



Corso d'aggiornamento interregionale AIFM Piemonte-Liguria-Valle d'Aosta

Aspetti di Radioprotezione legati alla progettazione di un centro d'imaging PET/TC

M. Brambilla

S.C. Fisica Sanitaria –ASO “Maggiore della Carità” Novara

RADIOISOTOPI UTILIZZATI

Caratteristiche fisiche

	$E_{\beta \text{ max}}$	E_{γ}	$T_{1/2}$
^{18}F	634 keV (97%)	511 keV (194%)	1,83 h
^{11}C	960 keV (100%)	511 keV (200%)	20,4 min
^{13}N	1199 keV (100%)	511 keV (200%)	9,97 min
^{15}O	1732 keV (100%)	511 keV (200%)	2,04 min

**PROGETTAZIONE DELLA
STRUTTURA
(CARATTERISTICHE DEI
LOCALI E SCHEMATURE)**

Schermature

⇒ *HVL (piombo)*

- 4,05 mm (Kearfoot et al., 1992)

- 6 mm (Delacroix et al., 2002)

- 4,3 mm (Guasti)

⇒ *HVL (piombo) - radiazione emessa dal paziente*

- 2,9 - 3 mm (Saitta, Zito)

⇒ *HVL (calcestruzzo)*

- 3,5 cm (Kearfoot et al., 1992)

- 3,51 cm (Guasti)

⇒ *HVL (mattoni pieni) - radiazione emessa dal paziente*

- 6 cm (Zito)

Obiettivi di progetto

- ⇒ ***0.25 mSv/anno*** nelle aree esterne occupate stabilmente da individui della popolazione o da lavoratori non esposti
- ⇒ ***0.5 - 1 mSv/anno*** nelle zone comando o nella camera calda

Assunzioni preliminari per il calcolo delle schermature

Attenuazione nei vari materiali per fotoni 511 keV

Materiale	Geometria sorgente	HVL	II HVL
Piombo	Paziente	2.9 mm	5.2
Mattone pieno	Paziente	8 cm	
Calcestruzzo	Paziente	5.7 cm	

Attenuazione nei vari materiali per raggi X KVp=150 (NBS Hb n°76)

Materiale	HVL
Piombo	0,3 mm
Calcestruzzo	2,3 cm

Assunzioni preliminari per il calcolo delle schermature

Distribuzione spaziale del dose rate

Costante gamma specifica 18F vial 100 cm:

158 $\mu\text{Sv/h}$ *GBq a 100 cm

AAPM Task Group 108: 143 $\mu\text{Sv/h}$ *GBq a 100 cm

Dose rate paziente con FDG nelle varie direzioni:

Frontale: 116 \pm 13 $\mu\text{Sv/h}$ * GBq a 100 cm

Laterale: 64 \pm 13 $\mu\text{Sv/h}$ * GBq a 100 cm

AAPM Task Group 108: 63 $\mu\text{Sv/h}$ *GBq a 100 cm

Assunzioni preliminari per il calcolo delle schermature

- Carico di lavoro diagnostica PET/TC: 15 pazienti/giorno
- Attività media iniettata per paziente: 370 MBq (10 mCi)
- Tempo medio di uptake per paziente: 60 min
- Quantità di attività accumulata in vescica ed escreta: 15%
- Tempo di esame per paziente: 30 min

Esempio di calcolo delle barriere in sala di diagnostica

- sorgente = paziente
- dose rate (Γ) laterale = $64 \mu\text{Sv/h} \cdot \text{G bq}$ a 1 m (d_{rif})
- attività media residua = 197 Mbq
- $\tau = 158.4$ min
- distanza minima dal paziente (d_{mis}) = 300 cm
- Dose di progetto $D_p = 0.5$ mSv/anno ($10 \mu\text{Sv/sett}$)
- HVL calcestruzzo = 5.7 cm
- HVL mattone pieno = 8.0 cm
- N° pazienti medio giornalieri = 15
- Tempo medio (T) di esame = 30 min

Esempio di calcolo delle barriere in sala di diagnostica

Dose giornaliera in assenza di schermatura

$$D(T) = 15 * \Gamma * \tau (d_{rif}/d_{mis})^2 * A0 [1 - e^{(-t/\tau)}]$$

= 9.57 μ Sv (Dw = 47.8 μ Sv/sett)

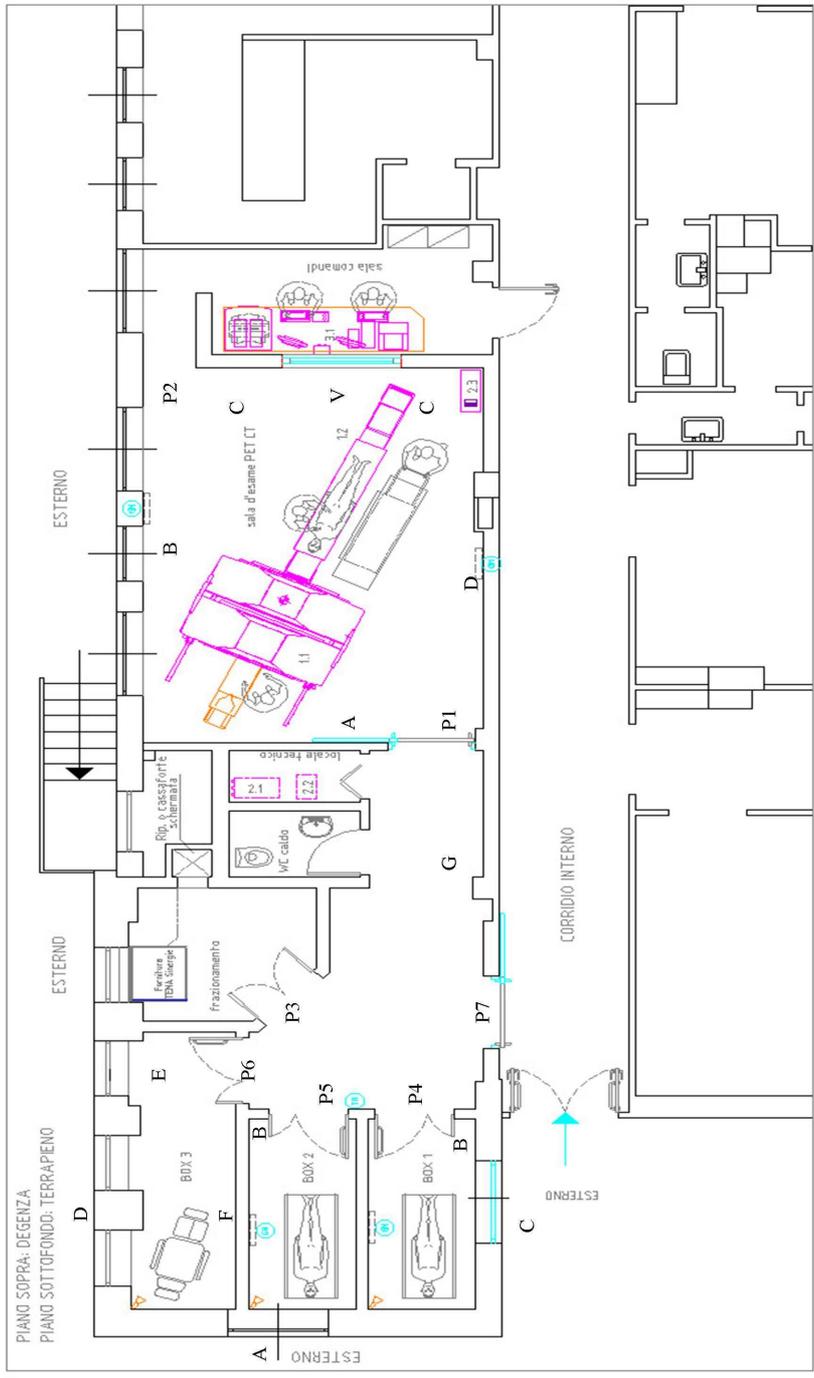
- Attenuazione richiesta $B_{511} = Dp/Dw = 10/47.8 = 2.09 \times 10^{-1}$

- N°HVL = $\text{Log}(1/B)/\text{Log}2 = 2.26$

- Spessore calcestruzzo HVL * N°HVL = 12.9 cm

- Spessore calcestruzzo HVL * N°HVL = 18.4 cm

- Spessore Piombo $1^\circ\text{HVL} + (N^\circ\text{HVL}-1) * 2^\circ\text{HVL} = 2.9 + (1.26*5.2) = 9.45$
mm Pb



Calcolo delle barriere in sala di diagnostica

Sala PET/TC

Ipotesi : $W = 10000 \text{ mA} \cdot \text{min}/\text{sett}$; $R = 3,8 \text{ E-}03 \cdot 1 \text{ E}4 = 3,8 \text{ E}01 \text{ mGy}/\text{sett}$

IL dato di rateo della diffusa da CT viene ricavato dalla pubblicazione AAPM 39 che definisce $3,8\text{E-}03 \text{ mGy}/\text{mA}$

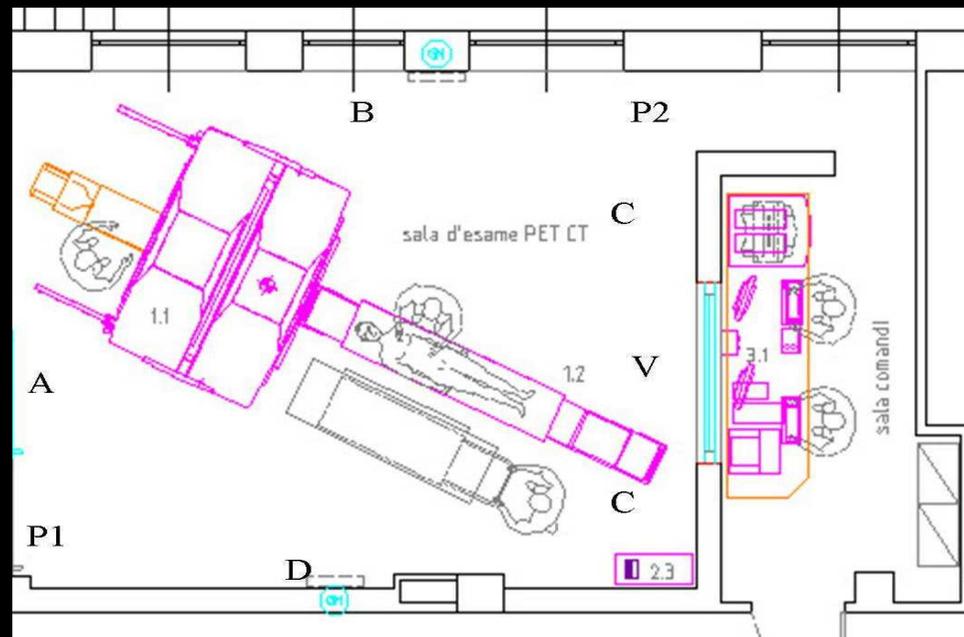
Il carico per la sorgente di positroni viene calcolato per 10 mCi iniettati in paziente per 40 ore/sett

Il punto per il calcolo delle schermature laterali viene assunto a distanza di 20 cm dalla parete di riferimento.

$$R \text{ sett (uSv/sett ad 1 metro) } = (15 \cdot 64 \cdot 158,4 / 60 \cdot 0,215 \cdot (1 - \exp(-30/158,4))) \cdot 5 = 470,08$$

$$(15 \cdot 116 \cdot 158,4 / 60 \cdot 0,215 \cdot (1 - \exp(-30/158,4))) \cdot 5 = 852,02$$

parete	distanza	rateo (uSv/sett) positroni	rateo (usv/sett) TC	tot	class	occupazione	dmax	Ft	FTC	Fgamma	N HVL TC	spessore mm Pb TC	Spessore cm cls TC	N HVL gamma	Spessore cm cls gamma	Spessore mm pb gamma	Spessore cm mattoni gamma
P1	3,3	43,17	3489,44	3532,61	sorvegliata	0,25	40	0,01	1,15E-02	9,27E-01	6,4	1,9	14,8	0,1	0,6	0,3	0,9
A	2,9	55,90	4518,43	4574,33	sorvegliata	0,25	40	0,01	8,85E-03	7,16E-01	6,8	2,0	15,7	0,5	2,8	1,4	3,8
B	2,8	59,96	4846,94	4906,90	libera	0,25	20	0	4,13E-03	3,34E-01	7,9	2,4	18,2	1,6	9,0	5,9	12,5
P2	5,0	18,80	1520,00	1538,80	sorvegliata	1	10	0,01	6,58E-03	5,32E-01	7,2	2,2	16,7	0,9	5,2	2,6	7,2
C	4,7	21,28	1720,24	1741,52	sorvegliata	1	10	0,01	5,81E-03	4,70E-01	7,4	2,2	17,1	1,1	6,2	3,4	8,6
V	4,7	21,28	1720,24	1741,52	sorvegliata	1	10	0,01	5,81E-03	4,70E-01	7,4	2,2	17,1	1,1	6,2	3,4	8,6
D	3,4	40,66	3287,20	3327,86	libera	0,5	10	0	3,04E-03	2,46E-01	8,4	2,5	19,2	2,0	11,5	8,2	16,0
Soffitto	3,2	83,21	3710,94	3794,14	libera	1	5	0	1,35E-03	6,01E-02	9,5	2,9	21,9	4,1	23,1	18,8	32,0



Conclusioni

La parete A (che si assume costituita da 20 cm di cls) non necessita di schermature.

La porta P1 dovrà essere schermata con 2 mm di Pb.

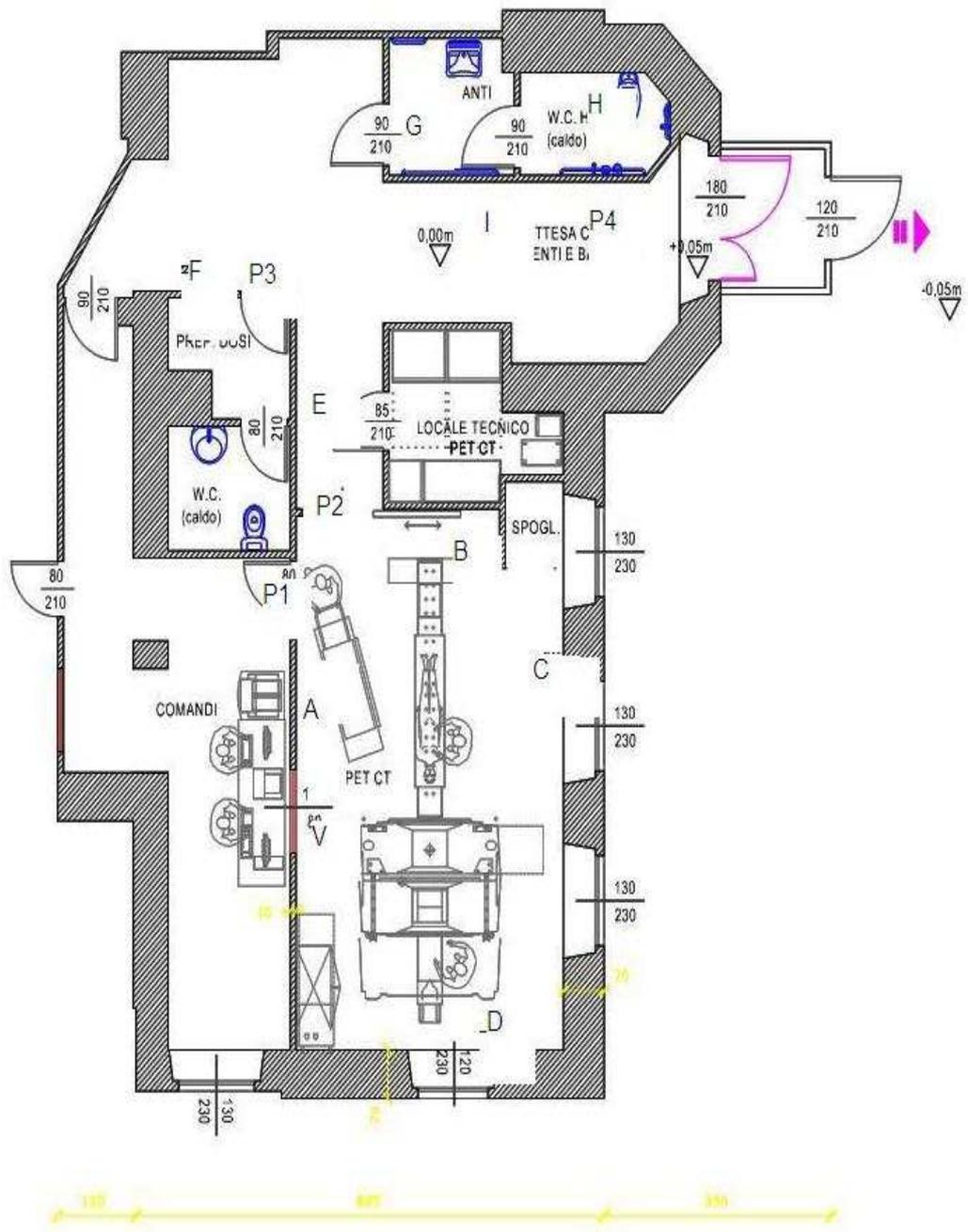
Le finestre sulla parete B (che si assume costituita da 40 cm di mattoni pieni) dovranno essere chiuse con analogo composizione della parete.

La parete C dovrà essere realizzata in mattoni pieni (12 cm di spessore) e ulteriormente rivestita con una pannellatura in Pb di 2 mm di spessore. La schermatura dovrà risalire fino al soffitto.

La visiva anti-X dovrà presentare una schermatura equivalente a 4 mm di Pb. Al fine di ottimizzare gli spazi disponibili si suggerisce la sostituzione del labirinto con una porta a filo della parete C (P2). In questo caso la porta dovrà essere schermata con 4 mm di Pb.

La parete D (che si assume costituita da 12 cm di mattoni pieni) dovrà essere ulteriormente rivestita con una pannellatura in Pb di 3 mm di spessore. La schermatura dovrà risalire fino al soffitto.

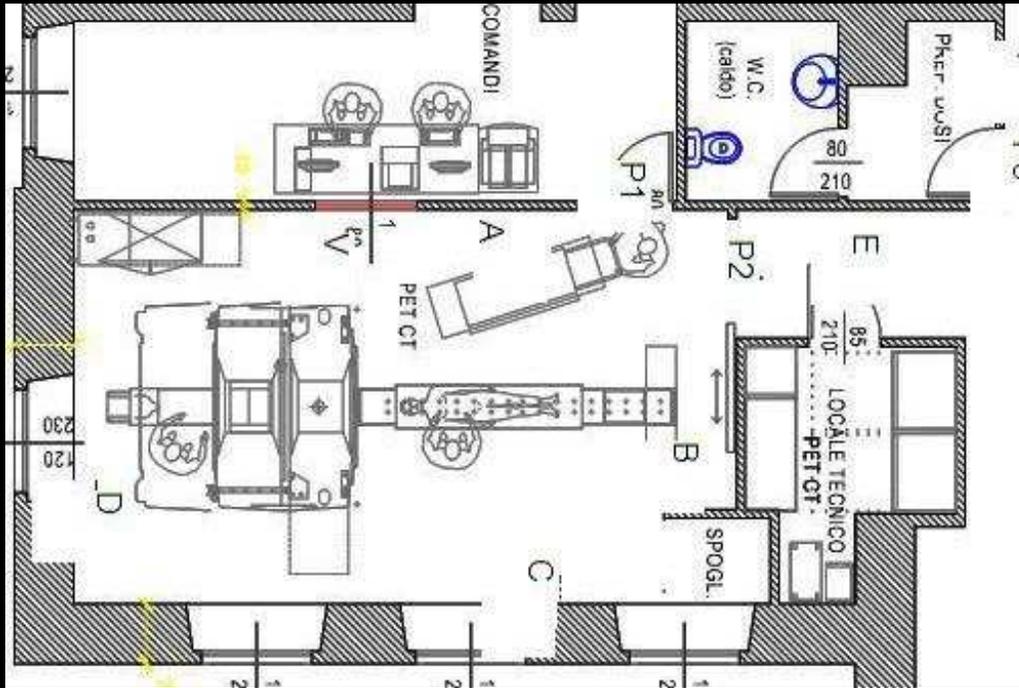
La schermatura del soffitto può essere evitata qualora si evidenzi una composizione della soletta equivalente a 23 cm di calcestruzzo. A titolo cautelativo si prescrive comunque la posa in opera di una schermatura a soffitto di 4 mm di Pb su un quadrato centrato sul gantry PET/TC e avente lato pari a 3m.



Calcolo delle barriere in sala di diagnostica

parete	distanza	rateo (uSv/sett) positroni	rateo (uSv/sett) TC	tot	class	occupazione	dmax	Ft	FTC	Fgamma	N HVL TC	spessore mm Pb TC	Spessore cm cls TC	N HVL gamma	Spessore cm cls gamma	Spessore mm pb gamma	Spessore cm mattoni gamma
A	2,7	64,48	5212,62	5277,10	sorvegliata	1	20	0	3,84E-03	3,10E-01	8,0	2,4	18,5	1,7	9,6	6,5	13,3
V	2,7	64,48	5212,62	5277,10	sorvegliata	1	20	0	3,84E-03	3,10E-01	8,0	2,4	18,5	1,7	9,6	6,5	13,3
P1	5,1	18,07	1460,98	1479,05	sorvegliata	1	20	0,01	1,37E-02	1,11E+00	6,2	1,9	14,2	-0,1	-0,8	-0,4	-1,2
P2	5,7	14,47	1169,59	1184,06	sorvegliata	1	20	0,02	1,71E-02	1,38E+00	5,9	1,8	13,5	-0,5	-2,7	-1,4	-3,7
B	8,2	6,99	565,14	572,13	sorvegliata	1	20	0,03	3,54E-02	2,86E+00	4,8	1,4	11,1	-1,5	-8,6	-4,4	-12,0
C	3,4	40,66	3287,20	3327,86	libera	0,25	20	0,01	6,08E-03	4,92E-01	7,4	2,2	16,9	1,0	5,8	3,0	8,1
D	3,3	43,17	3489,44	3532,61	libera	0,25	20	0,01	5,73E-03	4,63E-01	7,4	2,2	17,1	1,1	6,3	3,5	8,8
Soffitto	4,1	50,69	2260,56	2311,24	libera	1	5	0	2,21E-03	9,86E-02	8,8	2,6	20,3	3,3	19,0	15,1	26,4

Conclusioni



La parete A dovrà essere schermata con 12 cm di mattoni pieni + 2 mm di Pb oppure, in alternativa, con 20 cm di calcestruzzo.

La visiva anti-X V dovrà presentare una schermatura equivalente a 7 mm di Pb.

La porta P1 dovrà presentare una schermatura equivalente a 2 mm di Pb.

La porta P2 dovrà presentare una schermatura equivalente a 2 mm di Pb.

La parete B essere schermata con 12 cm di mattoni pieni + 2 mm di Pb oppure, in alternativa, con 12 cm di calcestruzzo fino allo spoglio. La porzione di parete B che delimita lo spogliatoio non necessita schermature.

La parete C (che si assume costituita da 70 cm di mattoni pieni) non necessita schermature.

Le finestre sulla parete C dovranno essere schermate con 3 mm di Pb.

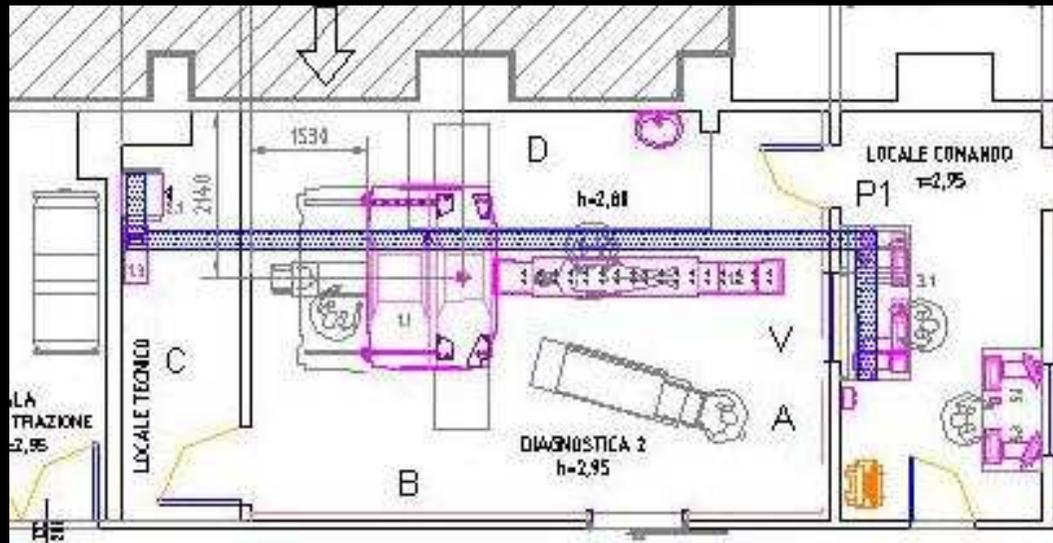
La parete D (che si assume costituita da 70 cm di mattoni pieni) non necessita schermature.

Le finestre sulla parete D dovranno essere schermate con 4 mm di Pb.

La schermatura del soffitto può essere evitata qualora si evidenzia una composizione della soletta equivalente a 19 cm di calcestruzzo. Considerando uno spessore del solaio di circa 30 cm a pignatte e quindi di circa 15 cm di calcestruzzo pieno, si prescrive una schermatura a soffitto di 3 mm di Pb.

Calcolo delle barriere in sala di diagnostica

parete	distanza	rateo (uSv/sett) positroni	rateo (uSv/sett) TC	tot	class	occupazione	dmax	Ft	FTC	Fgamma	N HVL TC	spessore mm Pb TC	Spessore cm cls TC	N HVL gamma	Spessore cm cls gamma	Spessore mm pb gamma	Spessore cm mattoni gamma
A	5,0	18,80	1520	1539	sorvegliata	1	20	0,01	1,32E-02	1,06E+00	6,2	1,9	14,4	-0,1	-0,5	-0,3	-0,7
V	5,0	18,80	1520	1539	sorvegliata	1	20	0,01	1,32E-02	1,06E+00	6,2	1,9	14,4	-0,1	-0,5	-0,3	-0,7
P1	5,0	18,80	1520	1539	sorvegliata	1	20	0,01	1,32E-02	1,06E+00	6,2	1,9	14,4	-0,1	-0,5	-0,3	-0,7
P2	3,3	43,17	3489	3533	libera	1/4	20	0,01	5,73E-03	4,63E-01	7,4	2,2	17,1	1,1	6,3	3,5	8,8
B	3,3	43,17	3489	3533	libera	1/4	20	0,01	5,73E-03	4,63E-01	7,4	2,2	17,1	1,1	6,3	3,5	8,8
C	4,5	23,21	1877	1900	sorvegliata	1	20	0,01	1,07E-02	8,62E-01	6,6	2,0	15,1	0,2	1,2	0,6	1,7
D	2,4	81,61	6597	6679	libera	1/4	20	0	3,03E-03	2,45E-01	8,4	2,5	19,2	2,0	11,6	8,2	16,0
Soffitto	3,2	83,21	3711	3794	libera	1/16	80	0,02	2,16E-02	9,61E-01	5,5	1,7	12,7	0,1	0,3	0,2	0,4
Pavimento	3,2	83,21	3711	3794	libera	1/16	80	0,02	2,16E-02	9,61E-01	5,5	1,7	12,7	0,1	0,3	0,2	0,4



Conclusioni

La parete A (che si assume costituita da 8-12 cm di mattoni forati) dovrà essere schermata con almeno 2 mm di Pb.

La visiva anti-X V (parete A) dovrà presentare una schermatura equivalente ad almeno 2 mm di Pb.

La porta P1 (parete A) dovrà presentare una schermatura equivalente ad almeno 2 mm di Pb.

La porta P2 (parete B) dovrà presentare una schermatura equivalente ad almeno 3.5 mm di Pb.

La parete B (che si assume costituita da 8-12 cm di mattoni forati) dovrà essere schermata con una contro-parete da 12.0 cm di mattoni pieni + 1.5 cm d'intonaco con l'aggiunta di con 1 mm di Pb.

La parete C (che si assume, secondo il progetto, costituita da 25 cm di mattoni pieni + 1.5 cm d'intonaco) non necessita di ulteriori schermature.

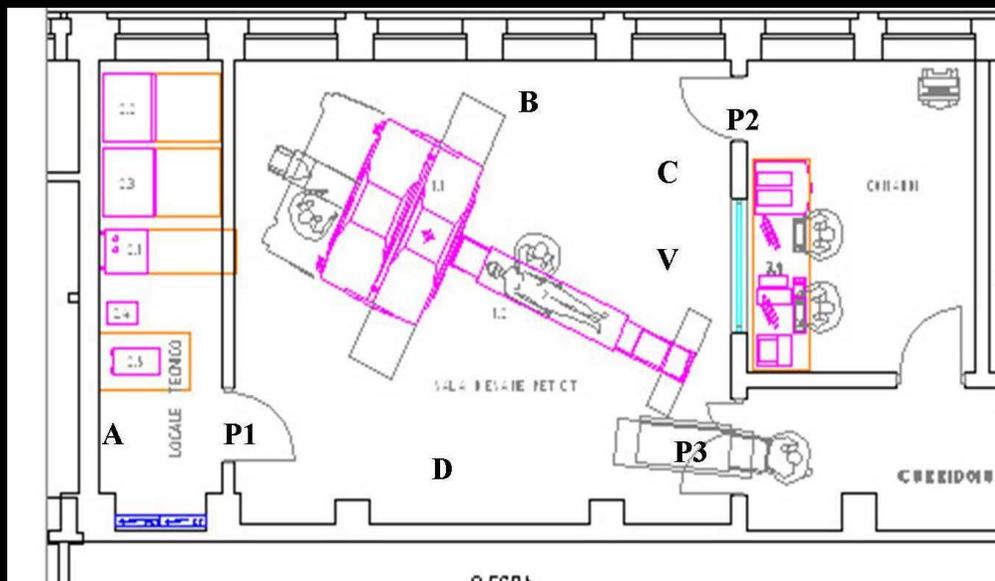
La parete D (che si assume costituita da 12 cm di mattoni forati) dovrà essere schermata con una contro-parete di 25 cm di mattoni pieni + 1.5 cm di intonaco.

La schermatura del soffitto può essere evitata qualora si evidenzi una composizione della soletta equivalente a 13 cm di calcestruzzo. Considerando uno spessore del solaio di circa 30 cm a pignatte e quindi di circa 15 cm di calcestruzzo pieno, non si prescrive nessuna schermatura.

La schermatura del pavimento può essere evitata qualora si evidenzi una composizione della soletta equivalente a 13 cm di calcestruzzo. Considerando uno spessore del solaio di circa 30 cm a pignatte e quindi di circa 15 cm di calcestruzzo pieno, non si prescrive nessuna schermatura.

Calcolo delle barriere in sala di diagnostica

parete	distanza	rateo (uSv/sett) positroni	rateo (uSv/sett) TC	tot	class	occupazione	dmax	Ft	FTC	Fgamma	N HVL TC	spessore mm Pb TC	Spessore cm cls TC	N HVL gamma	Spessore cm cls gamma	Spessore mm pb gamma	Spessore cm mattoni gamma
A	5,3	16,73	1353	1370	libera	1	5	0	3,70E-03	2,99E-01	8,1	2,4	18,6	1,7	9,9	6,8	13,8
B	3,2	45,91	3711	3757	libera	0,06	80	0,02	2,16E-02	1,74E+00	5,5	1,7	12,7	-0,8	-4,6	-2,3	-6,3
P2	5,0	18,80	1520	1539	sorvegliata	1	10	0,01	6,58E-03	5,32E-01	7,2	2,2	16,7	0,9	5,2	2,6	7,2
C	4,9	19,58	1583	1602	sorvegliata	1	10	0,01	6,32E-03	5,11E-01	7,3	2,2	16,8	1,0	5,5	2,8	7,7
V	4,7	21,28	1720	1742	sorvegliata	1	10	0,01	5,81E-03	4,70E-01	7,4	2,2	17,1	1,1	6,2	3,4	8,6
P3	5,4	16,12	1303	1319	sorvegliata	1	10	0,01	7,67E-03	6,20E-01	7,0	2,1	16,2	0,7	3,9	2,0	5,4
D	4,3	25,42	2055	2081	libera	0,5	10	0	4,87E-03	3,93E-01	7,7	2,3	17,7	1,3	7,7	4,7	10,6
Pavimento	3,5	69,55	3102	3172	libera	0,06	80	0,03	2,58E-02	1,15E+00	5,3	1,6	12,1	-0,2	-1,2	-0,6	-1,6



Conclusioni

La parete A (che si assume costituita da 30 cm di mattoni pieni) non necessita di schermature.

La porta P1 non necessita schermature.

Le finestre sulla parete B (che si assume costituita da 40 cm di mattoni pieni) dovranno essere schermate con 2 mm di Pb (o 22 cm di mattone pieno)

La porta P2 dovrà presentare una schermatura equivalente a 3 mm di Pb

La parete C dovrà essere realizzata in mattoni pieni (12 cm di spessore) e ulteriormente rivestita con una pannellatura in Pb di 2 mm di spessore. La schermatura dovrà risalire fino al soffitto.

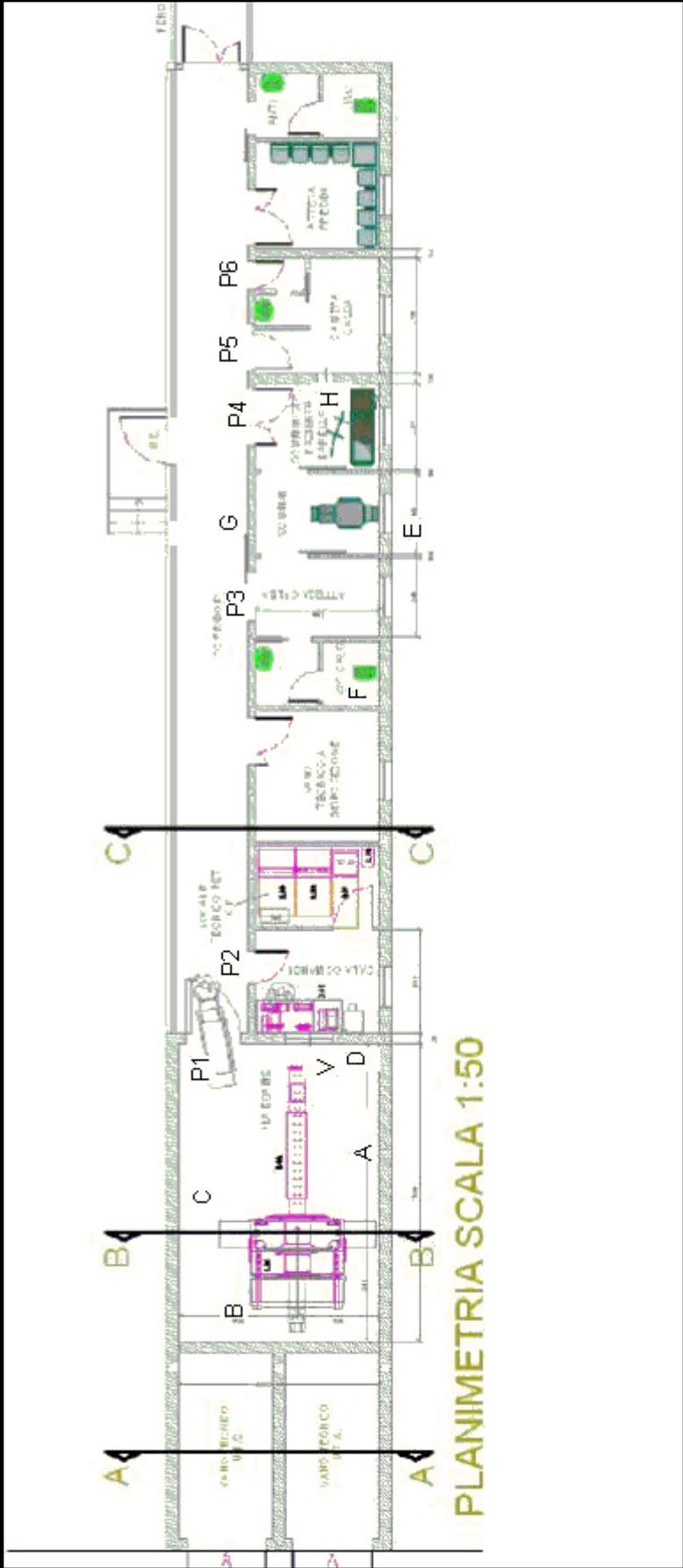
La visiva anti-X dovrà presentare una schermatura equivalente a 4 mm di Pb.

La parete P3 dovrà presentare una schermatura equivalente a 3 mm di Pb.

La parete D (che si assume costituita da 20 cm di mattoni pieni) dovrà essere ulteriormente rivestita con una pannellatura in Pb di 2 mm di spessore. La schermatura dovrà risalire fino al soffitto.

Il pavimento non ha bisogno di schermature.

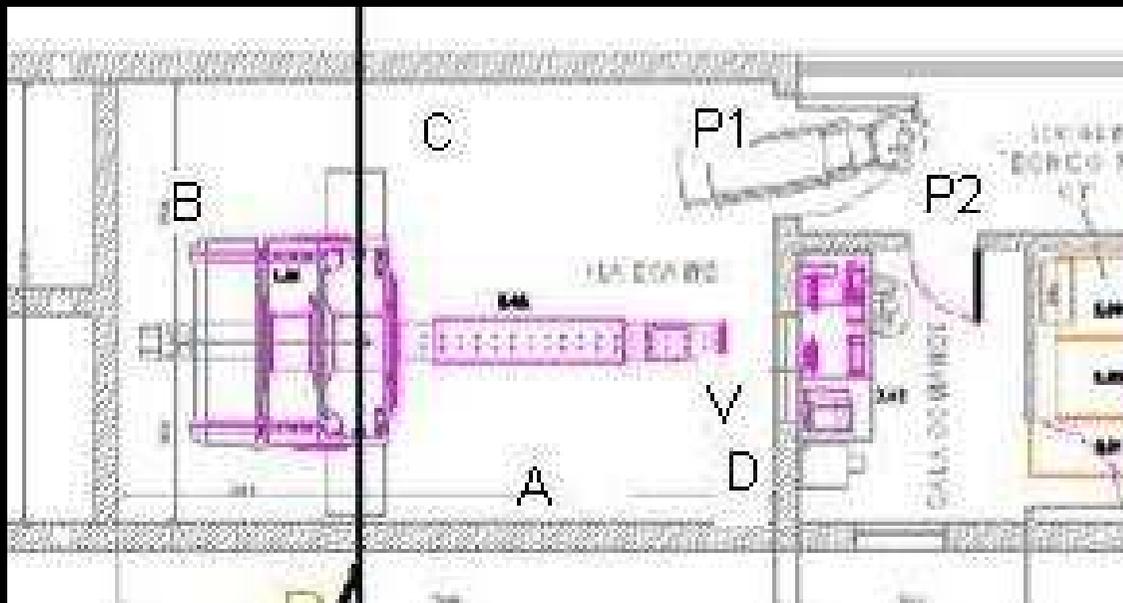
La schermatura del soffitto può essere evitata qualora si evidenzi una composizione della soletta equivalente a 21 cm di calcestruzzo. A titolo cautelativo si prescrive comunque la posa in opera di una schermatura a soffitto di 4 mm di Pb.



PLANIMETRIA SCALA 1:50

Calcolo delle barriere in sala di diagnostica

parete	distanza	rateo (uSv/sett) positroni	rateo (uSv/sett) TC	tot	class	occupazione	dmax	Ft	FTC	Fgamma	NHVL TC	spessore mm Pb TC	Spessore cm cls TC	NHVL gamma	Spessore cm cls gamma	Spessore mm pb gamma	Spessore cm mattoni gamma
A	2.6	72.3	5844	5916	libera	0.06	80	0.014	1.37E-02	1.11E+00	6.2	1.9	14.2	-0.1	-0.8	-0.4	-1.2
B	3.3	43.2	3489	3533	libera	0.06	80	0.023	2.29E-02	1.85E+00	5.4	1.6	12.5	-0.9	-5.1	-2.6	-7.0
C	3.5	38.4	3102	3140	libera	0.06	80	0.025	2.58E-02	2.08E+00	5.3	1.6	12.1	-1.1	-6.0	-3.1	-8.4
V	5.0	18.8	1520	1539	sorvegliata	1	10	0.006	6.58E-03	5.32E-01	7.2	2.2	16.7	0.9	5.2	2.6	7.2
P1	5.0	18.8	1520	1539	sorvegliata	1	10	0.006	6.58E-03	5.32E-01	7.2	2.2	16.7	0.9	5.2	2.6	7.2
D	5.0	18.8	1520	1539	sorvegliata	1	10	0.006	6.58E-03	5.32E-01	7.2	2.2	16.7	0.9	5.2	2.6	7.2



Conclusioni

La parete A dovrà essere realizzata con uno spessore minimo di 15 cm di calcestruzzo.

La parete B dovrà essere realizzata con uno spessore minimo di 13 cm di calcestruzzo.

La parete C dovrà essere realizzata con uno spessore minimo di 13 cm di calcestruzzo

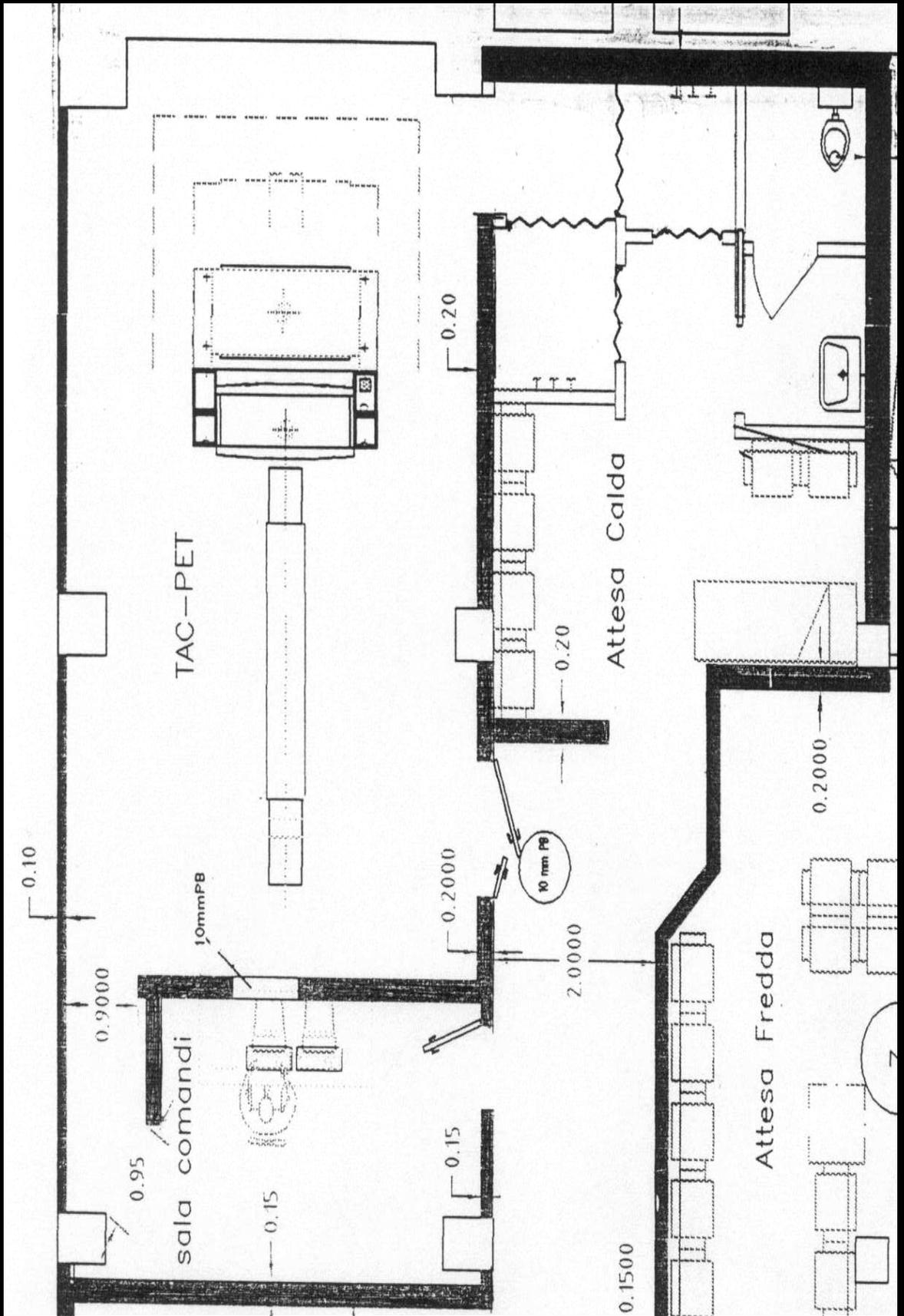
La parete D dovrà essere realizzata con uno spessore minimo di 17 cm di calcestruzzo

La porta P1 dovrà presentare una schermatura di 3 mm di Pb. La porzione di muratura soprastante la porta dovrà essere realizzata in calcestruzzo con spessore minimo di 17 cm o, in alternativa, rivestita con un pannello di spessore pari a 3 mm di Pb e risalente fino al soffitto.

La visiva anti-X dovrà presentare una schermatura equivalente a 3 mm di Pb.

La porta P2 di accesso alla sala comandi dovrà essere schermata con 2 mm di Pb per schermare la radiazione derivante dal transito di pazienti iniettati da e verso la sala esame.

Il pavimento e il soffitto non hanno bisogno di schermature.



Visiva Anti X

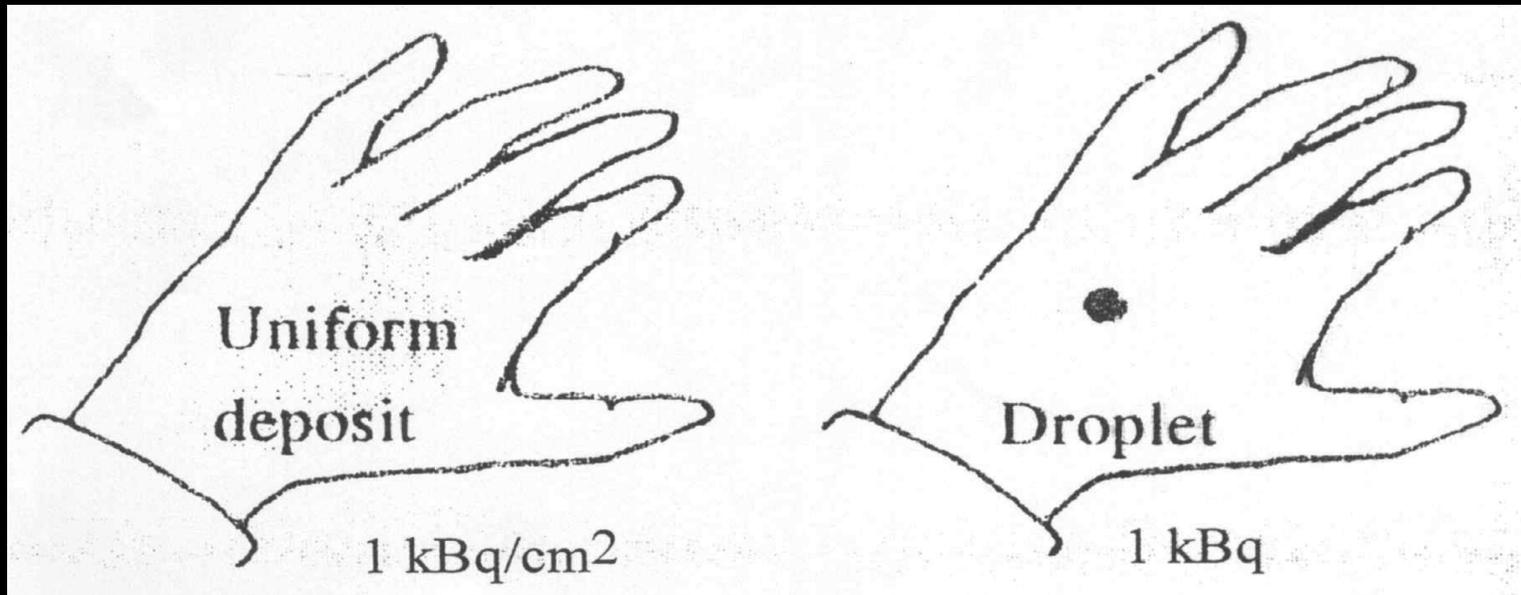
Sito	dmis	P (mSv/anno)	S _{PET} (mm Pb)	S _{TC} (mm Pb)	S _{tot} (mm Pb)
Pietra L.	4.7	0.5	3.1	2.2	4.0
Padova	2.7	1	6.5	2.4	7.0
Mantova	5.0	1	0	1.9	2.0
Bolzano	4.7	0.5	3.4	2.2	4.0
Ferrara	5.0	0.5	2.6	2.2	3.0

Rischio di esposizione esterna (beta + gamma)



^{18}F	158 $\mu\text{Sv/h/GBq}$		563 mSv/h/GBq		2880 mSv/h/GBq	
^{11}C	163	“	581	“	6410	“
^{13}N	163	“	581	“	12900	“
^{15}O	167	“	593	“	30500	“
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	22	“	77	“	350	“
^{131}I	64	“	220	“	1100	“

Rischio di esposizione da contaminazione esterna



¹⁸F	1,95	mSv/h	0,79	mSv/h
¹¹C	1,95	“	1,12	“
¹³N	1,90	“	1,20	“
¹⁵O	2,00	“	1,40	“
^{99m}Tc	0,25	“	0,0088	“
¹³¹I	1,6	“	0,57	“

**MODALITA'
OPERATIVE**

PREPARAZIONE DEL RADIOFARMACO

- **La preparazione del radiofarmaco avviene in cella calda opportunamente schermata (5-7 cm Pb).**
- **La dose agli operatori dipende moltissimo dalla procedura adottata per l'eventuale sintesi del radiofarmaco e il suo frazionamento e calibrazione.**
 - **La sintesi del radiofarmaco è normalmente effettuata in modo automatico.**
 - **E' consigliabile l'impiego di sistemi automatici anche per il frazionamento e calibrazione dell'attività.**

PREPARAZIONE DEL RADIOFARMACO

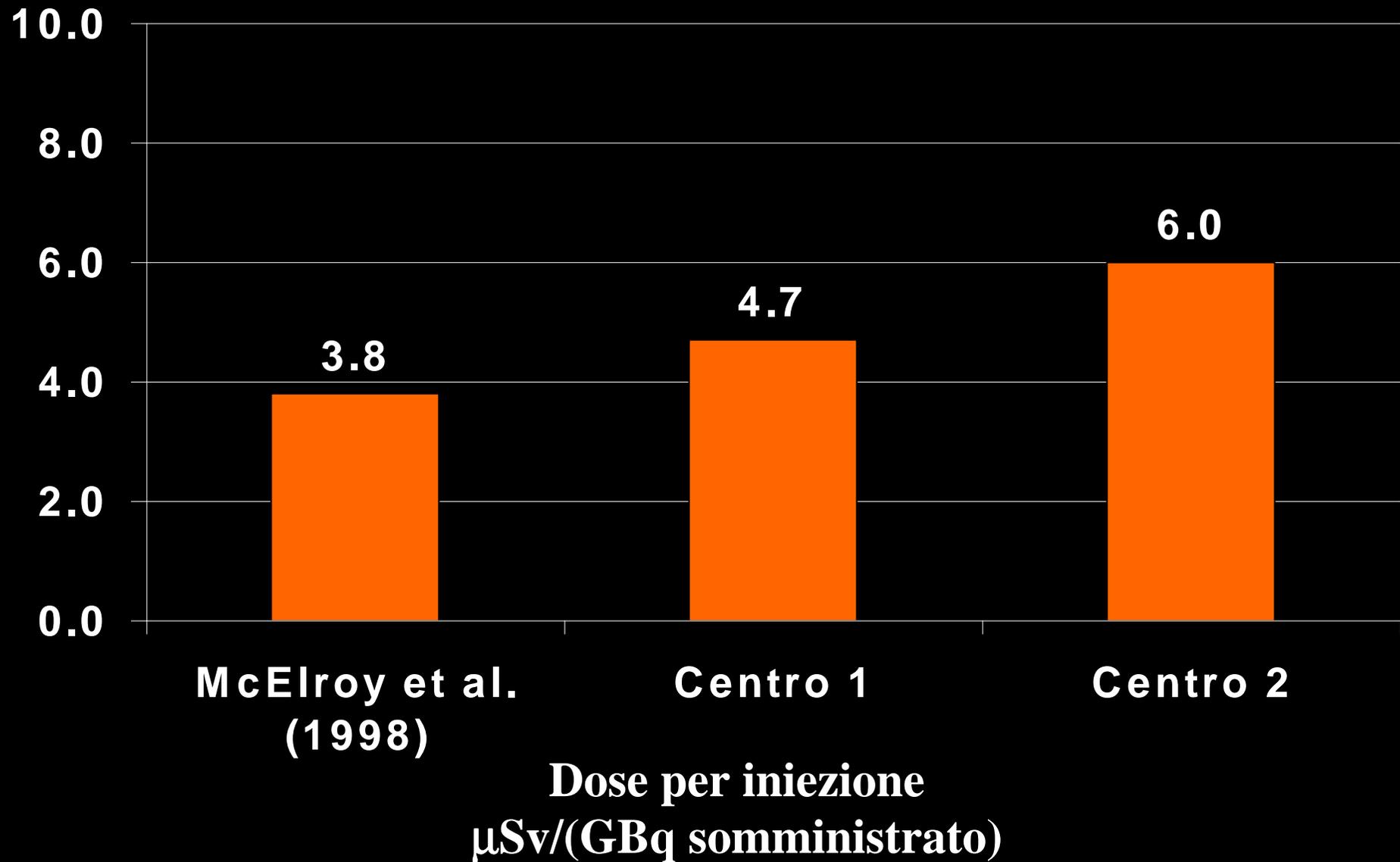
- **Devono essere utilizzati schermi per siringhe (soprattutto per schermare la radiazione beta)**
- **In caso di esposizione al radioisotopo non schermato (per es. manutenzione cella calda con portello aperto) deve essere indossato un grembiule anti-X (*per schermare la radiazione beta*)**

INIEZIONE DEL RADIOFARMACO

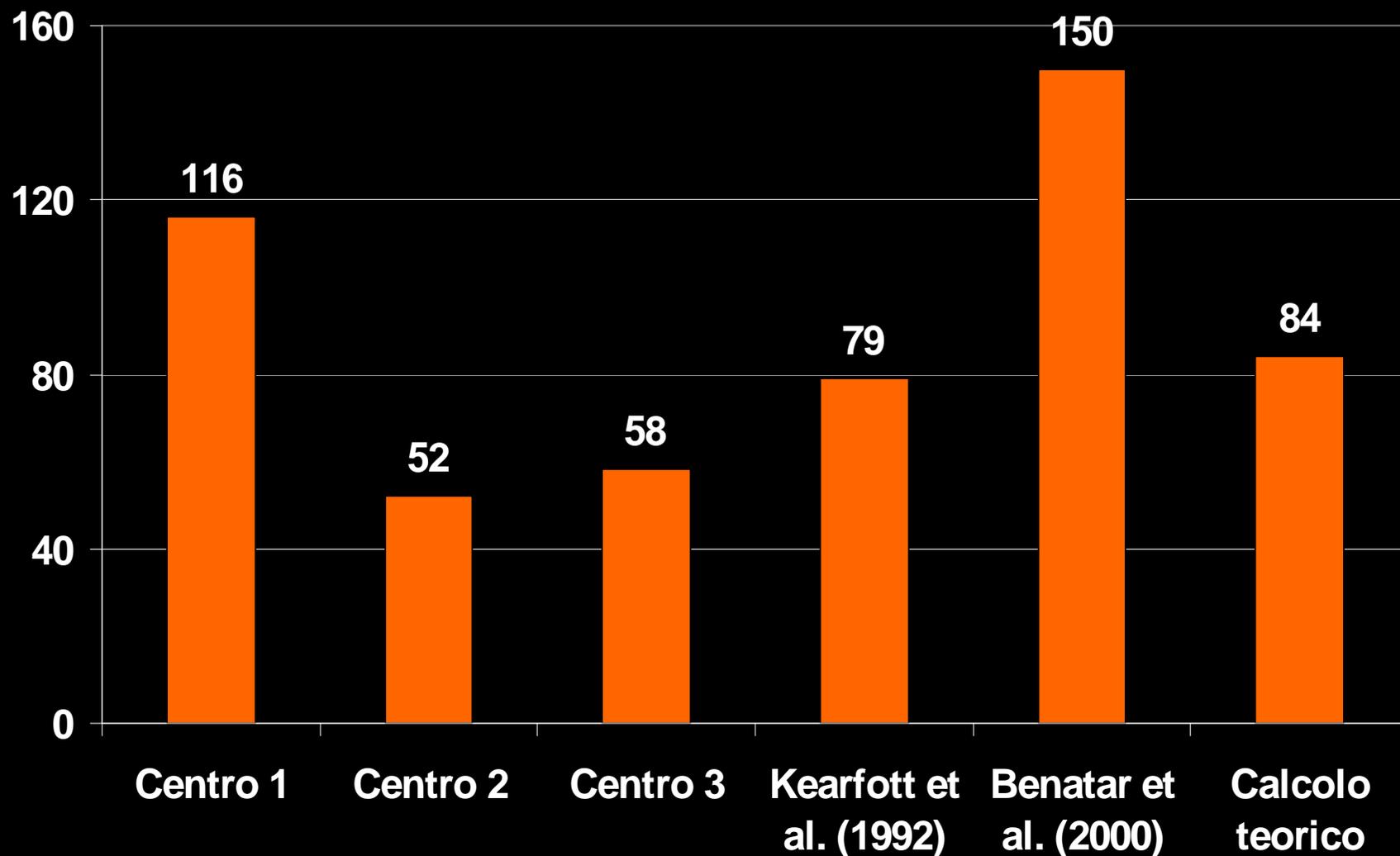
L'iniezione del radiofarmaco comporta un'esposizione degli operatori dovuta sia al radiofarmaco presente in siringa sia alla radiazione emessa dal paziente.

- **Devono essere impiegati contenitori schermati (qualche cm di Pb) in cui inserire le siringhe in attesa della somministrazione.**
- **Devono essere utilizzati per l'iniezione i normali schermi per siringhe in piombo o tungsteno dello spessore di qualche mm (*soprattutto per schermare la radiazione beta*).**

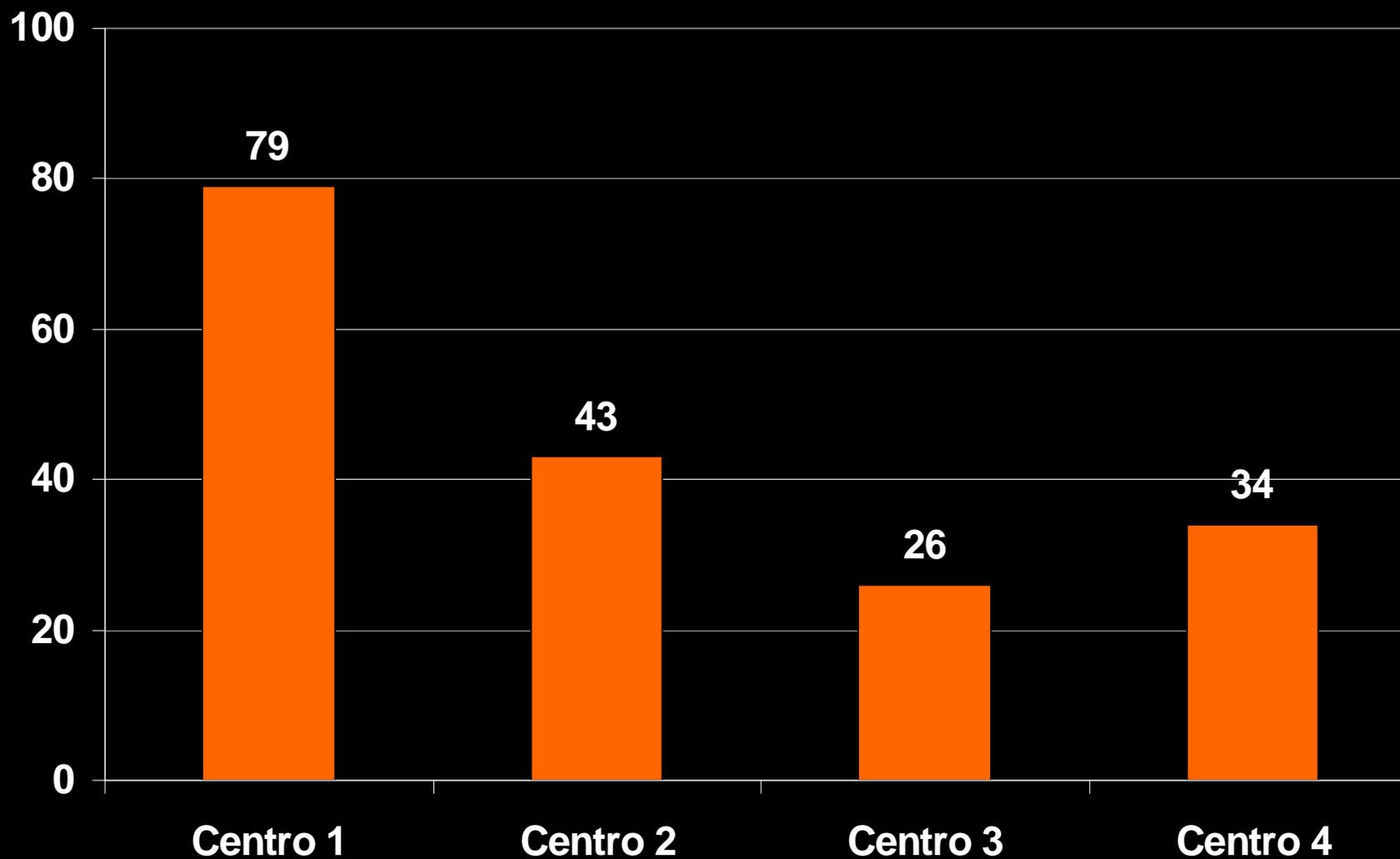
INIEZIONE DEL RADIOFARMACO



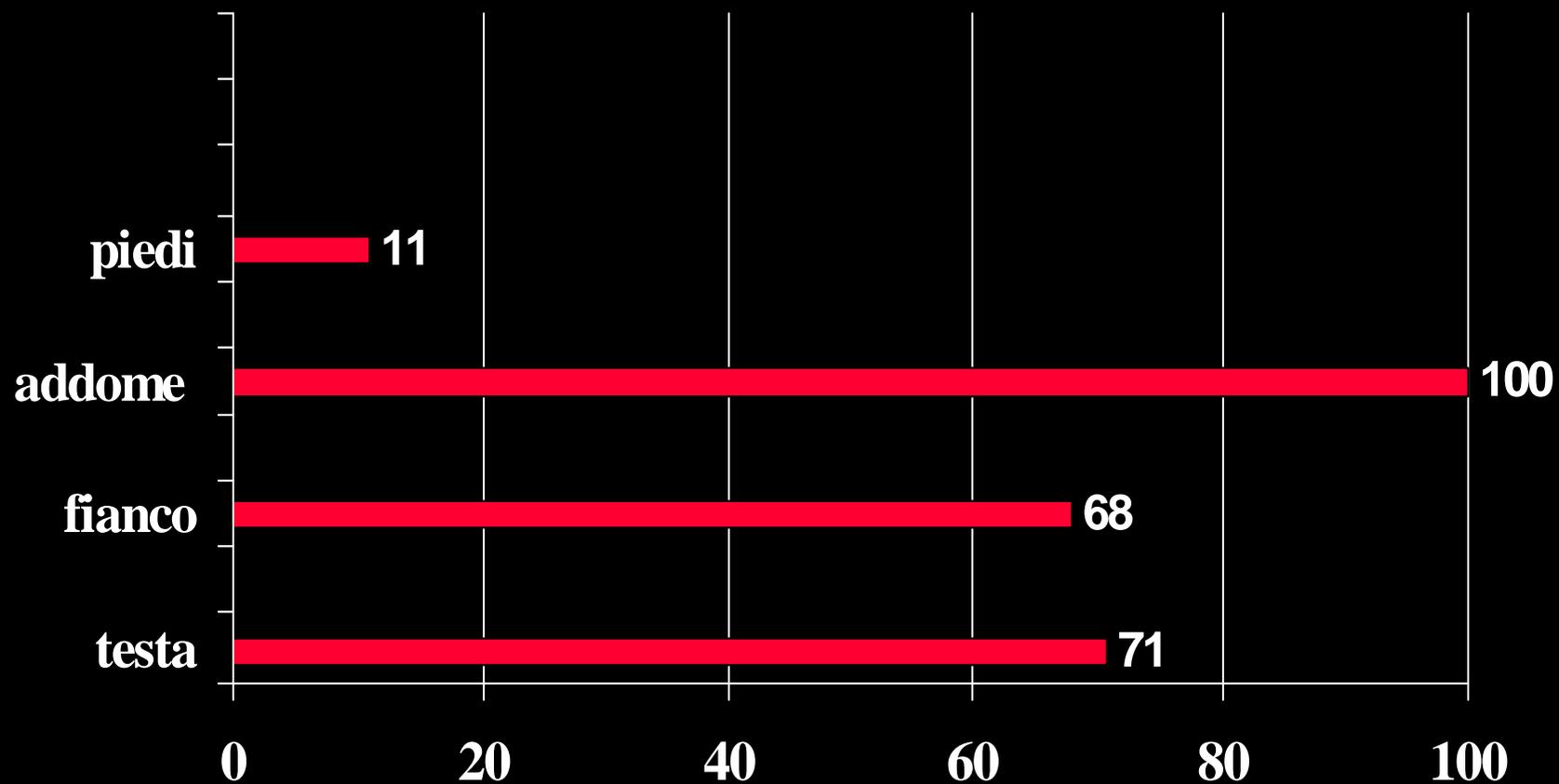
Rateo di dose a 1 m dal paziente al momento della somministrazione ($\mu\text{Sv/h}$)/(GBq somministrato)



Rateo di dose a 1 m dal paziente al momento dell'esecuzione dell'esame ($\mu\text{Sv/h}$)/(GBq somministrato)

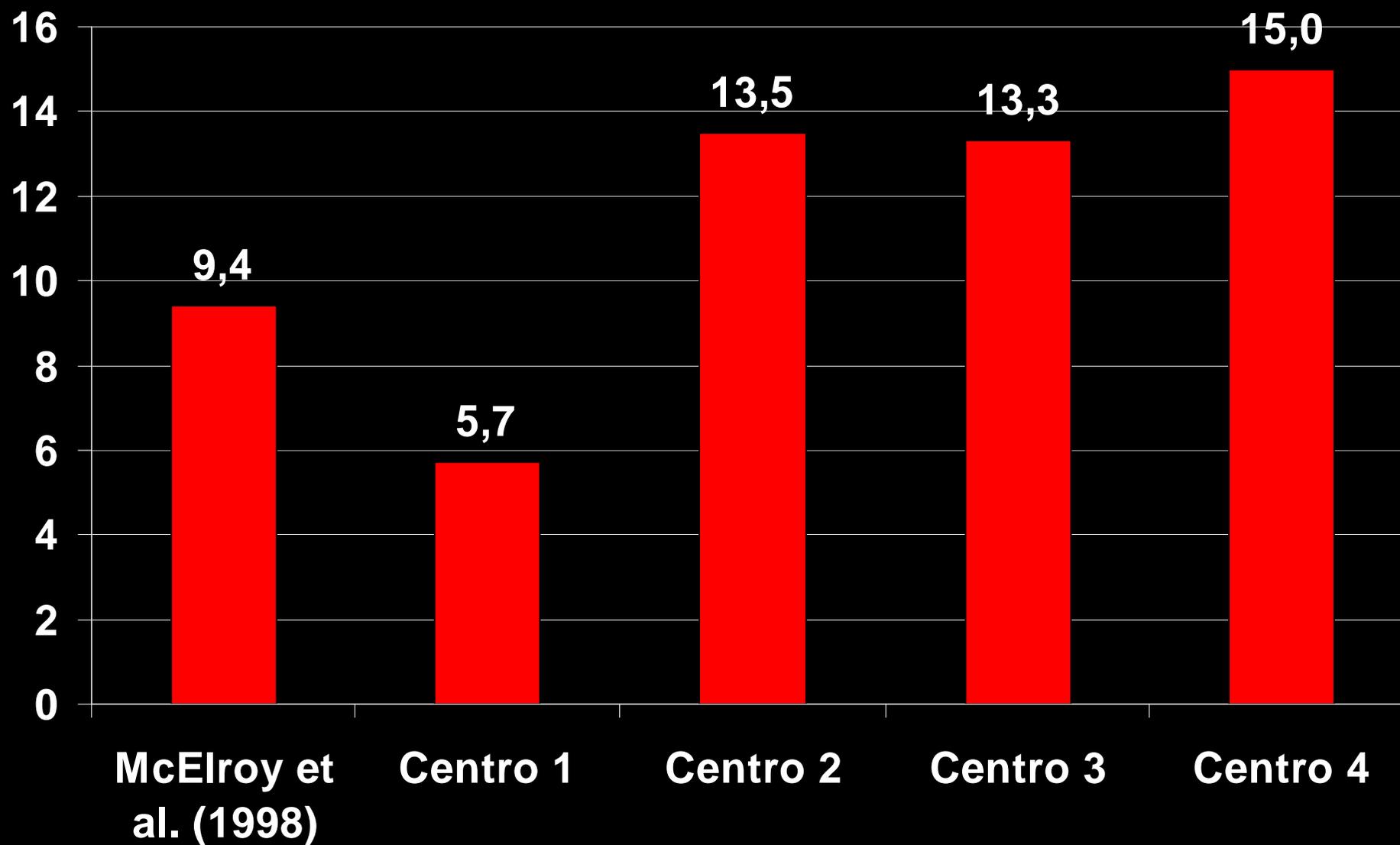


Distribuzione del rateo di dose (%) intorno al paziente (a 1 m) *(ad un'ora dalla somministrazione)*



Dose per esecuzione esame (TSRM)

$\mu\text{Sv}/(\text{GBq somministrato})$



VALUTAZIONE DELLE DOSI INDIVIDUALI DA CONTAMINAZIONE

irradiazione interna

da inalazione

(volume = 50 m³ - ricambi d'aria = 5 h⁻¹ - f = 10⁻⁵ h⁻¹ 40 kBq):

< 4 μSv (¹⁸F)

da ingestione

(frazione ingerita = 10⁻⁵ → ≈ 10 kBq):

< 0,5 μSv (¹⁸F)

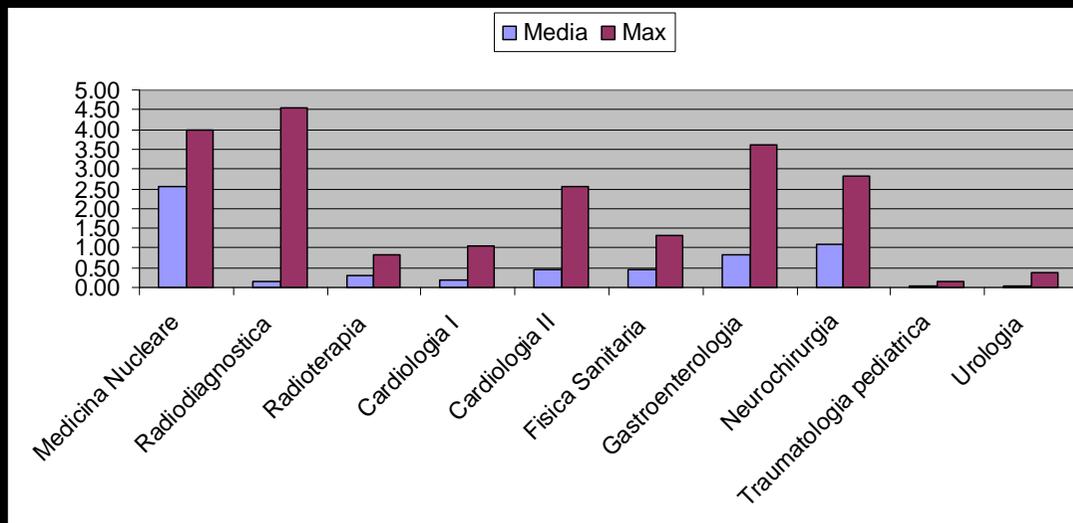
irradiazione da contaminazione della cute (3 kBq/cm²)

sup. dorsale: ≈ 8 mSv/h

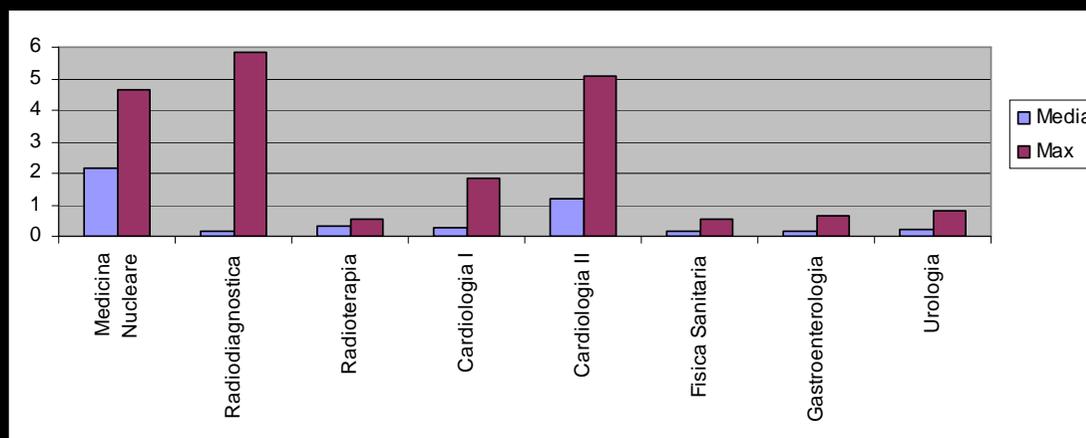
sup. palmare: ≈ 2 mSv/h

Dosi efficaci medie e massime suddivise per reparti con personale di categoria A e B

2006

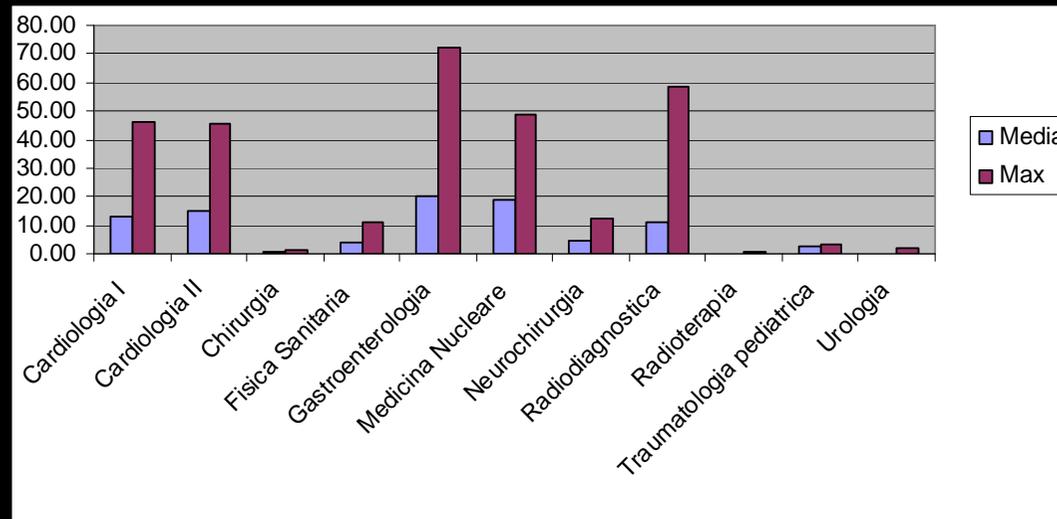


2004

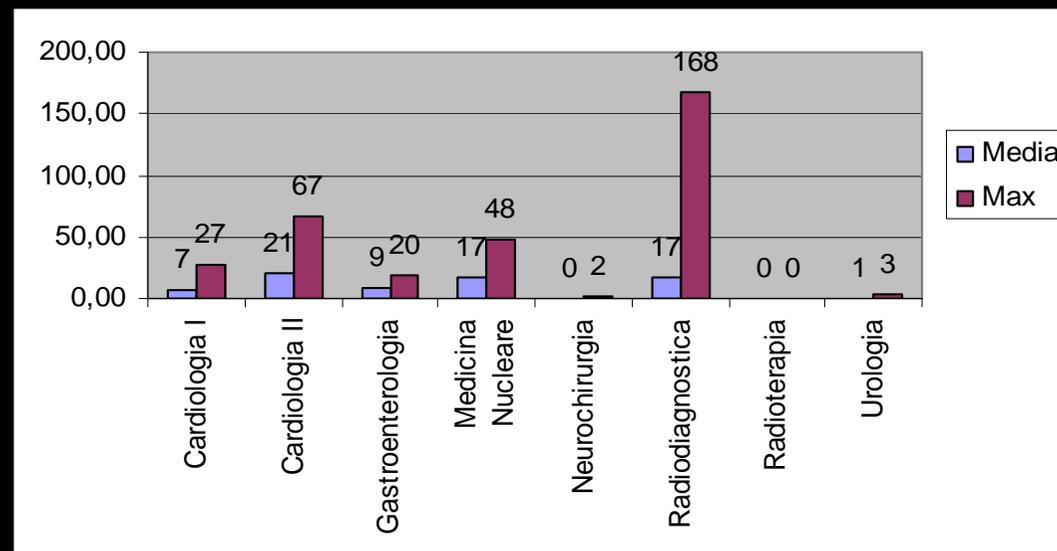


Dosi equivalenti medie e massime (mSv) suddivise per reparti con dosimetria alle estremità

2006



2004



Protezione dei lavoratori: conclusioni

⇒ Il rischio di irradiazione esterna è dovuto sostanzialmente all'irradiazione da parte dei pazienti;

esso richiede:

- adeguata progettazione degli spazi utilizzati e delle schermature,
- corrette procedure operative di gestione del paziente.

⇒ Il rispetto delle buone norme di radioprotezione e un'equa distribuzione del carico di lavoro su due o più TSRM garantiscono livelli di dose individuale entro 3/10 del limite di dose (6 mSv/anno).

Protezione dei lavoratori: conclusioni

⇒ Il rischio di irradiazione interna è estremamente contenuto

⇒ Attenzione deve essere prestata all'esposizione delle mani e a eventuali contaminazioni personali, soprattutto per quanto riguarda l'irradiazione della cute.