

LA DOSE IN MEDICINA NUCLEARE

G. Pedroli

**Servizio di Fisica Sanitaria
Istituto Europeo di Oncologia, Milano.**

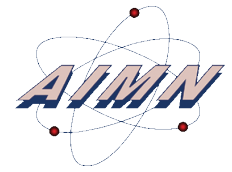


Disclosure Slide

Il sottoscritto Guido Pedroli

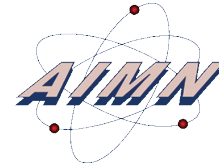
DICHIARA

che, nell'esercizio delle funzioni di Relatore, NON E' in alcun modo portatore di interessi commerciali propri o di terzi; dichiara altresì che gli eventuali rapporti avuti negli ultimi due anni con soggetti portatori di interessi commerciali non sono tali da permettere a tali soggetti di influenzare le proprie funzioni al fine di trarne vantaggio;

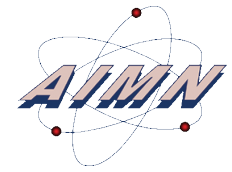


La dose in medicina nucleare

- dose agli operatori
- dose alla popolazione
- dose ai pazienti



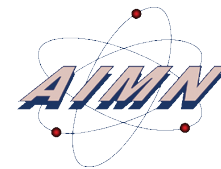
La dose agli operatori



Procedure diagnostiche: generalità

- Le procedure medico nucleari tradizionali sono 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).

ESAMI NON PET



PROCEDURA	DOSE* PER PROCEDURA (μSv)
Scintigrafia ossea ($^{99\text{mTc}}$ -MDP)	0,3
Scintigrafia renale ($^{99\text{mTc}}$ -MAG3)	0,3
Scintigrafia tiroidea ($^{99\text{mTc}}$ -pertechnetato)	0,2
Scintigrafia polmonare ($^{99\text{mTc}}$ -MAA)	0,4
Esame WB ($^{67\text{Ga}}$)	0,2
Angiocardioscintigrafia all'equilibrio ($^{99\text{mTc}}$ -RBC)	1
SPET miocardica ($^{99\text{mTc}}$ -MIBI)	1,7

*Hp(10)

da Chiesa e coll. (1997)

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

Esami non cardiaci: 0,2 – 0,4 μSv per procedura

Esami cardiaci: 1 - 2 μSv per procedura

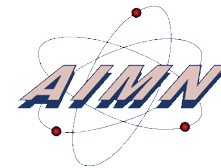
ESAMI PET

	Dose* per GBq somministrato (μSv/GBq)
Chiesa e coll., 1997	11,8 (WB)
Benatar e coll., 2000	18
Guillet e coll., 2005	9,6
Roberts e coll., 2005	11
Leide-Svenborg e coll., 2010	15
Demir e coll., 2010	5,8 – 7,8

*Hp(10)

Esami PET (18 F-FDG): 4 – 5 μ Sv per procedura

ESAMI PET



	Dose* per GBq somministrato ($\mu\text{Sv}/\text{GBq}$)		
	Preparazione	Iniezione	Esecuzione esame
Chiesa, 1997	0,6	5,6	3,4
McElroy, 1998	-	3,8	9,4
Guillet, 2005	-	6,6	3
Roberts, 2005	-	3,8 - 6,8	3,5
Leide-Svenborg, 2010	contributo minimo	3 - 7	3 - 12

*Hp(10)

Dose alle mani → documento EURADOS (ORAMED project)

Preparazione del radiofarmaco

Deve avvenire in cella calda

- **Schermatura**

per radioisotopi non PET: 10 -

30

per radioisotopi PET: 50 - 70

- **Contenitore per colonne**

- **Contenitore per rifiuti**

- **Calibratore di attività**

- **Frazionatore automatico per radioisotopi PET**

- **Utilizzo di pinze**

telemanipolatori



Preparazione e somministrazione del radiofarmaco

- Devono essere utilizzati contenitori e siringhe schermate



99mTc

18F

(2 mm tungsteno) (8 mm tungsteno)



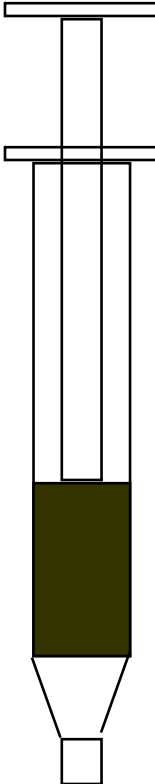
Tc-99m
10 GBq
10 ml

560 mGy/h

1 mGy/h

2 mm Pb

Rateo di dose in funzione della posizione

Senza schermo		Con schermo (2 mm W)
0,4 mSv/h		0,004 mSv/h
0,8 mSv/h		0,01 mSv/h
4,2 mSv/h		0,04 mSv/h
22 mSv/h		0,16 mSv/h
8 mSv/h		6 mSv/h

400 MBq ^{99m}Tc in 1 ml

Rateo di dose in funzione dello schermo della siringa (^{18}F)



Somministrazione del radiofarmaco

- Utilizzare per la somministrazione, se possibile, aghi e cannule e bottiglie



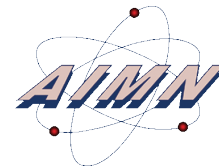
Preparazione e somministrazione del radiofarmaco

- L'impiego di un iniettore automatico consente di ridurre ulteriormente la dose in somministrazione.

	dose* (μSv)/paziente	
	Medico	Tecnico
Iniezione manuale	1,89	1,24
Iniettore automatico	1,17	1,26

*Hp(10)

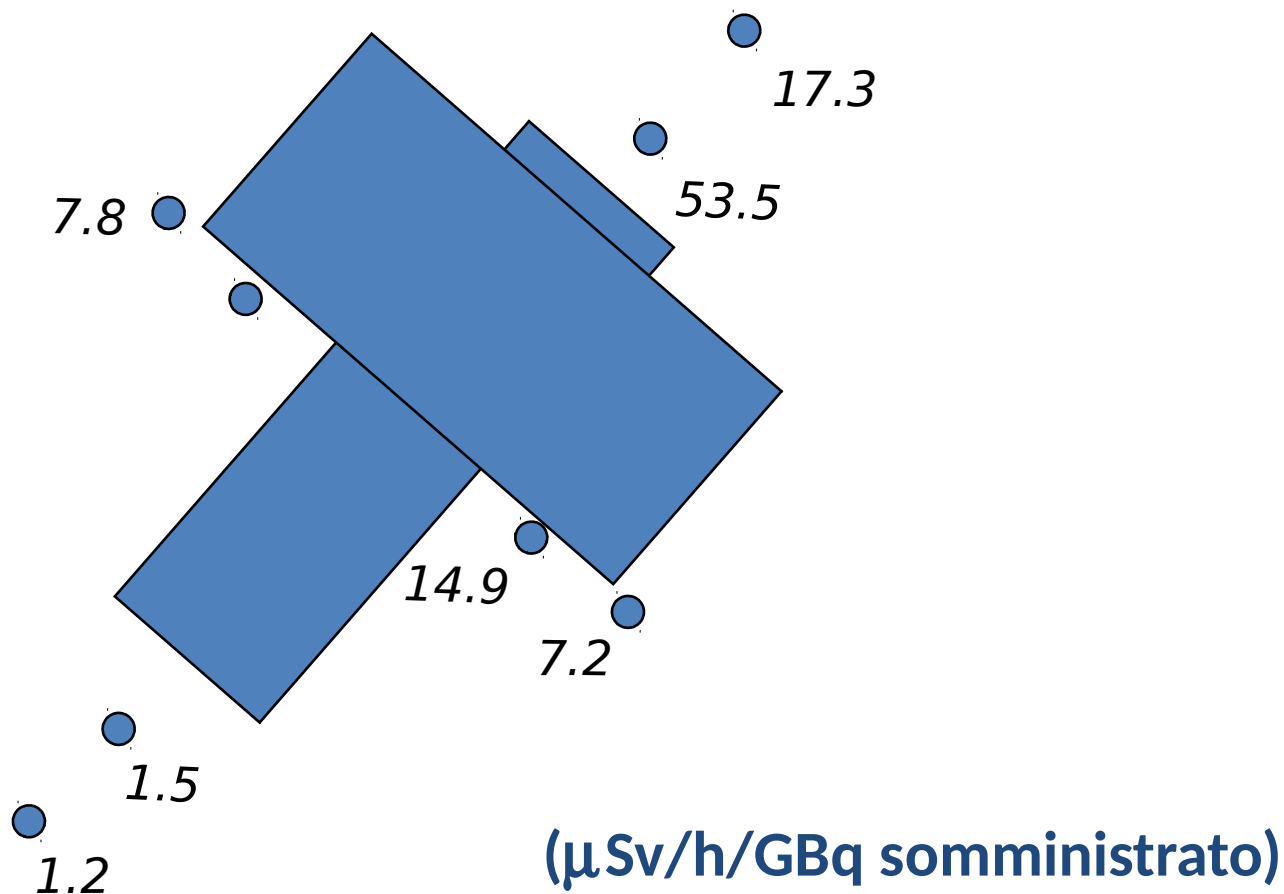
Lecchi e coll., 2012

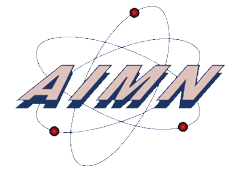


ESECUZIONE DELL'ESAME

- **mantenersi ogniqualvolta sia possibile in posizione protetta al riparo di schermature**
 - **stazionare il meno possibile in prossimità del paziente se non per le operazioni connesse alla corretta esecuzione della procedura**

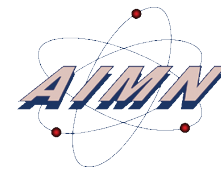
Distribuzione del rateo di dose intorno a un apparecchio PET (18F)





Assistenza ai pazienti

- **Accompagnamento del paziente al servizio e alla sala esame: 5-10 μSv /paziente**
- **Assistenza a pazienti non autosufficienti: fino a 0,1 mSv per un solo paziente**



Dose alla mano/pelle

Dose massima alla pelle della mano
(mSv per GBq manipolato)

Procedura	range	media
99mTc-somministrazione	0,01 - 0,95	0,23
99mTc-preparazione	0,03 - 2,06	0,43
18F-somministrazione	0,14 - 4,11	0,93
18F-preparazione	0,10 - 4,43	1,20

EURADOS Report 2012-02

- La dose alla mano è molto diversa da zona a zona, per cui, tenendo conto che è stabilito un limite di dose alla pelle per un'area di 1 cm², uguale a quello per la mano stessa, è necessario valutare la dose alla pelle massima alla mano.

Misura della dose alla pelle

- **Utilizzo di dosimetri a TLD per i polpastrelli**
- **Utilizzo di dosimetro ad anello: la dose misurata deve essere moltiplicata per un fattore 3 - 6 (ICRP, EURADOS)**

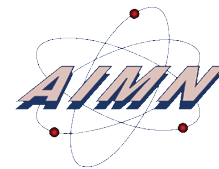


Procedure diagnostiche

- Un progetto ottimizzato (schermature, impianti, finiture, ...), l'impiego di idonei mezzi di protezione e le corrette modalità di lavoro consentono di mantenere l'esposizione entro valori ampiamente accettabili (dose efficace: 3 - 5 mSv/anno*).
- E' necessario prestare attenzione alla dose alla pelle.

	Livelli d'indagine* (mSv)	
	mese	13 settimane
Corpo	0,5	2
Estremità	15	50

* da IAEA: TMRPNM_Part05_Occupational Exposure Protection of the Worker



Procedure terapeutiche: generalità

- L'impiego di ^{131}I può comportare un rischio di contaminazione interna
- 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

Rischio di irradiazione esterna: irradiazione da parte dei pazienti

	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 0,5/4,3
Terapia delle metastasi	5,55	175 - 300	\approx 0,75
Ipertiroidismo	0,6	\approx 30	\approx 5

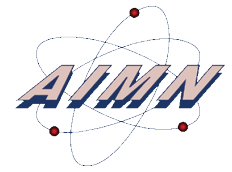
Rischio di contaminazione

- volatilità del radiofarmaco (^{131}I)
- contaminazione dovuta al paziente stesso

Escrezione	Concentrazione	Contaminazione	
Saliva	< 2 MBq/g	utensili	2 kBq
Sudore	< 20 Bq/cm ²	superfici	10 Bq/cm ²
Respiro	100 Bq/l	aria	1 Bq/l
Urine	< 500 kB/ml	toilette	2 kBq/cm ²

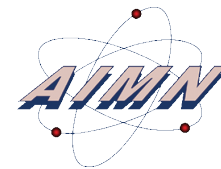
Attività somministrata (^{131}I): 1000 MBq

da IAEA: TMRPNM_Part05_Occupational Exposure Protection of the Worker



Procedure terapeutiche

- Un progetto ottimizzato (schermature, impianti, finiture, ...), l'impiego dei mezzi di protezione individuali e le corrette modalità di lavoro consentono di mantenere l'esposizione entro valori ampiamente accettabili (1 - 2 mSv/anno).
- E' necessario tenere sotto controllo, oltre all'esposizione esterna, anche quella interna.



Dose alla pelle radiofarmaci beta emettitori

(mSv per GBq manipolato)

Procedura	Range	media
90Y(Zevalin)-somministrazione	1,0 - 11,9	4,8
90Y(Zevalin)-preparazione	1,2 - 43,9	11,0
90Y(Dotatoc)-somministrazione	0,4 - 4,9	1,9
90Y(Dotatoc)-preparazione	0,1 - 7,4	2,1

EURADOS Report 2012-02

Radioprotezione radiofarmaci beta emettitori

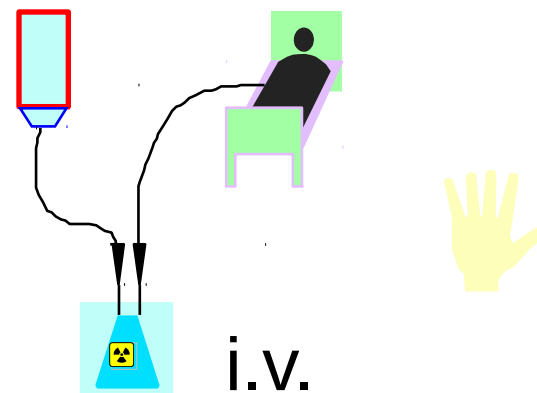
^{90}Y e ^{177}Lu

Preparazione del radiofarmaco



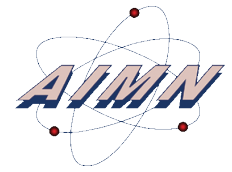
cella calda dedicata (plexiglas + Pb)
frazionatore di dosi
guanti anti-X; schermi in plexiglas

Somministrazione



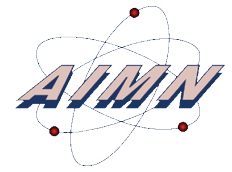
i.v.
schermi per vial
(plexiglas + Pb)

- Usare tecniche di somministrazione che riducano al minimo l'esposizione (es. tecnica ad infusione).
- Deve essere misurata la dose alla pelle mediante TLD ai polpastrelli delle dita (preparazione)



La dose alla popolazione

- **pazienti dimessi**
 - **smaltimento rifiuti radioattivi**



Dimissioni dei pazienti

Deve essere garantito

- **il rispetto dei vincoli di dose per gli individui della popolazione con cui il paziente viene a contatto:**

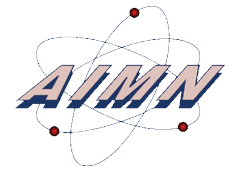
Individui della popolazione

⇒ 0,3 mSv

Individui volontari che assistono il paziente

⇒ adulti 18 - 60 anni : 3 mSv (dose efficace per ciclo terapeutico)

⇒ adulti > 60 anni : 10 mSv




Dimissioni dei pazienti

- Deve essere accertato al momento delle dimissioni che l'attività residua è inferiore a un valore prefissato.
- Devono essere fornite al paziente le istruzioni predisposte assicurandosi che le condizioni di vita del paziente siano tali da garantire il loro rispetto.

Smaltimento rifiuti radioattivi

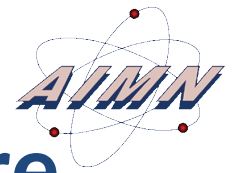
Per il gruppo critico della popolazione deve essere garantito:

- nel caso dello smaltimento in ambiente da parte della struttura ospedaliera il rispetto della non rilevanza radiologica ($10 \mu\text{Sv}/\text{anno}$);
- nel caso dello smaltimento in ambiente da parte dei pazienti dimessi il rispetto di un vincolo di dose opportunamente fissato per assicurare il non superamento del limite di dose per gli individui della popolazione  in Regione Lombardia $50 \mu\text{Sv}/\text{anno}$ (circolare 18/SAN/2004).



La dose al paziente

- Scelta ottimizzata dell'attività da somministrare
- Verifica che l'attività somministrata sia effettivamente quella prevista (aspetti organizzativi)



Scelta dell'attività da somministrare

- La scelta ottimizzata dell'attività da somministrare, come del resto quella delle modalità di esecuzione delle procedure, è un compito difficile. Essa può essere effettuata solo da gruppi di esperti sotto l'egida di istituzioni autorevoli, associazioni scientifiche, ecc.
- Da un punto di vista pratico si può fare riferimento, per esempio, alle linee guida dell'associazione europea (EANM) o della società americana (SNMMI*).
- In ogni caso devono essere rispettati i valori di LDR stabiliti dall'allegato II del D. L.vo 187/2000.

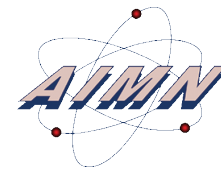
* <http://www.snmmi.org/ClinicalPractice/doseTool.aspx>

Esami NON PET



Esame/organo	Radiofarmaco	Attività (MBq) EANM	Attività (MBq) SNMMI	LDR (DL 187/2000)
Cervello	99mTc-HMPAO	740 (555-1110)	740 (555-1110)	740 (SPET)
Tiroide	99mTc-pertecneta to	-	185 (74-370)	150
Cuore rest-stress	99mTc-sestamibi / tetrofosmina (1 g)	1a: 400-500 2a: 1200-1500	1110 (total) (740-1480)	rest: 370 stress: 1100
	99mTc-sestamibi / tetrofosmina (2 g)	rest: 600-900 stress: 600-900	rest: < 1110 stress: < 1110	rest: 740 stress: 740
Cuore ventricolografia	99mTc-emazie	800 (500-1050)	925 (555-1110)	925
Rene	99mTc-DMSA	-	148 (74-222)	160
Osso	99mTc-MDP	500 (300-740)	925 (740-1110)	900 (SPET)
Infezione / infiammazione	67Ga	-	222 (148-333)	110

Esami PET



Nell'allegato II al D.L.vo 187/2000 non sono indicati LDR. Si possono considerare i livelli di riferimento indicati dall'IAEA:

Radiofarmaco	Esame/organo	Attività (MBq)
18F-FDG	tumore	400
18F-FDG	cervello	250
18F-FDG	miocardio	450
18F-fluoruro	osso	250
11C-metionina	tumori cerebrali	400
13N-ammoniaca	miocardio	550
15O-acqua	flusso sanguigno	2000

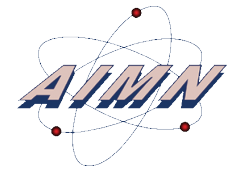
La dose al paziente: esami non PET

Radiofarmaco	Attività (MBq)	Dose efficaceICRP6 0 (mSv)	Dose efficaceICRP1 03 (mSv)
99mTc-MDP	900	5,13	4,59
99mTc-sestamibi/ tetrafosmina	740	6,66 6,44	5,13 4,59
99mTc-pertecnetato	150	1,95 0,63 (tiroide bloccata)	1,85 0,57 (tiroide bloccata)
99mTc-HMPAO	740	6,88	5,70
99mTc-emazie	925	6,48	6,48
99mTc-DMSA	160	1,41	0,95
67Ga-citrato	110	11	11,22
111In-octreotide	185	10	8,51

La dose al paziente: esami PET

Radiofarmaco	Attività (MBq)	DoseICRP60 efficace (mSv)
18F-FDG	250 - 400	4,8 - 7,6
18F-colina	400	7,6
18F-fluoruro	400	9,6
11C-colina	400	1,9
11C-PiB	400	1,7
11C-acetato	500	1,8
11C-metionina	400	3,4

da Mattsson e coll., 2011



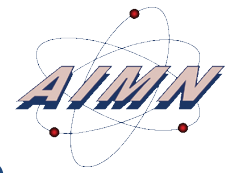
La componente TC

- Nei sistemi ibridi (SPECT/TC e PET/TC) la procedura TC utilizzata deve essere scelta in base alle esigenze cliniche.
- L'utilizzo della TC al fine della correzione per l'attenuazione richiede di per sé dosi molto basse, mentre dosi più elevate sono richieste per la localizzazione anatomica o la caratterizzazione di lesioni focali.
- Una TC diagnostica deve essere utilizzata quando una recente TC diagnostica non è disponibile ed è necessario avere un'informazione anatomica dettagliata (non deve essere ripetuta).

TC diagnostica: 6-14 mSv

TC a bassa dose: 2-4 mSv

(Buck e coll., 2008)



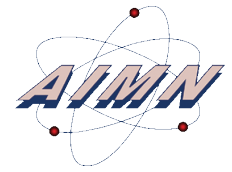
Verifica del rispetto degli LDR

Ogni due anni deve essere verificato che le attività somministrate corrispondano effettivamente alle attività prescritte.

Dovranno pertanto essere effettuate verifiche relative a:

- ⇒ al calibratore di attività, in particolare alla sua accuratezza;
- ⇒ alle modalità operative di preparazione e somministrazione dei radiofarmaci.

Verifica calibratore di isotopi



CRITERI MINIMI DI ACCETTABILITÀ
(ALLEGATO V al D.L.vo 187/00)

Linearità: $\pm 5\%$

su tutta la gamma di attività usate

Riproducibilità: migliore di $\pm 5\%$

Accuratezza:

migliore del 5% per isotopi emettitori di raggi gamma
> 100 keV

migliore del 10% per isotopi emettitori di raggi beta
ed emettitori di raggi gamma di bassa energia

Verifica delle modalità operative

Per tutte le procedure diagnostiche effettuate nell'ambito della struttura medico nucleare, inserite nella tabella B dell'allegato II al D. L.vo 187/00, si propone di operare le seguenti verifiche:

- ⇒ individuare 5-10 pazienti per i quali è programmata la somministrazione di un'attività standard;
- ⇒ prima della somministrazione del radiofarmaco determinare l'attività presente nella siringa prima e dopo l'iniezione;
- ⇒ verificare che i valori di attività somministrati così determinati siano quelli prescritti e che siano entro gli LDR di cui alla tabella suddetta.