s
 Stability Class : F
 Respirable Dep. Vel. : 0,30 cm/s
 Non-respirable Dep. Vel. : 8,00 cm/s
 Receptor Height : 1,5 m
 Inversion Layer Height : None
 Sample Time : 10,000 min
 Breathing Rate : 3,33E-04 m3/sec

Maximum Dose Distance : 0,010 km
 Maximum TEDE : 3,57E-04 Sv
 Inner Contour Dose : 0,010 Sv
 Middle Contour Dose : 5,00E-04 Sv
 Outer Contour Dose : 1,00E-04 Sv

Exceeds Inner Dose Out To : Not Exceeded
 Exceeds Middle Dose Out To : Not Exceeded
 Exceeds Outer Dose Out To : 0,17 km

FGR-11 Dose Conversion Data - Total Effective Dose Equivalent (TEDE)

Include Plume Passage Inhalation and Submersion
 Include Ground Shine (Weathering Correction Factor : None)
 Include Resuspension (Resuspension Factor : NCRP Report No. 129)
 Exposure Window:(Start: 0,00 days; Duration: 4,00 days) [100% stay time].
 Initial Deposition and Dose Rate shown
 Ground Roughness Correction Factor: 1,000

DISTANCE km	RESPIRABLE T E D E		TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION		GROUND SURFACE DEPOSITION DOSE RATE		GROUND SHINE TIME	ARRIVAL
	(Sv)	(Bq-sec)/m3	(kBq/m2)	(Sv/hr)	(hour:min)			
3,000	2,6E-07	3,4E+05	1,0E+00	2,0E-11	01:36			
Inhalation : 2,58E-07 (Plume Passage)								
Submersion : 6,46E-11 (Plume Passage)								
Ground Shine: 1,17E-09								
Resuspension: 1,13E-10								
1,000	2,4E-06	3,2E+06	9,6E+00	1,8E-10	00:32			
Inhalation : 2,41E-06 (Plume Passage)								
Submersion : 6,04E-10 (Plume Passage)								
Ground Shine: 1,10E-08								
Resuspension: 1,06E-09								
2,000	5,7E-07	7,5E+05	2,2E+00	4,3E-11	01:04			
Inhalation : 5,67E-07 (Plume Passage)								
Submersion : 1,42E-10 (Plume Passage)								
Ground Shine: 2,57E-09								
Resuspension: 2,49E-10								
3,000	2,6E-07	3,4E+05	1,0E+00	2,0E-11	01:36			
Inhalation : 2,58E-07 (Plume Passage)								
Submersion : 6,46E-11 (Plume Passage)								
Ground Shine: 1,17E-09								
Resuspension: 1,13E-10								
4,000	1,4E-07	1,9E+05	5,6E-01	1,1E-11	02:09			
Inhalation : 1,42E-07 (Plume Passage)								
Submersion : 3,54E-11 (Plume Passage)								
Ground Shine: 6,40E-10								
Resuspension: 6,21E-11								
5,000	9,1E-08	1,2E+05	3,6E-01	6,9E-12	02:41			
Inhalation : 9,05E-08 (Plume Passage)								
Submersion : 2,26E-11 (Plume Passage)								
Ground Shine: 4,09E-10								
Resuspension: 3,97E-11								
6,000	6,4E-08	8,4E+04	2,5E-01	4,8E-12	03:13			
Inhalation : 6,35E-08 (Plume Passage)								
Submersion : 1,59E-11 (Plume Passage)								
Ground Shine: 2,87E-10								
Resuspension: 2,79E-11								
7,000	4,8E-08	6,3E+04	1,9E-01	3,6E-12	03:46			
Inhalation : 4,75E-08 (Plume Passage)								

Submersion : 1,19E-11 (Plume Passage)
 Ground Shine: 2,15E-10
 Resuspension: 2,08E-11

8,000 3,7E-08 4,9E+04 1,5E-01 2,8E-12 04:18
 Inhalation : 3,71E-08 (Plume Passage)
 Submersion : 9,29E-12 (Plume Passage)
 Ground Shine: 1,68E-10
 Resuspension: 1,63E-11

9,000 3,0E-08 4,0E+04 1,2E-01 2,3E-12 04:50
 Inhalation : 3,00E-08 (Plume Passage)
 Submersion : 7,51E-12 (Plume Passage)
 Ground Shine: 1,36E-10
 Resuspension: 1,32E-11

1,000 2,4E-06 3,2E+06 9,6E+00 1,8E-10 00:32
 Inhalation : 2,41E-06 (Plume Passage)
 Submersion : 6,04E-10 (Plume Passage)
 Ground Shine: 1,10E-08
 Resuspension: 1,06E-09

2,000 5,7E-07 7,5E+05 2,2E+00 4,3E-11 01:04
 Inhalation : 5,67E-07 (Plume Passage)
 Submersion : 1,42E-10 (Plume Passage)
 Ground Shine: 2,57E-09
 Resuspension: 2,49E-10

4,000 1,4E-07 1,9E+05 5,6E-01 1,1E-11 02:09
 Inhalation : 1,42E-07 (Plume Passage)
 Submersion : 3,54E-11 (Plume Passage)
 Ground Shine: 6,40E-10
 Resuspension: 6,21E-11

6,000 6,4E-08 8,4E+04 2,5E-01 4,8E-12 03:13
 Inhalation : 6,35E-08 (Plume Passage)
 Submersion : 1,59E-11 (Plume Passage)
 Ground Shine: 2,87E-10
 Resuspension: 2,79E-11

8,000 3,7E-08 4,9E+04 1,5E-01 2,8E-12 04:18
 Inhalation : 3,71E-08 (Plume Passage)
 Submersion : 9,29E-12 (Plume Passage)
 Ground Shine: 1,68E-10
 Resuspension: 1,63E-11

10,000 2,5E-08 3,3E+04 9,8E-02 1,9E-12 05:23
 Inhalation : 2,49E-08 (Plume Passage)
 Submersion : 6,23E-12 (Plume Passage)
 Ground Shine: 1,13E-10
 Resuspension: 1,09E-11

20,000 3,5E-09 4,6E+03 1,4E-02 2,7E-13 10:46
 Inhalation : 3,50E-09 (Plume Passage)
 Submersion : 8,77E-13 (Plume Passage)
 Ground Shine: 1,58E-11
 Resuspension: 1,53E-12

40,000 2,1E-10 2,7E+02 8,1E-04 1,6E-14 21:32
 Inhalation : 2,06E-10 (Plume Passage)
 Submersion : 5,16E-14 (Plume Passage)
 Ground Shine: 9,32E-13

Resuspension: 9,03E-14

60,000 1,8E-11 2,4E+01 7,2E-05 1,4E-15 >24:00

Inhalation : 1,81E-11 (Plume Passage)

Submersion : 4,53E-15 (Plume Passage)

Ground Shine: 8,18E-14

Resuspension: 7,93E-15

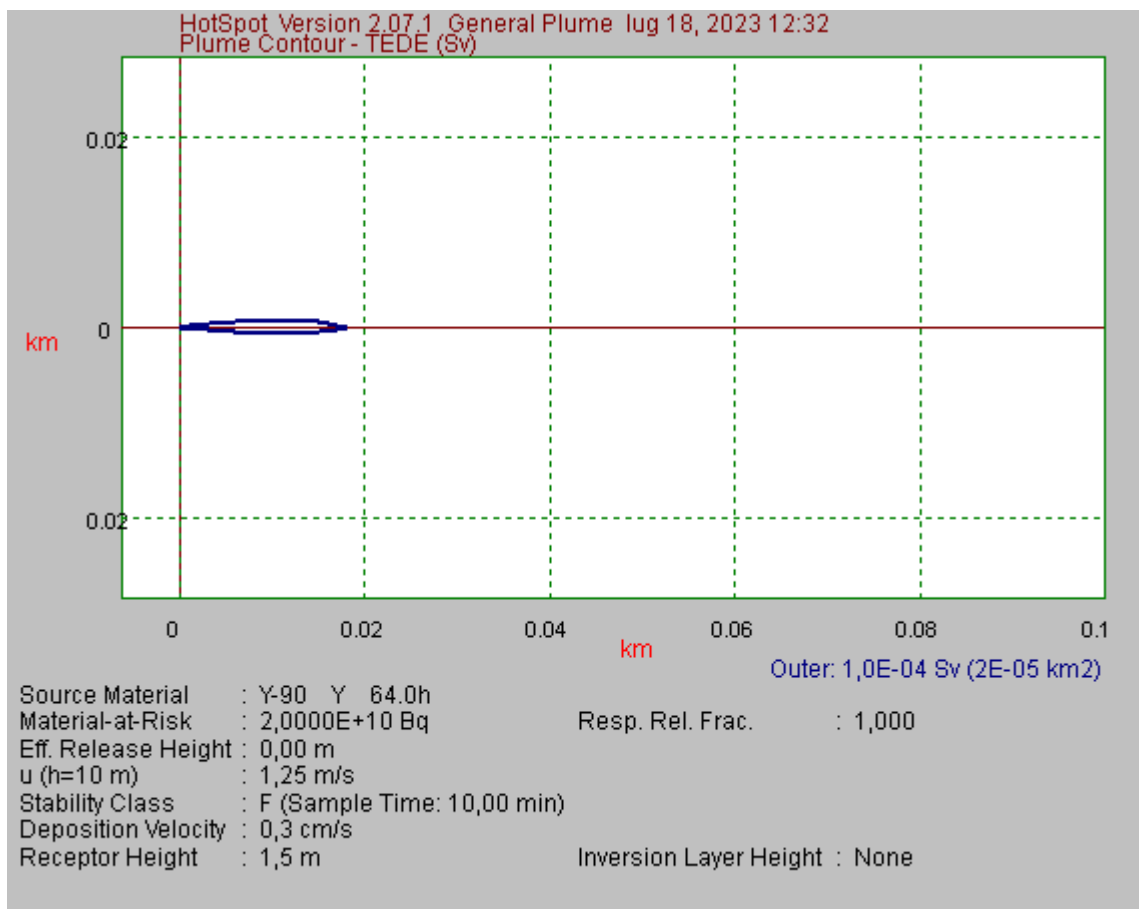
80,000 3,2E-12 4,2E+00 1,2E-05 2,4E-16 >24:00

Inhalation : 3,15E-12 (Plume Passage)

Submersion : 7,89E-16 (Plume Passage)

Ground Shine: 1,42E-14

Resuspension: 1,38E-15



Radio-223

HotSpot Version 2.07.1 General Plume
lug 18, 2023 02:57

Source Material : Ra-223 W 11.434d
Material-at-Risk (MAR) : 1,0000E+08 Bq
Damage Ratio (DR) : 1,000
Airborne Fraction (ARF) : 1,000
Respirable Fraction (RF) : 1,000
Leakpath Factor (LPF) : 0,500
Respirable Source Term : 5,00E+07 Bq
Non-respirable Source Term : 0,00E+00 Bq
Effective Release Height : 0,00 m
Wind Speed (h=10 m) : 1,25 m/s

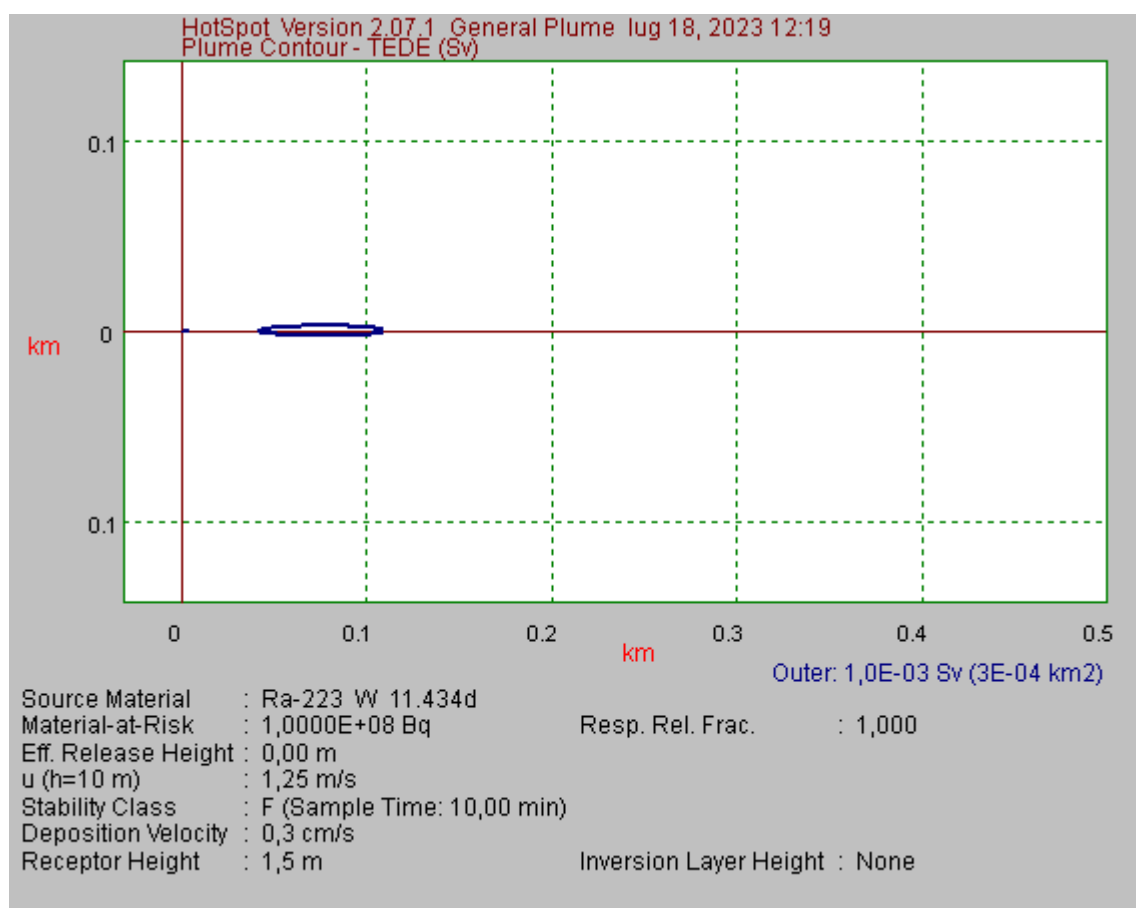
Distance Coordinates : All distances are on the Plume Centerline
Wind Speed (h=H-eff) : 0,52 m/s
Stability Class : F
Respirable Dep. Vel. : 0,30 cm/s
Non-respirable Dep. Vel. : 8,00 cm/s
Receptor Height : 1,5 m
Inversion Layer Height : None
Sample Time : 10,000 min
Breathing Rate : 3,33E-04 m3/sec

Maximum Dose Distance : 0,063 km
Maximum TEDE : 1,61E-03 Sv
Inner Contour Dose : 0,010 Sv
Middle Contour Dose : 5,00E-03 Sv
Outer Contour Dose : 1,00E-03 Sv
Exceeds Inner Dose Out To : Not Exceeded
Exceeds Middle Dose Out To : Not Exceeded
Exceeds Outer Dose Out To : 0,11 km

FGR-11 Dose Conversion Data - Total Effective Dose Equivalent (TEDE)

Include Plume Passage Inhalation and Submersion
Include Ground Shine (Weathering Correction Factor : None)
Include Resuspension (Resuspension Factor : NCRP Report No, 129)
Exposure Window:(Start: 0,00 days; Duration: 4,00 days) [100% stay time].
Initial Deposition and Dose Rate shown
Ground Roughness Correction Factor: 1,000

DISTANCE km	RESPIRABLE					ARRIVAL TIME
	T E D E	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE		
	AIR CONCENTRATION (Sv)	DEPOSITION (Bq-sec)/m3	DOSE RATE (kBq/m2)	DOSE RATE (Sv/hr)		
					(hour:min)	
0,030	1,9E-04	2,7E+05	1,2E+02	5,4E-08	<00:01	
0,100	1,1E-03	1,6E+06	7,6E+00	3,5E-09	00:03	
0,200	3,3E-04	4,7E+05	1,6E+00	7,4E-10	00:06	
0,300	1,5E-04	2,1E+05	6,6E-01	3,0E-10	00:09	
0,400	7,9E-05	1,1E+05	3,5E-01	1,6E-10	00:12	
0,500	4,9E-05	6,9E+04	2,1E-01	9,7E-11	00:16	
0,600	3,3E-05	4,7E+04	1,4E-01	6,6E-11	00:19	
0,700	2,4E-05	3,4E+04	1,0E-01	4,7E-11	00:22	
0,800	1,8E-05	2,5E+04	7,7E-02	3,5E-11	00:25	
0,900	1,4E-05	2,0E+04	6,0E-02	2,8E-11	00:29	
1,000	1,1E-05	1,6E+04	4,8E-02	2,2E-11	00:32	
2,000	2,7E-06	3,8E+03	1,1E-02	5,2E-12	01:04	
4,000	6,7E-07	9,5E+02	2,9E-03	1,3E-12	02:09	
6,000	3,1E-07	4,3E+02	1,3E-03	6,0E-13	03:13	
8,000	1,8E-07	2,6E+02	7,7E-04	3,5E-13	04:18	
10,000	1,2E-07	1,7E+02	5,2E-04	2,4E-13	05:23	
20,000	1,8E-08	2,6E+01	7,8E-05	3,6E-14	10:46	
40,000	1,2E-09	1,7E+00	5,1E-06	2,4E-15	21:32	
60,000	1,2E-10	1,7E-01	5,1E-07	2,3E-16	>24:00	
80,000	2,3E-11	3,3E-02	9,9E-08	4,6E-17	>24:00	



I risultati confermano un rilascio di dose impegnata sostanzialmente contenuto entro il perimetro dell'Ospedale, con un ritorno di dose alla popolazione esterna inferiore al limite annuo di dose impegnata alla popolazione. Per quanto riguarda la stima del ritorno di dose ai lavoratori non esposti ed alla popolazione presente entro l'Ospedale al momento dell'incendio, i valori ottenuti di TEDE massima (1,61-0,36-3,15 mSv rispettivamente per Radio-223, Ittrio-90 e Iodio-131) eccedono tale limite. Si deve tuttavia tenere presente che lo scenario adottato prevede la formazione imperturbata di un pennacchio verticale successivamente trasportato dal vento, la quale è assai poco realistica in virtù della collocazione a pianterreno della UO Medicina Nucleare (con diversi piani soprastanti). Uno scenario più realistico dovrebbe contemplare la immissione dei contaminanti in atmosfera attraverso le finestre e le condutture di aerazione afferenti al reparto, con una esposizione assai minore della popolazione presente sul posto. Considerando un abbattimento della attività inalata di un fattore 0,1 a seguito della presenza di queste vie di fuga, il ritorno di dose impegnata a questi soggetti è valutabile nell'ordine di 1 mSv.

Considerando che il rilascio risulta essere sostanzialmente contenuto entro il perimetro dell'Ospedale, si soprassiede alla valutazione della deposizione al suolo e della dose di ritorno dalla catena alimentare (non vi sono colture interessate).

d. ALLAGAMENTO

Dato che l'Ospedale di Belcolle è situato in una località montana (Monti Cimini) e lontano dal deflusso di corsi d'acqua, la sola possibilità di allagamento è quella dovuta alla rottura di una tubatura. E' difficile che il livello dell'acqua all'interno del reparto possa superare qualche decimetro al disopra del piano di calpestio, e raggiungere così le sorgenti radioattive. La rottura sarà

tempestivamente segnalata al personale della società multiservizi che ha in appalto la manutenzione degli impianti. La alimentazione idrica verrà sospesa ed il reparto verrà chiuso alla operatività. Defluita o rimossa l'acqua, il reparto resterà chiuso fino al completo decadimento della (improbabile) contaminazione radioattiva ambientale, accertato dall'ERP. Solo a questo punto il personale addetto alle manutenzioni impiantistiche interverrà per riparare la conduttura.

Si può pertanto ipotizzare un rilascio di dose al solo personale di pronto intervento addetto alla rimozione del volume di acqua coinvolto nella perdita. La stima di tale rilascio seguirà lo stesso schema di ragionamento utilizzato nel caso dell'incendio e del principio di incendio, con i seguenti adattamenti:

- si assume che gli operatori siano dotati di calzature impermeabili
- si assume il confinamento dell'acqua all'interno del reparto (ponendo cautelativamente $V = 400 \text{ m}^3$)
- si assumono 6 ricambi d'aria all'ora
- si assume la dispersione integrale delle sole sorgenti non sigillate (le sorgenti sigillate sono escluse dalle presenti considerazioni perché non dispersibili in acqua)
- si assume che una frazione $f_1 = 10^{-3}$ della attività dispersa sia risospesa in aria
- si assume che una frazione $f_2 = 10^{-5}$ della attività risospesa sia incorporata per ingestione
- si considera trascurabile il contributo della irradiazione esterna
- si assume che gli operatori siano iperventilati, con un rateo di ventilazione di $I = 3 \text{ m}^3/\text{h}$
- si assume un tempo di permanenza all'interno del reparto di $T = 2 \text{ h}$ (12 ricambi)

Con queste ipotesi, la attività dell'i-esimo isotopo introdotta in un operatore per inalazione è stimabile come:

$$J_{i,ina} (\text{MBq}) = A_i (\text{MBq}) \times [12 \times V(\text{m}^3)]^{-1} \times f_1 \times (1 - f_2) \times I (\text{m}^3/\text{s}) \times T (\text{s})$$

La attività dello stesso isotopo introdotta per ingestione è invece:

$$J_{i,ing} (\text{MBq}) = A_i (\text{MBq}) \times [12 \times V(\text{m}^3)]^{-1} \times f_1 \times f_2 \times I (\text{m}^3/\text{s}) \times T (\text{s})$$

La dose efficace impegnata può essere quindi stimata come:

$$H (\text{mSv}) = \sum_i e_{ina} (\text{mSv/MBq}) \times J_{i,ina} (\text{MBq}) + \sum_i [e_{ing} (\text{mSv/MBq}) \times J_{i,ing} (\text{MBq})]$$

attraverso l'uso dei coefficienti di dose efficace impegnata per unità di attività introdotta per ingestione (e_{ing}) e inalazione (e_{ina}) per i lavoratori. Questi coefficienti sono riportati nell'allegato A della Pubblicazione 119 dell'ICRP (della quale consideriamo la versione emendata).

Dalla applicazione di questo formulario, si ottiene la seguente tabella. Come si vede, il carico di dose agli operatori della squadra tecnica è contenuto entro il limite di dose annua alla popolazione. Considerando l'estrema eccezionalità dell'evento, si può ritenere che tale limite non sia ecceduto.

	A(GBq)	V(m ³)	J _{i,ina} (MBq)	e _{ina} (mSv/MBq)	J _{i,ing} (MBq)	e _{ing} (mSv/MBq)	H(mSv)
Iodio-131	2,0	37	0,027	1,1	0,27×10 ⁻⁶	22	0,03
Iodio-123	0,7	37	0,009	1,1×10 ⁻¹	9×10 ⁻⁸	2,1×10 ⁻¹	0,001
Gallio-67	0,5	39	0,007	2,8×10 ⁻²	7×10 ⁻⁸	1,9×10 ⁻¹	0,0002
Indio-111	0,3	37	0,004	3,1×10 ⁻²	4×10 ⁻⁸	2,9×10 ⁻¹	0,0001
Tallio-201	2,0	37	0,027	7,6×10 ⁻³	0,27×10 ⁻⁶	9,5×10 ⁻²	0,0002
Tecnezio-99m	30	37	0,405	2,9×10 ⁻³	4,05×10 ⁻⁶	2,7×10 ⁻²	0,0012
Ittrio-90	20	37	0,270	1,7×10 ⁻¹	2,7×10 ⁻⁶	2,7	0,0460
Erbio-169	0,8	37	0,011	9,8×10 ⁻²	0,11×10 ⁻⁶	3,7×10 ⁻¹	0,0011
Samario-153	9	37	0,121	6,8×10 ⁻²	1,21×10 ⁻⁶	7,4×10 ⁻¹	0,0083
Renio-186	1,3	37	0,017	1,2×10 ⁻¹	0,17×10 ⁻⁶	1,5	0,0020
Radio-223	0,1	37	0,001	690	1,0×10 ⁻⁸	100	0,69
Fluoro-18	10,0	39	0,135	6,0×10 ⁻³	1,35×10 ⁻⁶	4,9×10 ⁻²	0,0007
Carbonio-11 [^]	1,0	39	0,014	3,2×10 ⁻⁴	0,14×10 ⁻⁶	2,4×10 ⁻²	4,4×10 ⁻⁶
Gallio-68	1,0	39	0,014	8,1×10 ⁻³	0,14×10 ⁻⁶	1,0×10 ⁻¹	0,0001
Totale							0,78

e. SISMA

In caso di sisma, il crollo delle strutture tiene le sorgenti confinate entro i loro contenitori schermati, all'interno degli arredi schermati. L'esposizione da irraggiamento esterno a carico delle squadre di soccorso e rimozione macerie è quindi dello stesso ordine di quello del personale medico in servizio presso il reparto. Tale carico, rilevato per anni mediante film badge, è trascurabile, essendo contenuto entro la soglia di sensibilità dosimetrica di 10 µSv/mese o vicina ad essa.

Le sorgenti non sigillate sepolte dal crollo decadono rapidamente, per cui la eventuale contaminazione del materiale di risulta della rimozione non costituisce un problema radioprotezionistico sul lungo termine.

Sarebbe comunque opportuno che le operazioni di sgombero siano eseguite sotto la supervisione di un ERP con un monitoraggio del rateo di dose durante le operazioni. Questa raccomandazione è valida anche per le situazioni, precedentemente discusse, dell'incendio e dell'allagamento.

8. Produzione e modalità di gestione dei rifiuti radioattivi; modalità previste per la disattivazione delle installazioni (All. XIV punto 3.4.e)

L'attività del reparto produce rifiuti radioattivi sia liquidi che solidi. I rifiuti solidi consistono essenzialmente del materiale di consumo contaminato raccolto nei contenitori schermati della sala somministrazione e della camera calda. Un contributo minore è costituito dal materiale proveniente dalle operazioni di decontaminazione a seguito di contaminazioni accidentali di superfici in zona calda, e dalle sorgenti sigillate usate per il reperaggio sul paziente e le operazioni di controllo sulle apparecchiature diagnostiche.

I rifiuti liquidi consistono in via esclusiva nei liquami costituiti dagli escreti dei pazienti iniettati in zona calda, nonché dalle acque di lavaggio effluenti dalla zona calda. Questi rifiuti vengono raccolti in un apposito impianto di decadimento e smaltimento.

Poiché non si impiegano gas radioattivi né traccianti volatili, la produzione di rifiuti aeriformi è limitata alla traspirazione dei pazienti caldi. Tale produzione è assolutamente trascurabile ai fini della radioprotezione. Nel seguito non si farà perciò menzione di rifiuti aeriformi.

8.1 Rifiuti radioattivi solidi (All. XIV punto 3.5)

I contenitori di raccolta consistono in un bottiglione di polietilene posizionato nel pozzetto di scarico della cella di manipolazione, e nei secchi piombati schermati. Questi ultimi sono rivestiti internamente con contenitori di plastica rigida antitaglio. Periodicamente, il bottiglione ed i contenitori vengono sostituiti e quelli pieni sono inseriti in fusti metallici da 20 litri (a norma ONU) idonei allo stoccaggio temporaneo ed al trasporto. I fusti sono raccolti nel deposito rifiuti solidi in attesa del ritiro da parte della ditta autorizzata allo smaltimento. L'accesso a questo locale, posto allo stesso livello del reparto sopra l'impianto di decadimento, è interdetto alle persone non autorizzate e contrassegnato con apposita segnaletica. Tale locale è impermeabilizzato, con i rivestimenti interni in PVC con angoli a sguscio.

Sulla base di quanto specificato, non si attua quindi allontanamento di rifiuti solidi.

Conferimento dei rifiuti solidi a vettore autorizzato e restituzione dei generatori esausti

I fusti metallici chiusi, prodotti con le operazioni di cui al punto 4.2 sono periodicamente conferiti a vettore autorizzato, per il successivo ricondizionamento e stoccaggio presso sito autorizzato. All'atto del conferimento viene eseguito un rilievo radiometrico per verificare che il rateo di dose a contatto dell'imballo sia contenuto entro i 5 $\mu\text{Sv/h}$. In queste condizioni, normalmente soddisfatte anche nel caso di conferimento di sorgenti sigillate esauste, il collo è classificabile come esente e ad esso è applicabile il codice UN 2910 (materiali radioattivi, collo esente, quantità limitate).

Lo stesso procedimento viene seguito per la restituzione al fornitore dei generatori esausti, sempre tramite vettore autorizzato, non necessariamente lo stesso al quale sono conferiti i rifiuti. Tutte le operazioni di messa in deposito di sorgenti sigillate esauste, confezionamento dei fusti contenenti rifiuti o sorgenti esauste, e conferimento di tali fusti sono tracciate su piattaforma informatica accessibile sia dal personale addetto alla movimentazione che all'ERP (Physico della MS). Questo tracciamento si applica anche ai generatori isotopici. La piattaforma è conforme ai requisiti AGID relativamente alla identificazione ed alle attribuzioni degli operatori che vi accedono, alla registrazione delle operazioni da questi effettuate ed alla indelebilità dei dati inseriti.

Per quanto concerne la tracciabilità sulla piattaforma nazionale STRIMS (Sistema di Tracciabilità dei Rifiuti, Materiali e Sorgenti) ci si conforma al disposto dell'Art. 48 del D. Lgs. 101/20 s.m.i. cioè: le sorgenti isotopiche non sigillate con emivita minore di 60 giorni, sia radiofarmaci che generatori di isotopi Mo-Tc, non sono tracciate. Sono invece tracciate su STRIMS le sorgenti sigillate di reperaggio e controllo di qualità. Saranno tracciati su tale sistema anche i generatori Ga-Ge per applicazioni PET, quando si implementerà tale tipo di diagnostica, in quanto sorgenti con emivita maggiore di 60 giorni. Tutte le sorgenti sono invece tracciate in Physico.

Sono poi tracciati, nel Registro Spedizioni di STRIMS, i conferimenti di tutti i rifiuti solidi di cui al punto 4.2, indipendentemente dalla emivita. Con inclusione quindi dei rifiuti originati da radiofarmaci, delle sorgenti sigillate esauste e dei generatori in restituzione al fornitore. Ciò conformemente a quanto indicato da ISIN nelle risposte 79, 82, 86, 89 del documento "Sintesi D&R dai Webinar 8, 9 febbraio, 22 e 29 marzo 2023", reperibile sul sito ISIN al link: (https://www.isinucleare.it/sites/default/files/contenuto_redazione_isin/risposte_webinars_strutture_sanitarie_e_odontoiatri_0.pdf).

Il numero di registrazione della sede è SRT8109CCQ-VT0013.

8.2 Rifiuti liquidi (All. XIV punto 3.6). Stima della quantità di escreti dei pazienti immessi nel sistema fognario dall'Installazione ed all'esterno dell'installazione (All. XIV punto 3.8.b)

Alla gestione dei rifiuti liquidi è dedicato un apposito impianto di decadimento e smaltimento. Gli scarichi di tutti i servizi igienici e di tutti i lavelli presenti in zona calda sono collegati con questo impianto. Ciò vale dunque: per i servizi del W.C. attesa calda, per i servizi del W.C. zona calda con docce di decontaminazione, per il lavello della camera calda.

L'impianto è fondamentalmente costituito da tre vasche di raccolta in polietilene dei liquami radioattivi della capacità di 3 mc cadauna. Le tre vasche costituiscono i gruppi di decadimento dell'impianto e sono dotate di una serie di sensori, indicanti unità di decadimento vuota, unità di decadimento piena, unità di decadimento in riempimento, unità di decadimento in emergenza.

Gli altri principali gruppi funzionali sono:

- 1) Gruppo di smistamento liquami.
- 2) Gruppo di depurazione dei reflui dalla parte solida, costituito da due imhoff a funzionamento alternato, capacità 1 mc ciascuno.
- 3) Gruppo di prelievo automatico di campioni dalle vasche di decadimento, costituito da una pompa di prelievo, che invia il liquido da analizzare ad un becker di Marinelli.
- 4) Sistema di misura, costituito da un analizzatore multicanale e relativo software di gestione ed analisi dei risultati.
- 5) Gruppo di scarico.
- 6) Gruppo di troppo pieno, per la raccolta dei liquidi fuoriusciti dalle vasche a seguito di rottura di qualche componente. Il doppio contenimento è realizzato mediante un muretto intorno alla zona occupata dai vari componenti dell'impianto.

L'impianto di smaltimento viene controllato e gestito in remoto, tramite PC posizionato nella sala comandi della SPECT. Il software di gestione permette il campionamento delle singole vasche e la misurazione della concentrazione di attività residua nel campione per ogni radioisotopo. Nel caso in cui l'esito della misurazione sia conforme alla formula di scarico, il software consente la gestione in remoto dello scarico. Tutte queste operazioni sono registrate su file log. Sono inoltre registrati i risultati delle misurazioni effettuate a giustificazione degli scarichi.

Il locale contenente l'impianto è posizionato in luogo adiacente al reparto di Medicina Nucleare, ma separato da esso, sotto il nuovo Blocco Operatorio. Tale locale, realizzato in calcestruzzo opportunamente impermeabilizzato, è completamente interrato. L'accesso è interdetto ai non addetti ed è affissa idonea segnaletica di Zona Controllata.

La gestione ordinaria dell'impianto e degli scarichi è affidata alla U.O. Fisica Sanitaria ed eseguita direttamente dall'Esperto in Radioprotezione.

La stima della quantità di escreti immessi nel sistema fognario dalla installazione e dall'esterno della installazione è presentata nella successiva Sezione 9.

8.3 Rifiuti aeriformi (All. XIV punto 3.6)

Il normale svolgimento della attività non prevede la produzione di rifiuti aeriformi. Tutte le sorgenti radioattive non sigillate impiegate presso il reparto di Medicina Nucleare sono sotto forma solida o liquida non volatile. Pertanto in tale attività la produzione di effluenti radioattivi in forma gassosa soddisfa senza ulteriori considerazioni i criteri indicati al punto 1.2 dell'All. I del D.Lgs. 101/2020.

8.4 Riciclo e riutilizzo dei materiali; modalità previste per la disattivazione delle installazioni (All. XIV punto 3.7.g)

Non è previsto riciclo o riutilizzazione dei materiali utilizzati nella installazione.

In fase di disattivazione del Reparto non si osserveranno misure particolari, eccetto:

- a) La chiusura del Reparto –precedentemente alla sua ridestinazione o smantellamento- fino a completo decadimento delle sorgenti non sigillate in esso contenute al disotto dei limiti di allontanamento prescritti dal D.Lgs. 101/2020.
- b) La restituzione delle colonne esauste al fornitore
- c) Il conferimento dei rifiuti solidi ancora presenti in deposito a ditta autorizzata, ivi comprese le sorgenti sigillate residue dalla cessazione delle attività
- d) La verifica della assenza di contaminazione residua di locali e superfici

Eseguite queste operazioni, i locali saranno rilasciati esenti da vincoli radiologici.

9. Valutazioni delle dosi dell'individuo rappresentativo della popolazione Art. 151 comma 3 D.Lgs. 101/2020 (All. XIV punto 3.4.e)

9.1 Valutazione a seguito di allontanamento di rifiuti solidi (All. XIV, punto 3.6.c, 3.6.d)

Come illustrato nella precedente sezione, non si attua allontanamento di rifiuti solidi. La valutazione del ritorno di dose alla popolazione dal trasporto e smaltimento dei rifiuti conferiti è dipendente dalla loro modalità di gestione e rientra nei processi autorizzativi relativi alle attività gestite dalla ditta autorizzata.

9.2 Valutazione a seguito della immissione in ambiente di rifiuti radioattivi liquidi; escreti dei pazienti immessi nel sistema fognario dalla installazione e fuori dalla installazione. Rispetto dei criteri di non rilevanza radiologica (Art. 151 comma 3; All. XIV, punti 3.8.b, 3.8.c). Formula di scarico (Allegato XIV, punti 3.5.c; 3.6.c; 3.8.c).

Il D. Lgs. 101/2020 richiede all' esercente di dimostrare la non rilevanza radiologica della pratica per quanto riguarda il ritorno di dose agli individui più esposti della popolazione, conformemente ai criteri con i quali essa è definita all' Art. 1 dell' Allegato 1 del Decreto. In questa sezione dimostreremo la non rilevanza radiologica degli scarichi degli effluenti della U.O. Medicina Nucleare, requisito essenziale per l' inserimento, nel Nulla Osta, della specifica autorizzazione agli scarichi stessi ai sensi dell' Art. 54.4. Più in generale, sarà contestualmente dimostrata la non rilevanza radiologica delle escrezioni dei pazienti interni sottoposti a procedura medico-nucleare dopo il ritorno al reparto di degenza, e delle escrezioni dei pazienti esterni successive all' esame medico-nucleare. Queste escrezioni non sono intercettate dall' impianto di raccolta e decadimento in servizio presso la U.O. Medicina Nucleare, e sono immesse nella rete fognaria cittadina dopo il transito nell' impianto di depurazione dell' Ospedale, o direttamente dalla abitazione del paziente.

Ai fini del calcolo, queste due immissioni non intercettate sono conglobate in un unico termine sorgente.

Alle prestazioni della U.O. Medicina Nucleare dell' Ospedale di Belcolle afferiscono mediamente circa 1500 pz ambulatoriali e 300 pz interni ogni anno. Di queste prestazioni, approssimativamente

il 90 % sono svolte con l'impiego di Tc99m, il 4 % con l'impiego di Iodio-131 ed il 6% con l'impiego di Iodio-123. Altri isotopi, come il Tallio-201, il Gallio-67 o il Radio-223, sono usati molto sporadicamente.

Dobbiamo inoltre tenere in considerazione le immissioni derivanti dalla entrata in esercizio dell'impianto PET, attualmente in fase di realizzazione. E' previsto l'afflusso a regime di circa 2250 pz all'anno. Se, in linea con quanto avviene con le attività non PET, si assume che 4/5 di questi pazienti siano esterni ed 1/5 interni, si possono prevedere 1800 pz esterni e 450 pz interni PET all'anno. Si deve considerare che l'impiego del Fluoro-18 non ha impatto alcuno sul termine sorgente delle vasche di raccolta, dato che il tempo minimo tra la chiusura di una vasca ed il suo scarico è di un mese, cioè 393 emivite. Tuttavia l'impatto delle immissioni non intercettate è rilevante e va valutato.

Tutti questi dati possono essere raccolti nella seguente tabella:

	I-131	I-123	Ga-67	In-111	Tl-201	Tc-99m	Y-90	Er-169	Sm-153	Re-186	Ra-223	F-18	C-11	Ga-68
Attività somministrata (MBq/pz)	185	185	222	220	150	740	2500	30	1500	1300	250	350	300	200
pz esterni	60	90	1	1	2	1350	7	0	0	0	4	1800	1	50
pz interni	12	18	1	1	1	270	3	1	1	1	1	450	1	50

Tabella 1. Numero di pazienti/anno afferenti alle prestazioni

Stima delle immissioni ambientali non intercettate (pazienti dimessi o tornati in degenza)

La frazione di attività immessa nell'ambiente da un paziente esterno è pari alla differenza tra la frazione di attività somministrata espulsa dal paziente in tutte le minzioni successive alla somministrazione e la frazione di attività espulsa con la prima minzione. Quest'ultima avviene infatti nei bagni caldi della U.O. Medicina Nucleare su invito del personale ed è completamente intercettata dal sistema di raccolta. Una stima della frazione immessa in ambiente è reperibile nel Rif. 1 (Tabella 1) per vari isotopi e radiofarmaci. Assumiamo invece cautelativamente che la frazione immessa dai pazienti interni sia 1, con ciò ignorando il decadimento fisico e le istruzioni di raccolta delle deiezioni fornite al personale di reparto. Il ritorno di dose all'individuo rappresentativo della popolazione da emissioni non intercettate è perciò calcolabile in accordo alla seguente tabella:

Tabella 2. Immissioni non intercettate (pazienti dimessi o tornati in degenza)

	I-131	I-123	Ga-67	In-111	Tl-201	Tc-99m	Y-90	Er-169	Sm-153	Re-186	Ra-223	F-18	C-11	Ga-68
Frazione escreta F*	0,12	0,85	1	1	1	0,5	0	0	1	1	1	0,87	1	1
Attività (MBq)**	3552	1748 2	444	440	450	6993 00	0	0	1500	1300	1250	7056 00	600	2000 0
Immissione (Bq/s)***	112,6	554,4	14,1	14	14,3	2220 0	0	0	47,6	41,2	39,6	2237 4	19	634
Immissione (Bq/mc)****	5,63	27,7	0,7	0,7	0,7	1110	0	0	2,4	2,06	2	1119	0,95	31,7
SF(Sv/(Bq/mc))*****	8,6 x 10 ⁻⁸	2,2 x 10 ⁻¹⁰	1,1 x 10 ⁻⁹	8,4 x 10 ⁻⁹	8,6 x 10 ⁻⁹	3,3 x 10 ⁻¹¹			8,2 x 10 ⁻¹⁰	3,4 x 10 ⁻⁸	1,0 x 10 ⁻⁷	1,4 x 10 ⁻¹⁰	9,4 x 10 ⁻¹³	2,5 x 10 ⁻¹⁰
Ritorno di dose (µSv)	0,48	0,006	0,000 8	0,006	0,006	0,037	0	0	0,002	0,070	0,2	0,16	8,9 x 10 ⁻¹³	0,008
Totale (µSv)	0,976													

* Complemento ad 1 del valore in Rif. 1 , Tabella 2, Col. 6 se ivi riportata, altrimenti cautelativamente 1. Y-90, Er-169 pari a zero in quanto impianti stabili (microsfere) o iniezioni locali in articolazione (radiosinoviotesi).

** (Attività somministrata per paziente in MBq/pz) $\times$ (pz esterni $\times$ F + pz interni $\times$ 1).

*** 1 anno = 31536000 s

**** (Immissione in Bq/s) / (20 mc/s) all'equilibrio.

***** Screening factor per acque superficiali. NCRP 123.

Ipotizzando una portata della rete fognaria cittadina di 20 mc/s, alla condizione di equilibrio il flusso di attività in rete è calcolato come riportato nel quinto rigo della Tabella 2. La dose equivalente derivata da esposizioni ad acque superficiali costituenti il corpo di raccolta della rete può allora essere stimata moltiplicando tale flusso per il pertinente fattore di screening riportato al sesto rigo. I relativi ritorni di dose all'individuo rappresentativo della popolazione sono riportati al rigo successivo. Il totale, riportato nell'ultimo rigo, è inferiore al valore di 10 μ Sv/anno individuato dal D.Lgs. 101/2020 come criterio di rilevanza radiologica.

Stima delle immissioni ambientali intercettate (immissioni dalla installazione)

Passiamo ora alla valutazione delle immissioni alla rete fognaria dall'impianto di raccolta e decadimento. L'unità di decadimento consta di 3 vasche da 3 mc cadauna. Ad ogni istante è in stato di apertura/raccolta una sola vasca. Raggiunto il livello prefissato di riempimento, il sistema commuta automaticamente la raccolta su un'altra vasca disponibile, ponendo la vasca precedente in stato di chiusura. Essa potrà essere nuovamente aperta alla raccolta solo se riportata sotto il livello di riempimento.

La routine della gestione dell'impianto, affidata alla UO Fisica Sanitaria, prevede un intervallo di chiusura minimo di un mese per ciascuna singola vasca, prima di procedere alla verifica radiometrica del suo contenuto propedeutica allo scarico. Al termine di tale intervallo la vasca, previa verifica di controllo della concentrazione di attività, viene scaricata. La vasca diventa così nuovamente disponibile per la commutazione sullo stato di apertura/raccolta. Di norma, comunque, non risulta concentrazione di attività misurabile dopo un mese di chiusura della vasca.

Tutte le operazioni sull'impianto, comprese quelle di scarico, sono registrate su log file. Sono inoltre registrati gli spettri utilizzati per le misurazioni con i relativi report del software di spettrometria gamma utilizzato.

I termini sorgenti annui sono valutabili con il formalismo illustrato nel Rif. 1. Qui ci limitiamo a riportare uno specchietto riassuntivo:

Tabella 3. Immissioni intercettate

	I-131	I-123	Ga-67	In-111	Tl-201	Tc-99m	Y-90	Er-169	Sm-153	Re-186	Ra-223	F-18	C-11	Ga-68
Frazione intercettata I*	0,88	0,15	1	1	1	0,5	0	0	1	1	0,03	0,13	1	1
Attività annua in ingresso all'impianto di decadimento** (MBq)	1172 2	2997	444	440	450	5994 00	0	0	1500	1300	37,5	1023 75	600	2000 0
Attività annua dopo 1 mese di decadimento in vasca chiusa (MBq) As	871,2	$6,4 \times 10^{-14}$	0,867	0,264	0,439	$4,5 \times 10^{-31}$	0	0	0,031	5,480	6,1	0	0	0
Immissione in rete fognaria (Bq/s)***	27,6	0	0,027	0,008	0,014	0	0	0	0,001	0,174	0,193	0	0	0
Immissione in rete fognaria (Bq/mc)****	1,4	0	0,001	1×10^{-4}	7×10^{-4}	0	0	0	5×10^{-5}	0,009	0,010	0	0	0
SF(Sv/(Bq/mc))*****	$8,6 \times 10^{-8}$	$2,2 \times 10^{-10}$	$1,1 \times 10^{-9}$	$8,4 \times 10^{-9}$	$8,6 \times 10^{-9}$	$3,3 \times 10^{-11}$			$8,2 \times 10^{-10}$	$3,4 \times 10^{-8}$	$1,0 \times 10^{-7}$	$1,4 \times 10^{-10}$	$9,4 \times 10^{-13}$	$2,5 \times 10^{-10}$
Ritorno di dose (µSv)	0,12	0	$1,1 \times 10^{-6}$	$8,4 \times 10^{-7}$	6×10^{-6}	0	0	0	4×10^{-8}	$3,1 \times 10^{-4}$	0,001	0	0	0
Totale (µSv)	0,121													

* Valore in Rif. 1 , Tabella 2, Col. 6 se ivi riportata, altrimenti cautelativamente 1. Y- 90, Er-169 pari a zero in quanto impianti stabili (microsfere) o iniezioni locali in articolazione (radiosinoviotesi). Per il Ra-223 il riferimento è Linea Guida AIMN-AIFM per l'utilizzo terapeutico del Ra223, punto 9.2.

** (Attività somministrata per paziente in MBq/pz) $\times$ (pz esterni + pz interni) $\times$ I.

*** (As in Bq) / (31536000 s); utilizzata approssimazione del continuo.

**** (Immissione in Bq/s) / (20 mc/s).

***** Screening factor per acque superficiali. NCRP 123.

Si ricorda che Y-90 ed Er-169 usati, molto sporadicamente, per terapia, non danno luogo a termini sorgente per immissioni ambientali. Essi sono infatti somministrati con modalità (radiosinoviotesi, microsfere) che prevedono la deposizione locale dell'isotopo senza diffusione all'interno dell'organismo, per cui non confluiscono nelle deiezioni. Gli altri isotopi per terapia sono somministrati, anche in via sistemica, a pazienti interni che sono immediatamente rinviati al reparto e richiamati solamente per una rapida scintigrafia di controllo della distribuzione di equilibrio del radiofarmaco. Nel caso del Ra-223 la somministrazione è ambulatoriale ed il paziente è immediatamente dimesso.

Formula di scarico per l'impianto di decadimento

Da quanto precede si evidenzia la non rilevanza radiologica delle immissioni intercettate. Tuttavia, poiché da un punto di vista formale è richiesta la autorizzazione di una formula di scarico, riassumiamo i termini sorgente su base annua nella seguente Tabella 4.

Tabella 4. Determinazione della formula di scarico per l'impianto di decadimento

	I-131	I-123	Ga-67	In-111	Tl-201	Tc-99m	Y-90	Er-169	Sm-153	Re-186	Ra-223	F-18	C-11	Ga-68
Attività annua in ingresso all'impianto di decadimento (MBq)	1172 2	2997	444	440	450	5994 00	0	0	1500	1300	37,5	1023 75	600	2000 0
Attività rilasciata dopo 1 mese di decadimento in vasca chiusa (MBq/anno) – Formula di scarico	871,2	$6,4 \times 10^{-14}$	0,867	0,264	0,439	$4,5 \times 10^{-31}$	0	0	0,031	5,480	6,1	0	0	0
Totale (MBq/anno)	884,4													
Ritorno di dose (μSv)	0,12	0	$1,1 \times 10^{-6}$	$8,4 \times 10^{-7}$	6×10^{-6}	0	0	0	4×10^{-8}	$3,1 \times 10^{-4}$	0,001	0	0	0
Attività rilasciata in un singolo scarico (MBq)*	87,1	$6,4 \times 10^{-15}$	0,087	0,026	0,044	$4,5 \times 10^{-32}$	0	0	0,003	0,548	0,61	0	0	0
Concentrazione volumica di attività al rilascio (Bq/mc)**	2903 3	$2,1 \times 10^{-15}$	0,029	0,009	0,015	$1,5 \times 10^{-32}$	0	0	0,001	0,183	0,203	0	0	0
Concentrazione massica di attività al rilascio (Bq/g)***	0,032	0	$3,2 \times 10^{-8}$	1×10^{-8}	$1,7 \times 10^{-8}$	0	0	0	$1,1 \times 10^{-9}$	$2,0 \times 10^{-7}$	$0,2 \times 10^{-7}$	0	0	0

* 10 scarichi annui; ** Volume vasca = 3 m³; Cautelativamente: densità liquame = 0,9 g/cm³.

Le concentrazioni riportate all'ultimo rigo della Tabella 4, e le attività annue riportate al secondo rigo possono essere considerate quali elementi costituenti di una formula di scarico, l'osservanza della quale è garantita dalle modalità di gestione precedentemente descritte.

9.3 Dose all'individuo rappresentativo e rispetto dei criteri di non rilevanza radiologica (All. XIV, punti 3.5.c; 3.6.c; 3.8.c).

Rilasci di attività a seguito di operazioni di spurgo dei gruppi Imhoff

E' opportuno sottolineare che i termini sorgente utilizzati nella formulazione della Tabella 3 includono anche le attività che restano nel gruppo Imhoff in esercizio. Quando questo è pieno, viene eseguita la commutazione sul gruppo a riposo ed il gruppo precedentemente in esercizio viene lasciato in isolamento per almeno 3 mesi, prima di procedere allo spurgo. I liquami spurgati sono conferiti ad un centro di smaltimento autorizzato, che spesso coincide con un depuratore. Quindi, sebbene essi non contribuiscano alla dose alla popolazione a seguito della immissione in rete fognaria, tuttavia possono contribuire al rilascio di dose a carico degli operatori degli impianti di depurazione. Vedremo tuttavia che questo contributo è frazionalmente trascurabile rispetto a quello derivante dalla raccolta, al livello del depuratore, della immissione non intercettata veicolata dalla rete fognaria. Il contributo in questione può essere calcolato in accordo alla seguente tabella:

Tabella 5. Rilascio di attività a seguito di spurgo del gruppo Imhoff a riposo

	I-131	I-123	Ga-67	In-111	Tl-201	Tc-99m	Y-90	Er-169	Sm-153	Re-186	Ra-223	F-18	C-11	Ga-68
Attività annua in ingresso all'impianto di decadimento (MBq)	1172 2	2997	444	440	450	5994 00	0	0	1500	1300	37,5	1023 75	600	2000 0
Attività media presente nel gruppo (MBq)*	781	200	29,6	29,3	30	3996 0	0	0	100	86,7	2,5	6,8	40	1333
Attività residua dopo 3 mesi di decadimento a gruppo chiuso (MBq)	0,32	$1,1 \times 10^{-47}$	$1,45 \times 10^{-7}$	$6,2 \times 10^{-9}$	$3,7 \times 10^{-8}$	4×10^{-104}	0	0	9×10^{-13}	$4,6 \times 10^{-6}$	0,010	0	0	0
Concentrazione e volumica di attività allo spurgo (Bq/mc) **	$3,2 \times 10^5$	$1,1 \times 10^{-41}$	0,145	0,006	0,037	4×10^{-98}	0	0	9×10^{-7}	4,6	1×10^{-4}	0	0	0
Concentrazione e massica di attività allo spurgo (Bq/g)***	0,36	$1,2 \times 10^{-47}$	$1,61 \times 10^{-7}$	$6,7 \times 10^{-9}$	$4,1 \times 10^{-8}$	$4,4 \times 10^{-104}$	0	0	1×10^{-12}	$5,1 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-10}$	0	0	0
Attività rilasciata (MBq/anno) – <u>Formula di scarico</u>	0,32	$1,1 \times 10^{-47}$	$1,45 \times 10^{-7}$	$6,2 \times 10^{-9}$	$3,7 \times 10^{-8}$	4×10^{-104}	0	0	9×10^{-13}	$4,6 \times 10^{-6}$	0,010	0	0	0
Totale (MBq/anno)	0,32													

* 10 scarichi annui delle vasche. Volume vasca = 3 m³. Volume annuo scaricato: 30 m³.

Volume singolo gruppo Imhoff = 1 m³. Ipotizzato uno spurgo annuo (molto cautelativo). Frazione di attività presente nel gruppo = (1 m³)/(30 m³) = 1/30 della attività annua in ingresso all'impianto.

Assunto cautelativamente 1/15 di tale attività. Le attività riportate nel secondo rigo sono quindi una frazione 1/15 di quelle riportate nel rigo superiore.

** Volume singolo gruppo Imhoff = 1 m³.

** Cautelativamente: densità liquame = 0,9 g/cm³.

Valutazione del ritorno di dose, per esposizione interna e per inalazione di polveri risospese, agli operatori del depuratore cittadino di Viterbo a seguito delle attività svolte presso la UO Medicina Nucleare dell'Ospedale di Belcolle

Questa valutazione è basata sullo schema di calcolo riportato nella pubblicazione AIFM (Associazione Italiana di Fisica Medica e Sanitaria) intitolata "Modalità di valutazione della dose assorbita dall'individuo rappresentativo della popolazione a seguito dello svolgimento di attività di Medicina Nucleare" pubblicata nell'Aprile del 2022.

Rinviando a detta pubblicazione per una corretta esposizione del formulario, si riassumono di seguito le ipotesi assunte come base di calcolo.

- Considerato l'unico impianto di depurazione (Valle Faul, Strada dei Bagni) a servizio dei 70000 abitanti del capoluogo (Viterbo).
- Ammessa una produzione media annua di 20 kg di secco per abitante, ed un rapporto di concentrazione massica di 0,05 tra fanghi e prodotto secco. Ne consegue una produzione secca annuale di $1,4 \times 10^6$ kg ed una produzione annuale di fanghi di $2,8 \times 10^9$ kg.
- E' assunta una esposizione dell'operatore di 1000 ore annue per la irradiazione esterna e di 2000 ore annue per la inalazione di polveri risospese.
- Il fattore di risospensione assunto è 1×10^{-7} kg/m³, mentre il volume respirato assunto è di 8400 m³/anno.
- Considerate le sole immissioni non intercettate ed il contributo derivante dallo spurgo degli Imhoff.

Questi fattori sono desunti dal Documento AIFM citato.

Il calcolo è sintetizzato nella successiva tabella. I valori finali, riportati negli ultimi due rigi, sono notevolmente inferiori al limite di rilevanza radiologica, assunto in 10 µSv/anno.

Come si vede dal confronto tra il primo ed il secondo rigo della tabella, il contributo derivante dallo spurgo degli Imhoff è frazionalmente trascurabile.

Impianto di depurazione

	I-131	I-123	Ga-67	In-111	Tl-201	Tc-99m	Y-90	Er-169	Sm-153	Re-186	Ra-223	F-18	C-11	Ga-68
Emissioni non intercettate (MBq/anno)	3552	1748 2	444	440	450	6993 00	0	0	1500	1300	1250	7056 00	600	2000 0
Contributo spurgo Imhoff (MBq/anno)	0,32	$1,1 \times 10^{-47}$	$1,45 \times 10^{-7}$	$6,2 \times 10^{-9}$	$3,7 \times 10^{-8}$	4×10^{-104}	0	0	9×10^{-13}	$4,6 \times 10^{-6}$	0,010	0	0	0
Fattore di riduzione per il decadimento (adimensionale)	0,476	0,040	0,232	0,886	0,201	0,018			0,139	0,261	0,579	0,005	0,001	0,003
Concentrazioni nei fanghi (Bq/kg)	0,603	0,249	0,037	0,195	0,032	4,5			0,074	0,121	0,258	1,25	$2,1 \times 10^{-4}$	0,021
Concentrazioni volumica (Bq/mc) assumendo 1600 kg/mc	964,8	398,4	59,2	312	51,2	7200			118,4	193,6	412,8	2000	0,336	33,6
Coefficiente di restituzione di dose per esposizione esterna [(Sv/anno)(Bq/mc)]*	$3,44 \times 10^{-10}$	$1,12 \times 10^{-10}$	$1,16 \times 10^{-10}$	$3,0 \times 10^{-10}$	$4,4 \times 10^{-11}$	$8,67 \times 10^{-11}$			$3,5 \times 10^{-11}$	$2,9 \times 10^{-11}$	$9,83 \times 10^{-11}$	$9,18 \times 10^{-10}$	$9,54 \times 10^{-10}$	$9,23 \times 10^{-10}$
Ritorno di dose per esposizione esterna (μSv/anno)	0,038	$5,1 \times 10^{-9}$	$7,8 \times 10^{-10}$	$9,4 \times 10^{-8}$	$2,6 \times 10^{-10}$	$7,1 \times 10^{-8}$			$4,7 \times 10^{-10}$	$6,4 \times 10^{-10}$	$4,6 \times 10^{-9}$	2×10^{-7}	$3,6 \times 10^{-11}$	$3,5 \times 10^{-9}$
Attività inalata (Bq/anno)**	$1,14 \times 10^{-4}$	$4,7 \times 10^{-5}$	7×10^{-6}	$3,7 \times 10^{-5}$	6×10^{-6}	$8,5 \times 10^{-4}$			$1,4 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$4,9 \times 10^{-5}$	$2,4 \times 10^{-4}$	4×10^{-8}	4×10^{-6}
Coefficiente di restituzione di dose per inalazione (Sv/Bq)***	$1,47 \times 10^{-8}$	$1,25 \times 10^{-10}$	$1,63 \times 10^{-10}$	$2,34 \times 10^{-10}$	$5,58 \times 10^{-11}$	$1,10 \times 10^{-11}$			$6,03 \times 10^{-10}$	$1,08 \times 10^{-9}$	$2,08 \times 10^{-6}$	$2,35 \times 10^{-11}$	$3,26 \times 10^{-12}$	$3,67 \times 10^{-11}$
Ritorno di dose per inalazione (μSv/anno)	$1,67 \times 10^{-6}$	$5,9 \times 10^{-9}$	$1,1 \times 10^{-9}$	$8,6 \times 10^{-9}$	$3,3 \times 10^{-10}$	$9,3 \times 10^{-9}$			$8,4 \times 10^{-9}$	$2,5 \times 10^{-8}$	10^{-4}	$5,6 \times 10^{-9}$	$1,3 \times 10^{-13}$	$1,5 \times 10^{-10}$
Ritorno totale di dose da esposizione esterna (μSv/anno)	< 0,05													
Ritorno totale di dose da inalazione (μSv/anno)	< 10^{-5}													

* FDR 15 – EPA Tavola 4-5 adulto

** Concentrazione nei fanghi $\times 1,9 \times 10^{-4}$ kg/anno (rif. AIFM)

*** NCRP 123 Tavola A.1 Colonna 3

10. Vincoli di dose proposti ai fini dell'applicazione del principio di ottimizzazione (All. XIV punto 3.4.f)

In conformità a quanto suggerito dalla letteratura di settore e sulla base dell'esame retrospettivo delle dosi individuali effettivamente rilevate nell'arco di più anni, si suggeriscono i seguenti vincoli di dose per le attività di Medicina Nucleare.

Lavoratori coinvolti in attività diagnostica SPECT, PET (senza distinzione di qualifica):
5 mSv/anno per esposizione globale, 50 mSv/anno per esposizione delle estremità.

Lavoratori non classificati esposti (personale che esegue le pulizie dei bagni e dei pavimenti):
0,2 mSv/anno da irradiazione globale esterna.

Parenti ed accompagnatori dei pazienti sottoposti a somministrazione di radiofarmaci:
2 mSv/evento per terapia; 0,75 mSv/evento per diagnostica (questi dati sono riscaldati da ICRP 94 considerando un target di 5 mSv per somministrazione di 1221 MBq di Iodio-131 per ablazione).

Individuo rappresentativo: si può considerare cautelativamente un vincolo di dose di 0,1 mSv/anno per le persone del pubblico che frequentano i locali adiacenti l'area calda del reparto di Medicina Nucleare. Il ritorno di dose alla popolazione generale dalle attività di Medicina Nucleare è al di sotto della soglia di rilevanza radiologica, come dimostrato in altre sezioni della presente documentazione.

11. Criteri e modalità di attuazione degli adempimenti previsti dagli articoli 130 e 131 del D.Lgs. 101/2020

11.1 Periodicità delle valutazioni (Art. 130 D. Lgs. 101/2020)

Le valutazioni delle dosi assorbite per i lavoratori esposti da parte dell'ERP, effettuate mediante dosimetri individuali, ha periodicità semestrale. Il controllo delle letture dosimetriche (risposte dosimetriche) da parte dell'ERP ha invece cadenza mensile o trimestrale, rispettivamente per i dosimetri a badge (Art. 130.3) e ad anello (Art. 130.6).

11.2 Periodicità delle comunicazioni (Art. 130.8 D.Lgs. 101/2020)

La comunicazione al Medico addetto alla sorveglianza medica delle valutazioni di dose assorbita dai lavoratori esposti ha cadenza semestrale per gli esposti di categoria A, annuale per gli esposti di categoria B. La comunicazione delle dosi al Datore di lavoro ha cadenza semestrale.

11.3 Periodicità dei sopralluoghi (Art 130.1.b.3,4,5.; Art. 131.1.c,e D.Lgs. 101/2020)

Le verifiche periodiche di radioprotezione, nel corso delle quali viene eseguito il controllo dell'efficacia dei dispositivi di protezione e delle buone condizioni di funzionamento degli strumenti di misurazione, nonché la verifica dell'efficacia delle procedure di radioprotezione stabilite, hanno frequenza annuale.

11.4 Strumentazione di misura dislocata permanentemente nella installazione

Sono permanentemente dislocati, all'interno della installazione, i seguenti strumenti di controllo e misura:

- 1) Contatore Geiger-Müller Modello LND 71210 con centralina TAM/S NS operativo in modalità continua, per dosimetria ambientale nel locale isolatore. Soglia di allarme presettata.
- 2) Monitor mani-piedi-vesti Nuvia Modello HFC V10 collocato in zona filtro. Soglie di allarme presettate.
- 3) Contatore Geiger Rotem S
- 4) Contaminometro Rotem RAM GENE-1 con soglie presettate

Il corretto funzionamento viene verificato dall'ERP contestualmente al sopralluogo annuale di cui al punto 11.3, ed in ogni caso su segnalazione di possibile malfunzionamento.

12. Modalità di attuazione degli obblighi previsti dagli Artt. 110, 111 del D. Lgs. 101/2020

La attività di informazione sui rischi di natura radiologica viene svolta direttamente dall'ERP su ogni lavoratore neoassunto o trasferito presso il reparto di Medicina Nucleare. La attività di formazione obbligatoria dei lavoratori in materia radioprotezionistica è svolta attraverso iniziative interne, sia in presenza che in modalità FAD, programmate nel contesto della deliberazione del "Piano Formativo Aziendale", emanato ogni anno dalla UO Formazione ed approvato dalla Direzione Aziendale e dagli RR.LL.SS. L'ERP ed i dirigenti della UO Fisica Sanitaria partecipano alla promozione di tali iniziative (proposte in ECM) ed alla attività di docenza, con una cadenza circa triennale.

13. Benestare di radioprotezione

A conclusione delle valutazioni e dei sopralluoghi effettuati si rinnova benestare radioprotezionistico all'impianto ai sensi del D. Lgs. 101/2020.

Viterbo, 03 Marzo 2025



Dott. LEONARDO CHIATTI
Esperto in Radioprotezione
III° Grado n. 369 (D.Lgs. 101/2020)

12 *Elenco allegati*

All.1 Regolamento di sicurezza

All. 2 Bibliografia-sitografia

Allegato 1. Regolamento di sicurezza

1.1 Dotazione dei dispositivi individuali di protezione

In aggiunta alle barriere in piombo installate sulle pareti delle stanze o del deposito radioattivi in cella calda, è prevista la dotazione del seguente materiale accessorio:

- a) Guanti di lattice e di nitrile
- b) Sopravestiti e soprascarpe monouso
- c) Lenzuoli ed asciugamani di carta
- d) Sacchi di plastica per rifiuti
- e) Detergente complessante non alcalino per decontaminazione (es. EDTA)
- f) Schermasiringhe
- g) Contenitori piombati per il trasporto e prelievo di flaconi di sostanze radioattive
- h) Telepinze
- i) Contenitori schermati per rifiuti solidi
- j) Protezione mobile da banco
- k) Blocchi di piombo a coda di rondine
- l) Estintore del tipo a polvere o CO₂

1.2 Dotazione della strumentazione accessoria

È prevista, inoltre, la seguente strumentazione accessoria:

- a) microcuriometro per la valutazione dell'attività da somministrare al paziente
- b) rivelatore di contaminazione mani-piedi
- c) rivelatore di contaminazione per le superfici di lavoro

1.3 Norme operative di sicurezza

1.3.1 Radioprotezione dei lavoratori

Tutto il personale che opera entro il Servizio di Medicina Nucleare, oltre agli obblighi generali per i lavoratori esposti contenuti nel D.Lgs. 101/2020, deve attenersi alle seguenti norme specifiche.

1. Tutti gli operatori del Servizio devono essere muniti di appropriati indumenti da lavoro: camici, casacche, grembiuli, pantaloni o quanto altro previsto dal corredo in dotazione,

calzature. Nel caso di manipolazione o contatto con sorgenti radioattive munirsi di guanti di plastica monouso.

2. Per limitare i rischi di contaminazione il personale deve osservare, dentro la Zona Controllata, le seguenti precauzioni:

- a) non mangiare, fumare e bere;
- b) non toccare telefoni, maniglie, strumenti con le mani o i guanti contaminati;
- c) non usare frigoriferi, che normalmente contengono sostanze radioattive, per conservare prodotti alimentari e viceversa;
- d) limitare per quanto possibile l'uso di effetti personali: borsette, pettini, cosmetici, ecc.;
- e) controllare frequentemente, tramite gli appositi strumenti per la misura della contaminazione, le mani, le calzature e gli indumenti di lavoro.

3. Il personale deve rimanere vicino ai pazienti somministrati solo il tempo strettamente necessario per le funzioni di assistenza e per l'esecuzione delle operazioni di lavoro connesse alle indagini.

4. L'accesso alla Zona Controllata è limitato; l'ingresso è consentito solo al personale autorizzato ed ai pazienti sottoposti ad indagine.

5. Il personale deve controllare che i pazienti non escano, senza autorizzazione, dalla sala di attesa calda loro destinata.

6. Tutti i radiofarmaci, prodotti diagnostici o sostanze radioattive di altro tipo in arrivo al Servizio devono essere immediatamente depositati in camera calda e dopo la loro verifica sistemati a seconda dei casi in cassaforte o entro le cappe schermate o negli appositi frigoriferi. La documentazione relativa deve essere conservata. Il preposto è incaricato della registrazione del carico e scarico e della tenuta dell'apposito registro.

7. Non trasferire materiale radioattivo, di qualsiasi natura, al di fuori della Zona Controllata senza l'autorizzazione del personale del Servizio di Fisica Sanitaria.

8. La preparazione dei radiofarmaci per indagini in vivo deve essere eseguita in camera calda.

9. La somministrazione dei radiofarmaci deve essere di norma eseguita nell'apposito locale. Diversamente, le sostanze radioattive devono essere opportunamente schermate durante il trasporto.

10. Durante la somministrazione tramite iniezione, munirsi di guanti monouso ed impiegare siringhe schermate. Rimuovere con cura il cappuccio di protezione dell'ago e deporlo in un apposito supporto di sostegno. Effettuata l'iniezione reinserire l'ago della siringa entro il cappuccio con l'ausilio del supporto stesso, al fine di evitare punture accidentali.
11. Durante le somministrazioni per via orale munirsi di guanti; fare sedere il paziente ad un tavolo con superficie decontaminabile e bordi rialzati o sul quale sia disposto un vassoio con tali caratteristiche. Mettere a disposizione del paziente tovaglioli e bicchieri monouso ed acqua per favorire la deglutizione. Istruire il paziente sul modo di assumere il radiofarmaco (capsule o soluzione) ed assisterlo durante l'operazione. Nel corso dell'operazione, mantenere la massima distanza dalla sorgente.
12. I rifiuti radioattivi solidi devono essere raccolti e conservati negli appositi contenitori schermati a pedale rivestiti internamente con apposita busta di plastica. Questa, se piena, deve essere chiusa e trasferita nell'apposito locale esterno per lo stoccaggio all'interno degli appositi fusti.
13. E' fatto obbligo al personale di sottoporsi almeno una volta al giorno e comunque ogni volta che si esce dalla Zona Controllata, al monitoraggio delle mani, dei piedi e degli indumenti di lavoro per verificare la presenza di eventuali contaminazioni.

1.3.2 Disposizioni particolari per le lavoratrici in gravidanza

14. Ferma restando l'applicazione delle norme speciali concernenti la tutela delle lavoratrici madri (D.Lgs. 151/2001), le donne gestanti non possono svolgere attività in zone classificate o, comunque, ad attività che potrebbero esporre il nascituro ad una dose che ecceda 1 mSv durante il periodo della gravidanza.
15. E' fatto obbligo alle lavoratrici di notificare al datore di lavoro il proprio stato di gestazione, non appena accertato.
16. E' altresì vietato adibire le donne che allattano ad attività comportanti un rischio di contaminazione.

1.3.3 Descrizione dei percorsi

Il paziente che deve effettuare un esame accede al reparto dal corridoio esterno, attraverso l'ambiente denominato "attesa fredda" e si presenta in "accettazione" per le formalità di rito. Successivamente il paziente ritorna in attesa fredda, dove aspetta di essere chiamato per la somministrazione del radiofarmaco. All'atto della chiamata, egli attraversa il corridoio interno del reparto entrando così in zona calda ed accede alla sala somministrazione, dove gli viene somministrato il radiofarmaco.

Successivamente, il paziente si sposta nell' attiguo locale di "attesa calda", dove aspetta di essere chiamato per l' espletamento dell' esame.

Quando la chiamata arriva egli, riattraversando il corridoio interno della zona calda, accede al locale dove è situata la gamma camera (nel caso di esame scintigrafico) o al locale ergonomia (nel caso di captazione o nell' eventualità di prova sotto sforzo). Terminato l' esame, egli ritorna in sala d'attesa calda, dove sosta un paio di ore. A questo punto, riattraversa il corridoio interno uscendo dalla porta attigua all' atrio.

Il paziente interno barellato segue il medesimo percorso, saltando però la fase di accettazione ed attesa fredda. Terminato l' esame, rimane in sosta per un periodo totale di quattro ore dalla somministrazione del radiofarmaco, per essere poi riaccompagnato al reparto di appartenenza.

Gli operatori accedono agli spogliatoi (zona filtro) dove si cambiano, indossando gli indumenti da lavoro in dotazione. A conclusione del turno, ritornano negli spogliatoi per cambiarsi. È fatto divieto di portare gli indumenti di lavoro fuori dal reparto.

1.3.4 Procedure di decontaminazione

In caso di contaminazione di persone o superfici, è fondamentale agire con tempestività, tentando, come prima cosa, di impedire la diffusione della radioattività a cose o persone.

Tutto il materiale necessario per la decontaminazione è custodito nell'armadietto, in cui è chiaramente affisso "presidio di radioprotezione"; è cura del Preposto di radioprotezione tenerlo sempre rifornito di tutto il necessario.

Nel seguito, sono elencate le procedure di corretto intervento.

Contaminazione di persona

La persona contaminata, con l'aiuto dei colleghi che indosseranno camice, guanti e mascherina, se necessaria, deve provvedere alla prima decontaminazione sul posto, cercando di evitare il passaggio del contaminante dall'esterno all'interno del corpo e a parti del corpo non contaminate, in particolare occhi, bocca e narici. A tale scopo:

1. tamponare con carta assorbente la zona della pelle o gli abiti sui quali è avvenuto il versamento di liquido radioattivo;
2. misurare la contaminazione con il rivelatore;
3. togliere gli indumenti contaminati e chiuderli in un sacchetto di plastica;
4. in caso di contaminazione dei capelli, tagliare la ciocca contaminata e, se necessario, lavare i capelli con acqua tiepida, evitando che l'acqua scorra sul viso;
5. lavare la parte contaminata con acqua corrente tiepida (non usare acqua calda!), usando eventualmente una spazzola morbida e sapone neutro;
6. occhi e bocca vanno sciacquati più volte con acqua o soluzione fisiologica;
7. le operazioni sopra descritte vanno effettuate nel lavandino o nella doccia del bagno di decontaminazione;

- 8.continuare la decontaminazione, fino a che la misura indichi che la contaminazione è stata rimossa;
- 9.sospendere la decontaminazione se compaiono segni di irritazione cutanea;
10. annotare, per le successive valutazioni radioprotezionistiche, il tipo di contaminante e l'attività misurata prima e dopo le procedure di decontaminazione;
11. a conclusione delle procedure sopra descritte, segnalare subito l'incidente all'Unità Operativa di Fisica Sanitaria e al Medico Autorizzato.

Nel caso si verifichi una ferita:

1. richiedere l'intervento del pronto soccorso;
- 2.contemporaneamente, misurare con il rivelatore la contaminazione della zona in cui si trova la ferita;
- 3.lavare la ferita con abbondante acqua corrente, distendendone i bordi e favorendo un leggero sanguinamento;
4. annotare, per le successive valutazioni radioprotezionistiche, il tipo di contaminante e l'attività misurata prima e dopo le procedure di decontaminazione;
- 5.a conclusione delle procedure sopra descritte, segnalare subito l'incidente all'Unità Operativa di Fisica Sanitaria e al Medico Autorizzato.

Contaminazione ambientale

In caso di spargimento di materiale radioattivo sul pavimento e/o sulle superfici di lavoro, l'operatore deve:

- 1.avvisare verbalmente tutte le persone presenti nelle vicinanze;
- 2.limitare l'accesso all'area contaminata. Il personale non necessario alle operazioni di decontaminazione deve allontanarsi dall'area coinvolta;
- 3.indossare guanti, mascherina e, se necessario, soprascarpe;
- 4.chiudere la sorgente da cui è originata la contaminazione e metterla al sicuro;
- 5.azionare le cappe ed i sistemi di aspirazione dotati di filtro;
- 6.applicare carta assorbente sulla zona contaminata;
- 7.circoscrivere o delimitare l'area contaminata con appositi contrassegni;
- 8.rimuovere il materiale assorbente usando, se possibile, pinze, scope e palette;
- 9.strofinare la zona circoscritta con tamponi imbevuti di soluzione per la decontaminazione;
10. il materiale impiegato per la decontaminazione, se non riutilizzabile, va raccolto ed eliminato come rifiuto radioattivo;

11. il materiale riutilizzabile va a sua volta sottoposto a decontaminazione;
12. ripetere le operazioni fino a che le misure di contaminazione non dimostreranno che questa è stata rimossa;
13. nel caso in cui questo non sia possibile, isolare la zona contaminata con un foglio di polietilene sigillato ai bordi con nastro adesivo, identificarla come zona contaminata, indicando la data ed il tipo di radionuclide presente e lasciarla così per il tempo necessario al decadimento del contaminante;
14. a conclusione delle operazioni, controllare l'eventuale contaminazione degli operatori ed avvertire prontamente l'Unità Operativa di Fisica Sanitaria e (solo in caso di contaminazione degli operatori) il Medico Autorizzato.

1.3.5 Radioprotezione del paziente

1. Il Medico Responsabile di Impianto provvede, per ogni indagine clinica richiesta, alla relativa giustificazione, attraverso una anamnesi preliminare all'esame. Nel corso di tale anamnesi vanno accertate, nel caso di pazienti donne in età fertile, le eventuali condizioni di gravidanza o allattamento.
2. L' Unità Operativa di Fisica Sanitaria, di intesa con il Medico Responsabile dell' impianto, provvede ad attuare un programma di controlli di qualità sulle apparecchiature (SPECT, sonda per captazione e pozzetto, calibratore di dose, sonde per chirurgia radioguidata).
3. Nei protocolli di tali controlli sono riportate le grandezze da misurare, le modalità di espletamento delle prove, la tipologia delle prove (accettazione, stato o costanza) e le relative periodicità. Vengono inoltre indicate le tolleranze, i livelli di riferimento e le norme seguite (CEI, NCRP, NEMA, etc.)
4. Alcuni controlli di primo livello possono essere delegati al personale tecnico del reparto.
5. Il Medico Responsabile dell'Impianto, in collaborazione con la Unità Operativa di Fisica Sanitaria, provvede all'espletamento delle procedure di ottimizzazione della attività somministrata, secondo quanto stabilito dal D. Lsvo 101/20, ed alla verifica ed aggiornamento dei Livelli Diagnostici di Riferimento.
6. Il Medico Responsabile dell'impianto provvede a che le indagini ed i trattamenti vengano registrati singolarmente su piattaforma informatica, riportando anche le attività somministrate di radiofarmaco.

1.3.6 Radioprotezione della popolazione

Nella attività di Medicina Nucleare i casi in cui la popolazione può essere coinvolta nella irradiazione sono i seguenti :

- 1) Accompagnatori

Ci si riferisce ai soggetti che coscientemente e volontariamente collaborano, al di fuori della loro occupazione, all'assistenza ed al conforto di pazienti sottoposti a diagnosi. A questi soggetti sono comunque applicati i principi di limitazione ed ottimizzazione della dose. Il Medico responsabile dell'impianto valuterà la necessità di esporre tali soggetti, sentita anche la Unità Operativa di Fisica Sanitaria per quanto attiene l'assicurazione del rispetto dei limiti di dose.

2) Ritorno in reparto di un paziente interno

Non sussistono rischi particolari per i pazienti collocati nella stessa stanza. Si può tuttavia raccomandare l'isolamento del paziente per un giorno dopo l'esame diagnostico.

3) Dimissione di un paziente esterno

Per quanto riguarda i pazienti esterni non sembrano porsi particolari problemi radioprotezionistici concernenti il rispetto della dose limite alla popolazione. Tuttavia, ai fini della ottimizzazione, il Medico Responsabile dell'impianto predisporrà istruzioni scritte da rilasciare al paziente o al suo tutore legale prima della uscita dal reparto. Tali istruzioni potranno includere la raccomandazione di evitare il contatto stretto e prolungato con i familiari ed i conoscenti durante il periodo immediatamente successivo all'esame, in particolare con i bambini e le donne in stato interessante. Nel caso di donne che allattano al seno, potrebbe rendersi necessaria la sospensione temporanea dell'allattamento (ICRP n. 52).

4) Scarichi radioattivi

I liquami prodotti dai pazienti radioattivi nei bagni caldi sono intercettati e raccolti nel sistema di vasche di decadimento del reparto di Medicina Nucleare. Una vasca piena viene isolata e lasciata in decadimento per circa un mese. Trascorso questo periodo, la concentrazione di attività all'interno della vasca viene misurata e, se trovata nulla entro l'incertezza di misura, la vasca viene scaricata. La misurazione della concentrazione di attività e l'eventuale scarico sono eseguiti dall'Esperto in Radioprotezione. Tutti gli scarichi, e le misurazioni di concentrazione di attività contestuali, sono registrati sul sistema informatizzato di gestione dell'impianto di decadimento.

15. Organizzazione della sorveglianza fisica

a. Periodicità delle valutazioni

Le valutazioni delle dosi assorbite per i lavoratori esposti, da effettuarsi mediante dosimetri individuali, ha periodicità semestrale. Si intende che il controllo delle letture dosimetriche (risposte dosimetriche) ha invece cadenza mensile o trimestrale, rispettivamente per i dosimetri a badge e ad anello.

b. Periodicità delle comunicazioni

La comunicazione al Medico addetto alla sorveglianza medica delle valutazioni di dose assorbita dai lavoratori esposti ha cadenza semestrale per gli esposti di categoria A, annuale per gli esposti di categoria B. La comunicazione delle dosi al Datore di lavoro ha cadenza annuale.

c. Periodicità dei sopralluoghi

Le verifiche periodiche di radioprotezione, nel corso delle quali viene eseguito il controllo dell'efficacia dei dispositivi di protezione e delle buone condizioni di funzionamento degli strumenti

di misurazione, nonché la verifica dell'efficacia delle procedure di radioprotezione stabilite, hanno frequenza annuale.

Allegato 2. Bibliografia-sitografia

- 1) ICRP Publication n°28 “The principles and general procedures for handling emergency and accidental exposure of workers” (1977)
- 2) ICRP Publication n°35 “General principles of monitoring for radiation protection of workers” (1982)
- 3) ICRP Publication n°46 “Radiation protection principles for the disposal of solid radioactive waste ” (1985)
- 4) ICRP Publication n°52 “Protection of the patient in Nuclear Medicine ” (1987)
- 5) ICRP Publication n°60 - Trad. Italiana . ENEA Disp (1990)
- 6) ICRP Publication n°68 “Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers ” (1994)
- 7) ICRP Publication n°78 “Individual monitoring for internal exposure of workers – replacement of ICRP publication n° 54” (1997)
- 8) ICRP Publication n°119 “Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60”
- 9) Stefano Magrini “Radioprotezione: principi e metodi”. Ed. Grasso (1987)
- 10) Groenewald W. and Wasserman H. “Constants for calculating ambient and directional dose equivalents from radionuclide point sources” Health Physics 58: 655-658 (1990)
- 11) Health Physics Society (www.nchps.org/nsds.htm)
- 12) Misure edili di radioprotezione per tomografi PET. Linea Guida L-07-01 Ufficio Federale Elvetico di Sanità Pubblica (2018)
- 13) Radiation protection in newer medical imaging techniques: PET-CT. IAEA Safety report series n. 58 (2008)
- 14) Modalità di valutazione della dose assorbita dall'individuo rappresentativo della popolazione a seguito dello svolgimento di attività di Medicina Nucleare. Documento Comitato di Radioprotezione AIFM Aprile 2022
- 15) NCRP Report N. 123, Screening models for releases of radionuclides to atmosphere, surface water, and ground, I e II, 1996
- 16) IAEA Safety Reports Series No. 19, Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment
http://wwwpub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1103_scr.pdf

- 17) EPA Federal Guidance Report n. 15. External Exposure to Radionuclides in air, water and soil. August 2019.