

LA SICUREZZA IN MEDICINA NUCLEARE

Stefano De Crescenzo



Finalità



**Identificare fisicamente
le fonti di rischio e i parametri
che le influenzano nell'impiego di
sorgenti radioattive non sigillate**



**Quantificare le
fonti di rischio in base
all'attività svolta**



**Prevenire e ridurre
il rischio radiologico**



Fonti di rischio nell'impiego di sorgenti radioattive non sigillate

L'impiego di sostanze radioattive non sigillate in ambito sanitario può essere ricondotto alla seguente suddivisione generale

Impiego in vivo



Diagnostico

Terapeutico



Fonti di rischio nell'impiego di sorgenti radioattive non sigillate

- Rischio di esposizione esterna
 - Rischio di contaminazione degli ambienti di lavoro e personale (esposizione interna)
- ⇒ L'entità del rischio dipende dal tipo e dalla forma fisica del radioisotopo utilizzato



Rischio nell'impiego di sorgenti radioattive non sigillate

- » è ridotto dalla **distanza** alla quale si opera, dai **mezzi di protezione** utilizzati (banchi di lavoro protetti, contenitori e siringhe schermati, telemanipolatori), dalla funzionalità delle strutture, dalla **perizia e professionalità** dell'operatore
- » è direttamente legato alla **quantità** di radioattività manipolata, al **tempo** di manipolazione e di stazionamento nei locali in cui sono presenti sorgenti radioattive o pazienti portatori di radioattività, alla **cattiva pulizia** degli ambienti, delle superfici e del personale



Principali radiofarmaci impiegati in medicina nucleare diagnostica

	E_{γ} principali (keV)	$E_{\beta\text{max}}$ principali (keV)	$T_{1/2}$	Attività somministrate
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	141	-	6 h	80 – 1100 MBq
^{123}I	159	-	13,2 h	20 – 185 MBq
^{67}Ga	93 – 185 - 300	-	3,26 g	110 – 370 MBq
^{111}In	171 - 245	-	2,80 g	20 -185 MBq
^{201}Tl	71 - 135 - 167	-	3,04 g	110 – 150 MBq
^{131}I	364	365	8,04 g	1 – 185 MBq
^{18}F	511	634	1,83 h	250 - 555 MBq
^{11}C	511	960	20,4 min	\approx 400 MBq



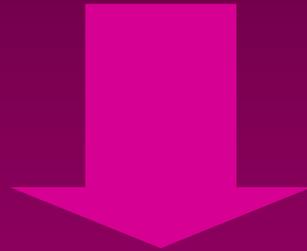
Principali radiofarmaci impiegati in radioterapia metabolica

	$E_{\beta \text{ max}}$ (keV)	E_{γ} (keV)	$T_{1/2}$	Applicazione	Attività somministrate
^{89}Sr	1492	< 1%	50,7 g	metastasi ossee	148 MBq
^{186}Re	939 – 1077	137 (10%)	3,78 g	metastasi ossee	1300 MBq
^{153}Sm	634 – 703 - 807	103 (28%)	1,95 g	metastasi ossee	3000 MBq
^{90}Y	2284	-	2,7 g	radioimmunoterapia terapia con molecole catturate elettivamente	5000 MBq
^{131}I	248 – 334 - 606	365 (82%)	8,04 g	terapia ablativa	3000 MBq
				metastasi	5550 MBq
				ipertiroidismo	185 MBq

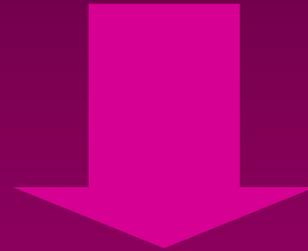


Fonti di rischio in attività di medicina nucleare

Irradiazione esterna



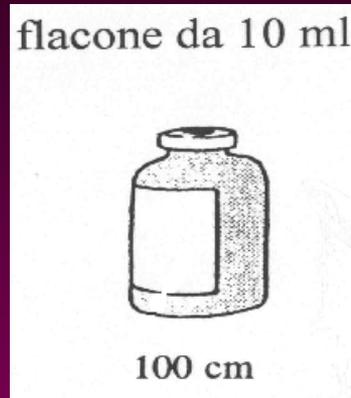
**Preparazione e
somministrazione
radiofarmaci**



**Irradiazione
dal paziente**



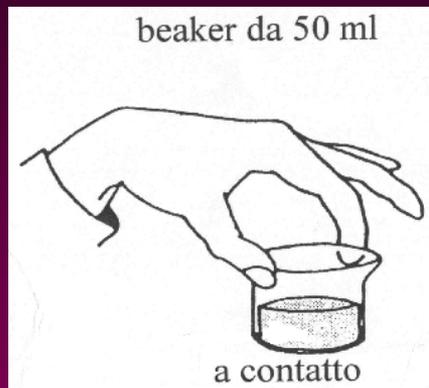
Rischio di irradiazione esterna: preparazione e somministrazione



	$\mu\text{Sv/h/GBq}$		$\mu\text{Sv/h/GBq}$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	22	^{131}I	64
^{123}I	35	^{153}Sm	15
^{67}Ga	25	^{186}Re	4
^{111}In	72	^{89}Sr	0.2
^{18}F	158	^{90}Y	72



Rischio di irradiazione esterna (estremità): preparazione e somministrazione



	mSv/h/GBq		mSv/h/GBq
^{99m}Tc	77	^{131}I	223
^{123}I	113	^{153}Sm	48
^{67}Ga	88	^{186}Re	14
^{111}In	243	^{89}Sr	0.08
^{18}F	563	^{90}Y	139



	mSv/h/GBq		mSv/h/GBq
^{99m}Tc	354	^{131}I	1130
^{123}I	605	^{153}Sm	241
^{67}Ga	402	^{186}Re	380
^{111}In	1222	^{89}Sr	16500
^{18}F	2880	^{90}Y	43500

Rischio di irradiazione esterna: irradiazione da parte dei pazienti

Esame	Radiofarmaco	Attività (MBq)	Rateo di dose ($\mu\text{Sv h}^{-1}$)					
			Subito dopo la somministrazione			Due ore dopo la somministrazione		
			a contatto	0.3 m	1 m	a contatto	0.3 m	1 m
Scintigrafia ossea	$^{99\text{m}}\text{Tc MDP}$	740	20	10	3	10	5	1,5
Scintigrafia epatica	$^{99\text{m}}\text{Tc Colloide}$	200	5,5	2,5	0,8	4	2	0,6
Angiocardi- scintigrafia all'equilibrio	$^{99\text{m}}\text{Tc RBC}$	925	25	12	4	20	10	3
Scintigrafia miocardica	$^{201}\text{Tl-cloruro}$	110	4	2	0,7	4	2	0,7



Rischio di irradiazione esterna: irradiazione da parte dei pazienti (PET)

Radiofarmaco: ^{18}F FDG

Attività (MBq)	Rateo di dose a 1 m ($\mu\text{Sv h}^{-1}$)	
	Subito dopo la somministrazione	Al momento della esecuzione dell'esame
250-555	15 - 70	10 - 40



IRRADIAZIONE DA PAZIENTI SOTTOPOSTI A TRATTAMENTO TERAPEUTICO CON ^{131}I

	Attività somministrata (GBq)	Rateo di dose a 1 m dal paziente ($\mu\text{Sv/h}$)	$T_{1/2}$ (giorni)
Terapia ablativa	3	100 - 150	$\approx 0,5^*$
Terapia delle metastasi	5.55	175 - 300	$\approx 0,75$
Ipertiroidismo	0.185	10 - 15	≈ 5

(*) + seconda componente con $T_{1/2} \approx 4,3$ giorni



IRRADIAZIONE DA PAZIENTI SOTTOPOSTI A TRATTAMENTO TERAPEUTICO CON RADIOFARMACI EMETTITORI DI RADIAZIONE BETA

- ⇒ Nel caso di radiofarmaci emettitori di radiazione beta, il rischio di esposizione dovuta alle radiazioni emesse dai pazienti è molto ridotto
- ⇒ Alcuni radiofarmaci beta emettitori (^{186}Re e ^{153}Sm) emettono anche radiazione gamma o X. L'esposizione da tale componente è comunque ridotta.



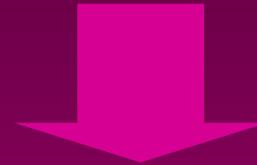
Tempo trascorso alla distanza di un metro da pazienti portatori di attività comportante l'assorbimento di una dose efficace per irradiazione esterna pari a 2 mSv

Procedura	Tempo (h)
Scintigrafia ossea (^{99m}Tc -MDP)	≈ 1000
Angiocardioscintigrafia all'equilibrio (^{99m}Tc -RBC)	≈ 500
Scintigrafia miocardica (^{201}Tl -cloruro)	≈ 3000
Esame PET (^{18}F) dopo somministrazione	≈ 80
Esame PET (^{18}F) al momento dell'esame	≈ 100
Terapia con ^{131}I dopo somministrazione	≈ 10



Fonti di rischio in attività di medicina nucleare

Irradiazione interna



Inalazione

Ingestione

Irradiazione Cutanea



RISCHIO DA ESPOSIZIONE INTERNA

COME PUÒ AVVENIRE UNA CONTAMINAZIONE INTERNA?

Attraverso l'ingestione e l'inalazione di radionuclidi presenti sulle superfici di lavoro contaminate o sospesi nell'aria a causa di un'evaporazione durante la manipolazione o dalle superfici contaminate.



VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA ESPOSIZIONE INTERNA

Incorporazione per inalazione

- I radiofarmaci normalmente impiegati in ambito sanitario sono prevalentemente in forma non volatile.
- La risospensione contribuisce in maniera significativa alla eventuale radiocontaminazione volumetrica solo in caso di versamento di rilevanti quantità di materiale radioattivo.



VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA ESPOSIZIONE INTERNA

Incorporazione per inalazione

- In generale i dati in letteratura riportano valori della frazione di attività inalata, rispetto all'attività impiegata, molto piccoli. Al fine della stima del rischio si valuta, normalmente, che venga inalata una quantità di radioattività pari ad un milionesimo dell'attività impiegata.



VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA ESPOSIZIONE INTERNA

Incorporazione per ingestione

- L'incorporazione per ingestione di sostanze radioattive da parte del personale operatore è dovuta all'eventuale contaminazione radioattiva delle mani, pelle e vestiti.
- La più importante via di incorporazione è quella mani-bocca durante la preparazione del radiofarmaco.
- Le frazioni di attività ingerite, qualora si adottino gli opportuni accorgimenti operativi, sono, comunque, molto piccole.



VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA ESPOSIZIONE INTERNA

Incorporazione per ingestione

- Al fine della stima del rischio si valuta, normalmente, che venga ingerita una quantità di radioattività pari a dieci milionesimi dell'attività impiegata.



Attività annua impiegata “in vivo” comportante l’assorbimento di una dose efficace impegnata per contaminazione interna pari a 1 mSv

Radionuclide	Attività impiegata (GBq/anno)
^{99m}Tc	3205
^{131}I	8
^{67}Ga	334
^{111}In	295
^{201}Tl	1170
^{18}F	1715



VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA ESPOSIZIONE INTERNA

Pertanto si può considerare un rischio di esposizione interna molto limitato nel caso dell'attività diagnostica "in vivo".



VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA ESPOSIZIONE INTERNA

Attività terapeutiche con ^{131}I

- Caso particolare quello dell'impiego di sostanze marcate con iodio radioattivo, soprattutto in forma di ioduro di sodio, data la maggior volatilità di questi composti.
- Ciò vale soprattutto nel caso dell'attività terapeutica con ^{131}I , qualora se ne impieghino grandi quantità.



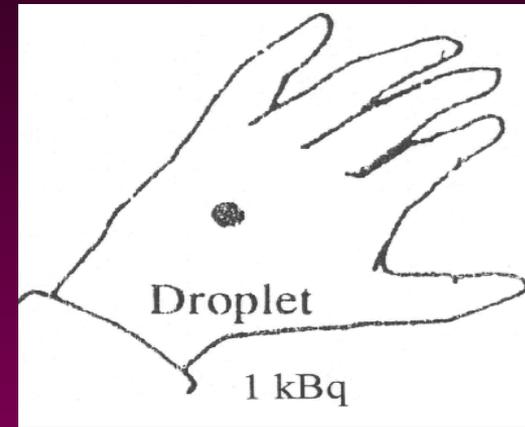
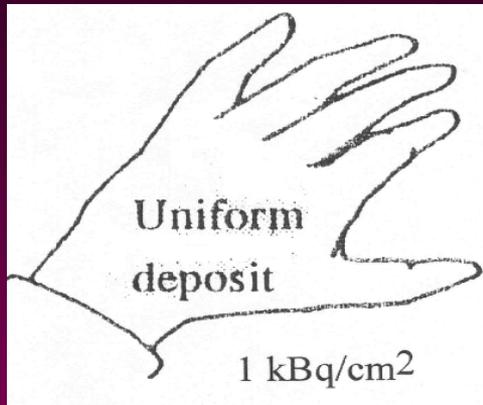
VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA ESPOSIZIONE INTERNA

Attività terapeutiche con ^{131}I

- Il paziente è, a sua volta, sorgente di contaminazione ambientale
 - contaminazione dell'aria (espirazione e traspirazione)
 - contaminazione del materiale presente nella camera di degenza (frazione pari a qualche ‰ dell'attività somministrata).



Rischio di irradiazione esterna da contaminazione cutanea



	mSv/h*		mSv/h*
^{99m} Tc	0.25	¹³¹ I	1.62
¹²³ I	0.38	¹⁵³ Sm	1.62
⁶⁷ Ga	0.35	¹⁸⁶ Re	1.81
¹¹¹ In	0.38	⁸⁹ Sr	1.78
¹⁸ F	1.95	⁹⁰ Y	2.03

	mSv/h*		mSv/h*
^{99m} Tc	0.0088	¹³¹ I	0.57
¹²³ I	0.024	¹⁵³ Sm	0.72
⁶⁷ Ga	0.004	¹⁸⁶ Re	0.91
¹¹¹ In	0.065	⁸⁹ Sr	1.21
¹⁸ F	0.79	⁹⁰ Y	1.35

* allo strato germinale della cute (7 mg/cm²)



Rischio di irradiazione esterna da contaminazione cutanea

Contaminazione cutanea di riferimento(*): 30 Bq/cm²

Radionuclide	Ore di esposizione/anno	mSv/h per kBq/cm ²	dose equivalente alla cute [mSv/anno]
99m-Tc	500	0.25	≈ 4
131-I	500	1.62	≈ 25
89-Sr	500	1.78	≈ 27
18-F	500	1.95	≈ 30

* valore riferibile ad una contaminazione non immediatamente avvertibile e, quindi, tale da non originare un'immediata decontaminazione personale



Procedure diagnostiche “in vivo”: generalità

- Caratterizzate dall'impiego di radionuclidi a breve $T_{1/2}$, ed emettitori di radiazione gamma di bassa-media energia, soprattutto ^{99m}Tc
- L'impiego di radiofarmaci PET comporta un maggior rischio dovuto all'energia della radiazione gamma emessa (511 keV) da tali radiofarmaci e alla loro costante gamma specifica elevata
- Impiego di radiofarmaci in forma di soluzione non volatile o di sospensione colloidale con conseguente modesto rischio di contaminazione interna (se vengono seguite le norme di buona pratica)
- **Sostanziale rischio di irradiazione esterna**



Procedure terapeutiche: generalità

- L'impiego di ^{131}I può comportare un significativo rischio di contaminazione interna, sia durante l'eventuale preparazione, sia a seguito dell'espirsto del paziente
- L'irradiazione esterna costituisce comunque la fonte di rischio più rilevante
- La preparazione di radiofarmaci emettitori di radiazione beta può comportare un elevato rischio di esposizione delle mani



Protezione dai rischi: generalità

- La radioprotezione nell'impiego di sostanze radioattive non sigillate comporta la necessità del controllo della contaminazione e dell'irradiazione esterna
- alla base della radioprotezione stanno:
 - ⇒ un progetto ottimizzato
 - ⇒ corrette modalità di lavoro e impiego dei mezzi di protezione individuale
(particolare importanza assume il mantenimento della pulizia dell'ambiente di lavoro)



Principi generali di progettazione

- Disponibilità di spazi adeguati per lavoratori, pazienti e attrezzature (per sfruttare l'elemento distanza)
- La camera calda deve essere facilmente decontaminabile ed idoneamente schermata (compartimentazione)
- Va valutata caso per caso la necessità di schermature aggiuntive nei diversi ambienti di lavoro



Principi generali di progettazione

- Spogliatoi del personale “freddi” al di fuori della zona controllata
- Presenza di zona filtro, dotata di circuito di decontaminazione con doccia “passante”
- Servizi igienici separati per personale e pazienti
- Attese “calde” ben separate dal resto del reparto in modo che i pazienti in attesa non diano luogo ad irradiazione del personale
- Minimizzare i percorsi e il trasporto di sostanze radioattive



Principi generali di progettazione

- Scelta dei materiali in relazione alla loro resistenza ad agenti chimici, al calore e al fuoco e alla loro decontaminabilità.
- I circuiti per decontaminazione devono essere progettati in maniera idonea: i lavelli devono essere a contatto ottico o azionabili a gomito o pedale, la doccia deve essere di tipo “passante”.



Ventilazione: generalità

- La ventilazione della camera calda deve essere tale da mantenere una depressione (30 Pa) rispetto agli ambienti circostanti.
- Deve essere utilizzata una cappa aspirante per operazioni con isotopi radioattivi volatili; la cappa dovrebbe produrre una regolare corrente d'aria senza produrre vortici.



Ricambi d'aria

Laboratori RIA	da 4 a 5 volumi/h
Camere di degenza	da 6 a 10 volumi/h
Camera calda diagnostica	da 8 a 10 volumi/h
Camera calda terapia	oltre 10 volumi/h
Altri ambienti zona calda	6 volumi/h



Principi generali di progettazione: terapia radiometabolica con emettitori gamma

Devono essere previsti:

- camere di degenza a uno o max 2 letti e relativi servizi igienici,
- spogliatoi con zona filtro (circuito di decontaminazione con doccia “passante”),
- locale riservato al personale in zona protetta,
- locale di deposito/somministrazione separato rispetto agli altri ambienti (la somministrazione delle capsule può avvenire anche direttamente in camera di degenza).



Principi generali di progettazione: terapia radiometabolica con emettitori beta

- In caso di necessità di ricovero utilizzare
 - » Camere in reparto protetto
 - » Camere di degenza riservate dotate di
 - uno o due letti,
 - servizi igienici autonomi
 - lavabo per il lavaggio delle mani e piccole decontaminazioni
 - superfici lavabili e facilmente decontaminabili
 - monitor portatile per verifica di contaminazione



Barriere protettive: obiettivi di progetto

- Il calcolo dovrebbe essere effettuato sulla base di vincoli dosimetrici ricavati dall'applicazione del principio di ottimizzazione
- Tipici obiettivi di progetto:
 - Zone comandi o zone occupate da lavoratori esposti:
 - 1 mSv/anno
 - Zone di libero accesso alla popolazione:
 - 0.30 mSv/anno
 - Studi medici:
 - 1 mSv/anno
 - Zone occupate da lavoratori non esposti:
 - 0.50 mSv/anno



Schermature normalmente realizzate

DIAGNOSTICA NON PET

- 1 - 2 mm piombo
- 8 - 12 cm mattone pieno
- 6 - 10 cm calcestruzzo

DIAGNOSTICA PET

- 5 - 10 mm piombo
- 18 - 24 cm mattone pieno
- 12 - 20 cm calcestruzzo



Schermature normalmente realizzate

TERAPIA (^{131}I)

- 5 - 12 mm piombo
- 15 - 24 cm mattone pieno
- 10 - 20 cm calcestruzzo



E' POSSIBILE CONTENERE IL RISCHIO DI ESPOSIZIONE ESTERNA (DIAGNOSTICA "IN VIVO") ?

SI

- ⇒ ponendo le soluzioni madre negli appositi alloggiamenti schermati in cassaforte o nei frigoriferi di stoccaggio non appena queste vengano consegnate al reparto;
- ⇒ utilizzando sempre contenitori e siringhe schermati riducendo al minimo possibile il contatto diretto con contenitori, siringhe e provette;



PREPARAZIONE DEL RADIOFARMACO

- ⇒ La preparazione del radiofarmaco deve avvenire in cella calda opportunamente schermata (2-3 cm Pb per diagnostica non PET; 5-7 cm Pb per diagnostica PET)
- Devono essere utilizzati contenitori e siringhe schermate
- Deve essere valutata la necessità di pinze e telemanipolatori
- Deve essere ridotto al minimo il contatto diretto con contenitori e siringhe



Caratteristiche di una cella calda

Tipici spessori (mm di Pb)

- parete frontale e piano di lavoro: 30
- parete posteriore laterale e soffitto: 2
- vetro anti-X: 10
- zona eluitori: 30
- zona calibratore: 10
- zona rifiuti: 10

- Contenitore per colonne
- Contenitore per rifiuti



DOSE ALLE MANI

DOSE MEDIA in $\mu\text{Sv}/(\text{GBq manipolato})$

- 70 μSv al dito indice destro
50 μSv al dito indice sinistro
(Harding et al., 1985)
- da 38 a 66 μSv al dito indice destro
da 22 a 28 μSv al dito indice sinistro
(Mackenzie, 1997)
- 78 μSv alla falange prossimale del dito anulare
(Sichirollo et al., 1998)



PREPARAZIONE DEL RADIOFARMACO (PET)

- Nel caso PET 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 (PET)

DOSI ALLE MANI

Martì-Climent e Penuelas (2002) riportano dosi alle mani per i tecnici che preparano il radiofarmaco dell'ordine di $200 \mu\text{Sv}/(\text{GBq somministrato})$.

(senza impiego di frazionatore automatico)



SOMMINISTRAZIONE DEL RADIOFARMACO

- La somministrazione 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 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.



SOMMINISTRAZIONE DEL RADIOFARMACO (PET)

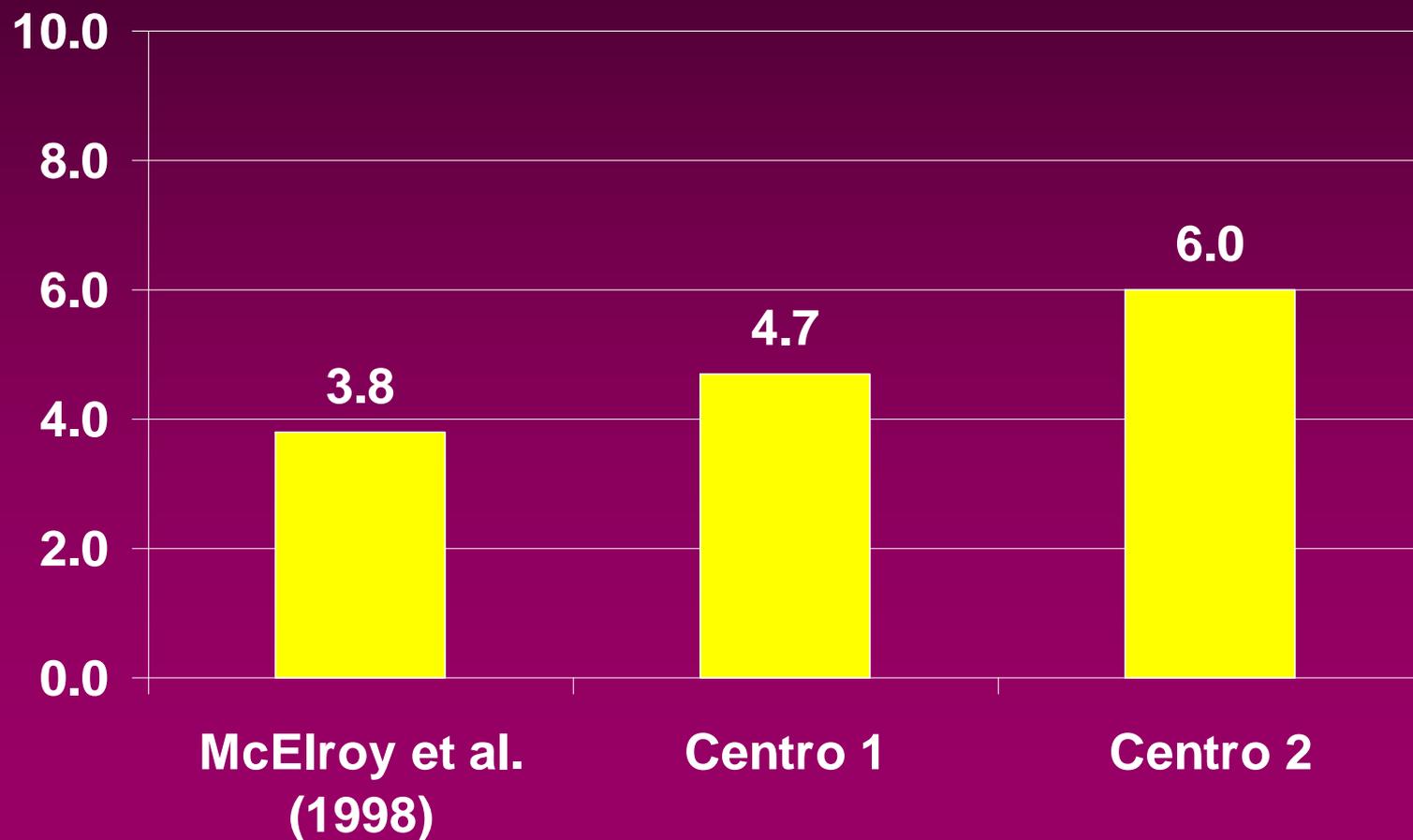
DOSI ALLE MANI

Martì-Climent e Penuelas (2002) riportano dosi alle mani per i tecnici che preparano il radiofarmaco dell'ordine di 80-90 $\mu\text{Sv}/(\text{GBq}$ somministrato).



SOMMINISTRAZIONE DEL RADIOFARMACO (PET)

$\mu\text{Sv}/(\text{GBq } ^{18}\text{-F somministrato})$



Rischio di esposizione esterna irradiazione da parte del paziente

- Costituisce una fonte di rischio potenziale importante (soprattutto in diagnostica PET e in terapia con ^{131}I).
- Necessità di garantire una protezione ottimizzata del box comandi, delle sale di attesa e delle camere di degenza.
- Vanno sfruttati gli elementi **tempo e distanza.**



Dipendenza del rischio dalla distanza dal paziente

Esame	Radiofarmaco	Attività somministrata
Angiocardioscintigrafia	^{99m}Tc - RBC	740

A contatto
del paziente

15 $\mu\text{Sv/h}$

A 30 cm
dal paziente

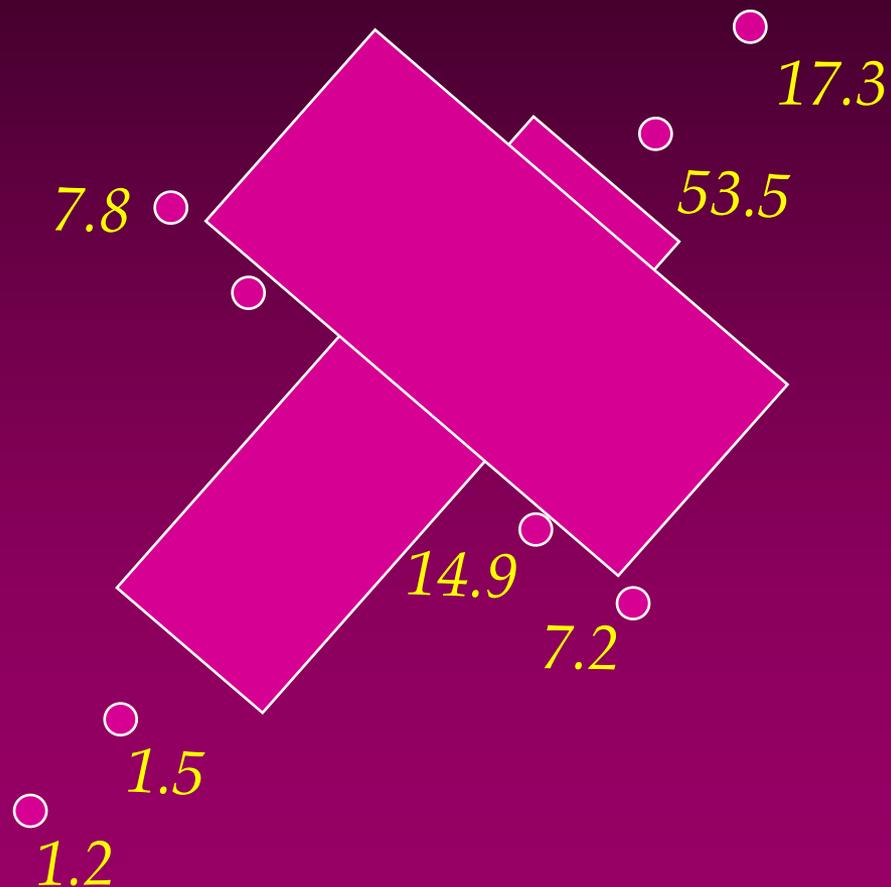
7 $\mu\text{Sv/h}$

A 100 cm
dal paziente

2 $\mu\text{Sv/h}$



Distribuzione del rateo di dose intorno ad un apparecchio PET (^{18}F) ($\mu\text{Sv}/\text{h}/\text{GBq}$ ad un'ora dalla somministrazione)



DOSE AL CORPO INTERO

da Chiesa et al. (1997)

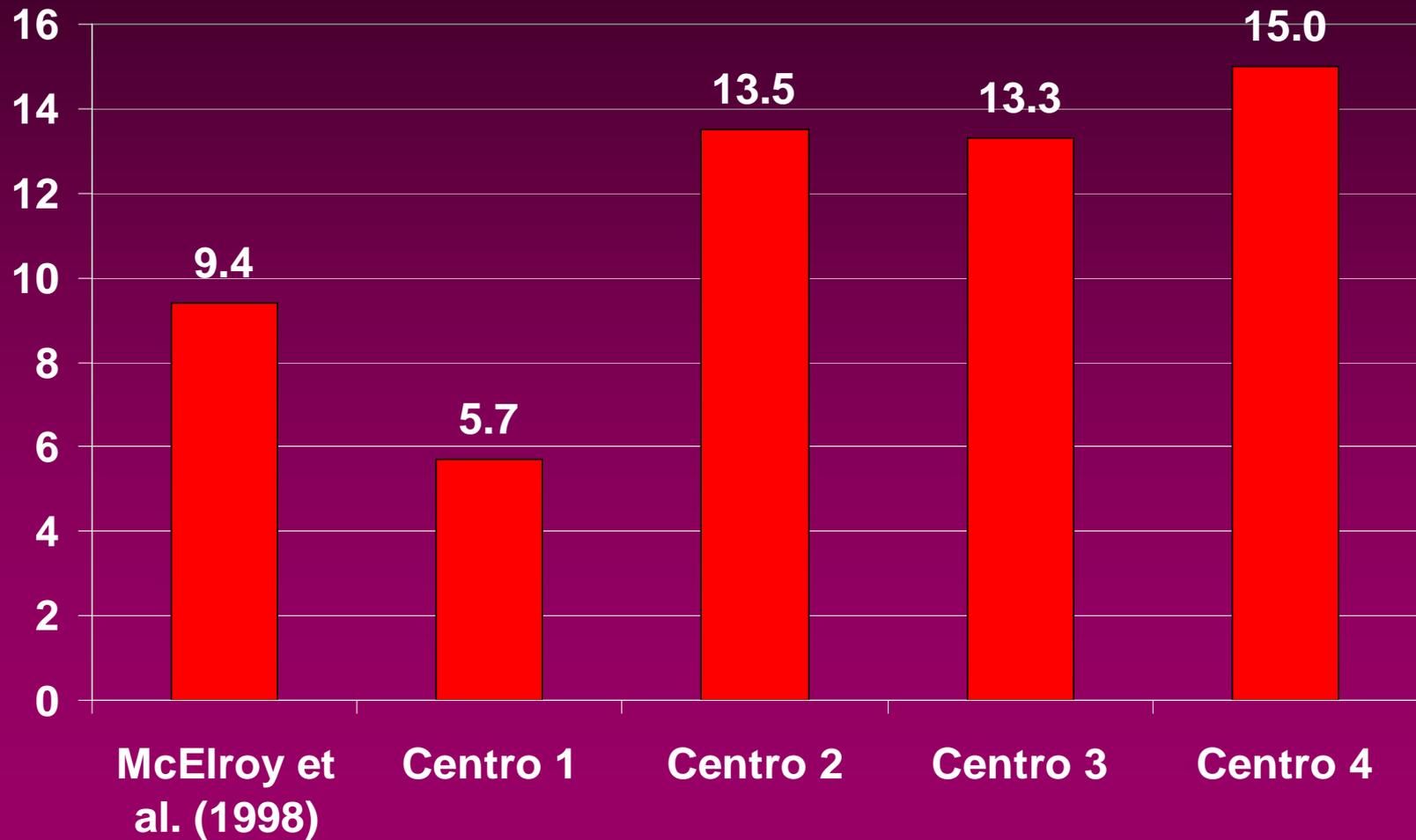
Procedura	Dose (μSv)
Scintigrafia ossea ($^{99\text{m}}\text{Tc-MDP}$)	0,3
Scintigrafia renale ($^{99\text{m}}\text{Tc-MAG3}$)	0,3
Scintigrafia tiroidea ($^{99\text{m}}\text{Tc-pertecnetato}$)	0,2
Scintigrafia polmonare ($^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$)	0,4
Esame WB (^{67}Ga)	0,2
Angiocardioscintigrafia all'equilibrio ($^{99\text{m}}\text{Tc-RBC}$)	1
SPET miocardica ($^{99\text{m}}\text{Tc-MIBI}$)	1,7

da NCRP report 107 (1990): 0,2 – 0,4 μSv per procedura



Dose per esecuzione esame (TSRM)

($\mu\text{Sv}/\text{GBq}$ F-18 somministrato)



E' POSSIBILE CONTENERE IL RISCHIO DI IRRADIAZIONE DEL PAZIENTE?

SI

- ⇒ mantenendosi ogniqualvolta sia possibile in posizione protetta al riparo di schermature;
- ⇒ stazionando il meno possibile in prossimità del paziente, se non per le operazioni connesse alla corretta esecuzione dell'esame diagnostico.



E' POSSIBILE CONTENERE IL RISCHIO DI IRRADIAZIONE DEL PAZIENTE (TERAPIA CON ^{131}I)?

SI

- sostare, di norma, nelle aree protette previste;
- ridurre al minimo necessario il tempo di permanenza nelle camere occupate dai pazienti;
- utilizzare, quando possibile, barriere di protezione.



E' POSSIBILE CONTENERE IL RISCHIO DI ESPOSIZIONE ESTERNA (DIAGNOSTICA "IN VITRO") ?

SI

- nel caso in cui si impieghino attività dell'ordine di qualche decina di MBq, occorre valutare la necessità di utilizzare schermature locali e strumenti per la manipolazione;
- normalmente l'impiego di strumenti con il manico sufficientemente lungo risulta essere adeguato;
- nel caso i cui si impieghino sostanze radioattive emettitrici di radiazioni beta, occorre utilizzare contenitori e schermi di spessore maggiore del range massimo delle particelle emesse (spessori di plexiglas di 1 – 1.5 cm sono normalmente sufficienti).



E' POSSIBILE CONTENERE IL RISCHIO DI CONTAMINAZIONE ?

SI

- osservando le norme e, in particolare:
 - ⇒ mettendo sempre in funzione le cappe di aspirazione e gli impianti di ventilazione;
 - ⇒ evitando le contaminazioni delle superfici e mantenendo i luoghi di lavoro il più possibile "puliti";
 - ⇒ eliminando velocemente e con la dovuta cautela qualsiasi contaminazione superficiale;



E' POSSIBILE CONTENERE IL RISCHIO DI CONTAMINAZIONE ?

SI

- ⇒ evitando le contaminazioni le contaminazioni personali (usando gli indumenti protettivi ed, in particolare, i guanti monouso);
- ⇒ mantenendo la pulizia personale e degli indumenti di lavoro;
- ⇒ controllando regolarmente la presenza di eventuale contaminazione all'uscita della zona controllata.



E' POSSIBILE CONTENERE IL RISCHIO DI CONTAMINAZIONE (TERAPIA CON 131I) ?

- La volatilità del radiofarmaco dipende dalle caratteristiche della soluzione (può variare di un fattore fino a 100):
 - » $\text{pH} > 7$
 - » aggiunta di antiossidanti e agenti chelanti.
- Le capsule presentano una volatilizzazione potenziale del radioiodio inferiore.
- Essa è però a sua volta estremamente variabile e in alcuni casi può superare quella di una buona soluzione



E' POSSIBILE CONTENERE IL RISCHIO DI CONTAMINAZIONE (TERAPIA CON ^{131}I) ?

SI

Una buona progettazione del reparto, l'uso di capsule o di soluzioni non volatili e il rispetto delle norme di comportamento, in particolare l'impiego di indumenti protettivi (guanti, sovrascarpe, eventualmente mascherine) rendono comunque il rischio relativamente basso: $< 1 \text{ mSv/anno}$



SORVEGLIANZA FISICA

- Programma di sorveglianza ambientale
- Programma di sorveglianza individuale



SORVEGLIANZA FISICA

Programma di sorveglianza
ambientale

Controllo della
contaminazione
superficiale

Controllo della
contaminazione
aeriforme

Controllo dei
campi di radiazione
ambientali (H*)



Controllo della contaminazione superficiale

- ***Tecniche di misura per la contaminazione superficiale***
 - Monitor per contaminazioni
 - Smear test
(Efficienza di asportazione: 10 %)
- ***Frequenze di misura***
 - Dimensionate su $T_{1/2}$ e radiotossicità delle sostanze radioattive impiegate
 - Dimensionate sull'organizzazione del lavoro
 - Valutazione con frequenza inferiore al mese (di norma bisettimanale)



Livelli di intervento per la contaminazione superficiale secondo ICRP57 (Bq/cm²)

Superficie	Classe del radionuclide		
	A	B	C
Superfici e materiali in zona controllata	30	300	300
Zone sorvegliate e aree pubbliche, abiti personali, biancheria da letto	3	30	30

Superficie di prelievo: < 1000 cm² (pareti, soffitti, pavimenti)
< 300 cm² (altre superfici)



Classificazione dei radionuclidi secondo ICRP57

Classe	Radionuclide
A	^{75}Se , ^{89}Sr , ^{125}I , ^{131}I
B	^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F , ^{51}Cr , ^{67}Ga , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{111}In , $^{113\text{m}}\text{In}$, ^{123}I , ^{201}Tl
C	^3H , ^{14}C , $^{81\text{m}}\text{Kr}$, ^{127}Xe , ^{153}Xe



Controllo della contaminazione aeriforme

- Il controllo della contaminazione dell'aria è necessario solo nel caso in cui vengano manipolate quantità di materiale radioattivo dell'ordine di 1000 volte i limiti annuali di introduzione (ICRP 75)
 - ⇒ reparti di radioterapia metabolica
- Conferme indirette possono essere ottenute dalle misure di contaminazione superficiale assumendo opportuni fattori di risospensione (10^{-5} m^{-1})
- La misura viene effettuata mediante aspirazione su filtri di carta e/o a carbone attivo



SORVEGLIANZA FISICA

Programma di sorveglianza
individuale

Controllo della
irradiazione esterna

Controllo della
contaminazione
cutanea

Controllo della
contaminazione
interna

Dose efficace

Dose equivalente

?



Controllo individuale dell'irradiazione esterna

- misura dell'equivalente di dose individuale $H_p(10)$ al corpo intero, mediante l'impiego di dosimetri personali portati a livello del torace
 - ⇒ Frequenza mensile (eventualmente trimestrale per terapia con ^{131}I)
- misura dell'equivalente di dose personale $H_p(d)$ alle mani, tramite dosimetri TL inseriti in anelli o bracciali;



Controllo individuale della contaminazione cutanea

- impiego di monitor mani piedi
- frequenza giornaliera (all'uscita dalla zona classificata)

Livelli di intervento ICRP57 (Bq/cm²)

Superficie di prelievo: < 100 cm²

	Classe del radionuclide		
	A	B	C
Superfici del corpo e abiti personali	3	30	30



Monitoraggio della contaminazione interna

- La stima della contaminazione interna può includere una o più delle seguenti tecniche
 - ⇒ misure dirette “whole body”
 - ⇒ misure dirette su regioni corporee (per esempio: tiroide)
 - ⇒ misure degli escreti (urine)
- Le misure effettuate, quando necessario, devono essere interpretate in termini di quantità di radioattività incorporata o di dose efficace impegnata assorbita



Controllo individuale della contaminazione interna (diagnostica)

- una valutazione sistematica della esposizione interna non è di norma necessaria
- difficoltà operative (brevi tempi di decadimento dei radioisotopi)
- rischio di esposizione tale da comportare dosi efficaci impegnate $< 10\%$ del limite di dose (non richiede di per sé la classificazione degli operatori in categoria A)



Controllo individuale della contaminazione interna (diagnostica)

- potrebbe pertanto essere sufficiente effettuare verifiche di contaminazione ambientale e di contaminazione esterna individuale;
- possono comunque essere effettuate:
 - ⇒ valutazioni della dose interna sul personale più a rischio (es. tecnico di camera calda) con frequenza settimanale
 - ⇒ misure di conferma mediante misure a campione sul personale con frequenza almeno trimestrale



Controllo individuale della contaminazione interna (terapia con ^{131}I)

- una valutazione sistematica della esposizione interna è necessaria se vengono impiegate attività dell'ordine delle decine di GBq/anno
- misura delle urine o dell'attività presente in tiroide
- frequenza almeno mensile (in situazioni in cui si presentino molto spesso contaminazioni interne apprezzabili, tenendo conto delle incertezze rilevanti in gioco, la frequenza dovrebbe essere quindicinale)

