

Congresso Nazionale

LA RADIOPROTEZIONE NELL' AMBIENTE, NELL'INDUSTRIA,
NELLA RICERCA E NELLA SANITA'

RENDE, 16 - 17 OTTOBRE 2017

CENTRO CONGRESSI AULA MAGNA "BENIAMINO ANDREATTA",
UNIVERSITA' DELLA CALABRIA



Applicazioni di medicina nucleare

Prof. Giuseppe Lucio Cascini
Cattedra di Diagnostica per Immagini
Dir. UO Medicina Nucleare e PET/CT
Centro RM-PET
Università di Catanzaro



UMG
dubium sapientiae initium

Cos'è la Medicina Nucleare

Branca della Medicina che utilizza a scopo diagnostico (in vivo o in vitro) e terapeutico sostanze radioattive non sigillate.

Medicina Nucleare

IN VITRO

- *Con somministrazione radiattivo*
- *Senza somministrazione radiattivo*

IN VIVO

- *Imaging diagnostico*
- *Terapia*

Caratteristiche della medicina nucleare

- Immagini funzionali e precocità di diagnosi
- Sorgente radioattiva nel paziente
- Scarso rischio da radiazioni e ripetibilità

- Scarso dettaglio anatomico

Regno delle ombre

La radiattività è nel paziente

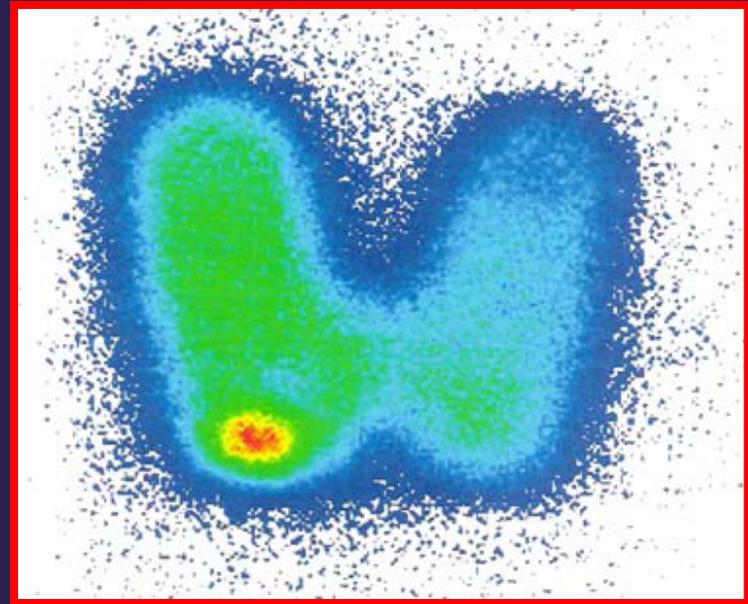
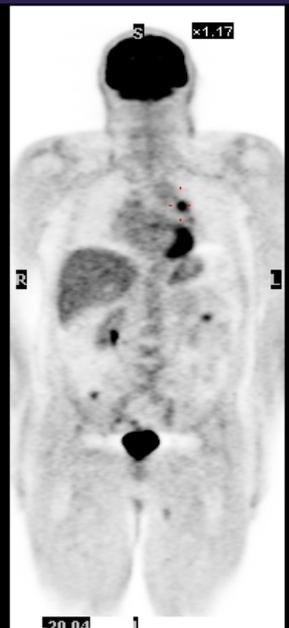


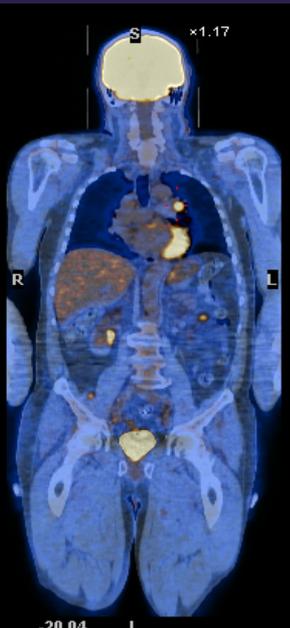
Immagine morfo-funzionale



CT Coronals



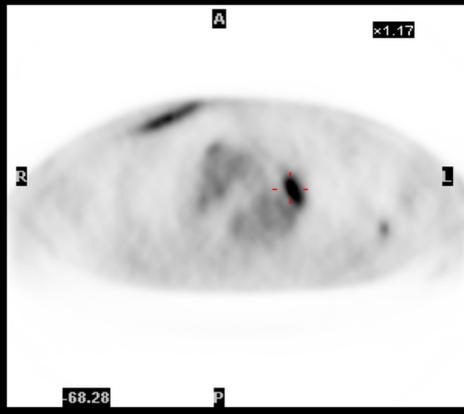
PET Coronals



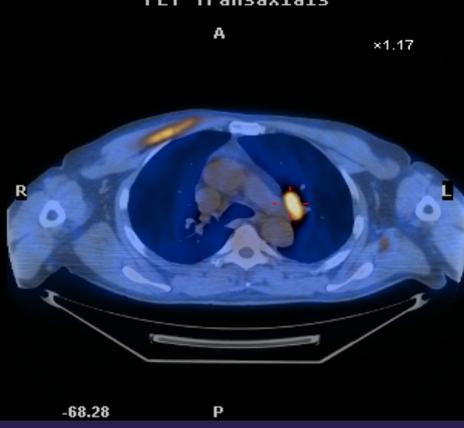
Fused Coronals



CT Transaxials



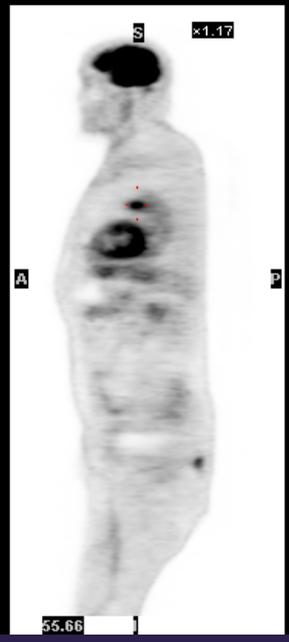
PET Transaxials



Fused Transaxials



CT Sagittals



PET Sagittals



Fused Sagittals

Morfologia

Funzione

Fusione

Come si forma un'immagine scintigrafica

Due fasi distinte ed essenziali

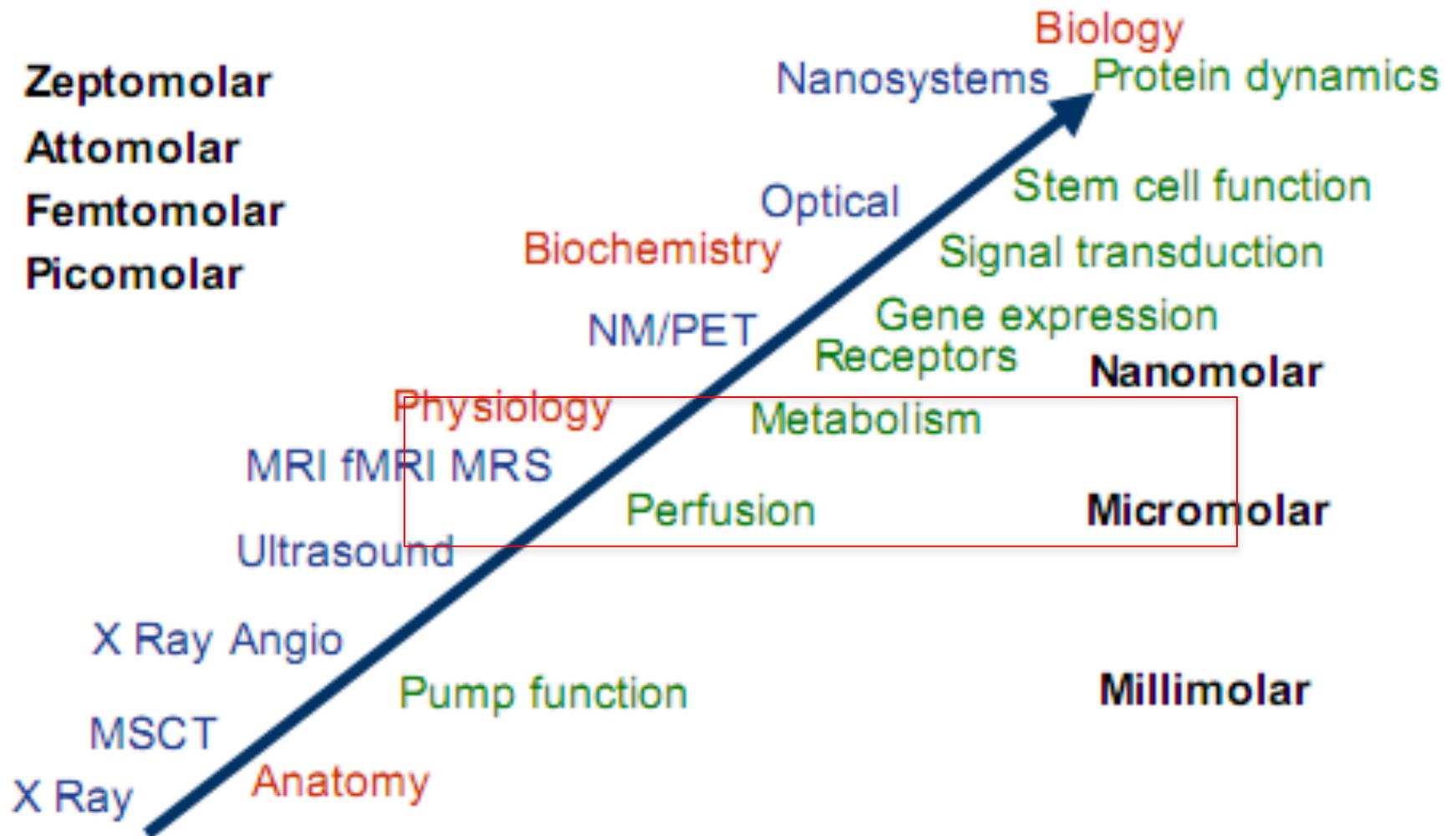
- **Somministrazione del radiofarmaco**
 - Tipi di somministrazione
 - Tipi di farmaci o molecole vettrici
 - Tipi di sostanze radioattive e di radiazioni
- **Acquisizione delle immagini**
 - Come funziona una gamma-camera

Radio-farmaci

In Medicina Nucleare la premessa fondamentale all'immagine non è la macchina, ma il radiofarmaco, cioè il radionuclide ed il suo vettore fisiopatologico.

- **Radio** (nuclide, isotopo) \Rightarrow etichetta che permette la visualizzazione dall'esterno
- **Composto** (farmaco, cellula, etc.) \Rightarrow vettore che determina la distribuzione *in vivo* e definisce l'esame

La medicina nucleare è una diagnostica per immagini che si basa su farmaci e non su macchine



Isotopi

Sono nuclei che hanno lo stesso numero atomico (Z), ma che presentano diverso numero di neutroni (N), e quindi diversa massa atomica (A).

$$A = Z + N$$

Esistono isotopi radioattivi e non.

Le forme maggiormente frequenti sono dette Isotopi Principali.

Gli isotopi hanno stesse proprietà chimiche (Z), ma diverse capacità fisiche, come ad esempio la capacità di emettere radiazioni.

Radiazioni gamma

Derivano dalla diseccitazione energetica di nuclei instabili che liberano l'energia in eccesso sotto forma di radiazioni gamma. I fotoni gamma come i fotoni X sono radiazioni elettromagnetiche: non hanno massa né carica e viaggiano alla velocità della luce (300000 km/sec).

Decadimento Beta negativo

Quando il nucleo è instabile per eccesso di neutroni, un neutrone in eccesso si trasforma in protone secondo la formula:



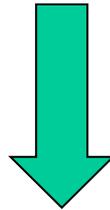
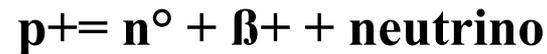
L'energia della particella β^{-} e dell'antineutrino è imprevedibile e si distribuisce **in uno spettro continuo** di valori secondo una modalità probabilistica, mentre quella del **fotone gamma è caratteristica per ogni radionuclide e può assumere solo livelli discreti di energia**

Lo Iodio 131 è un esempio.

Molto spesso dopo la produzione di una radiazione β^{-} , il nucleo persiste in uno stato eccitato instabile, cui fa seguito l'emissione di una radiazione gamma.

Decadimento Beta positivo

Quando il nucleo è instabile per difetto di neutroni, un protone in eccesso emette una particella β^+ , chiamata **positrone**, e si trasforma in neutrone secondo la formula:



annichilazione

Anche in questo caso lo spettro di emissione della radiazione β^+ è continua per la produzione di un neutrino.

Misura della radioattività

- **Il tempo di emivita:** è il tempo che deve trascorrere prima che la metà dei nuclei di un dato isotopo decada emettendo radiazioni.
Dopo 10 tempi di emivita si considera virtualmente decaduta tutta la dose.
- **L'attività** di un isotopo è definita come il numero di disintegrazioni/secondo di una certa quantità di radionuclidi.
Si misura in Bequerel o in Curie.
- Il radionuclide più utilizzato in medicina nucleare è il ^{99m}Tc . Esso ha un'emivita di 6 ore.

Misura della dose ed effetto biologico delle radiazioni

Dose assorbita: l'energia depositata in un organo divisa per la massa dell'organo stesso (Gy)

Dose Equivalente: misura radioprotezionistica in funzione del tipo di radiazione (ad es. LET).

Si intende la dose media ad un organo o tessuto moltiplicata per un fattore peso adimensionale (Sv)

Dose equivalente

TABLE 14.2. Quality factors for different radiations.

Type of radiation	QF
X-rays, γ -rays, β -particles	1.0
Neutrons and protons	10.0
α -Particles	20.0
Heavy ions	20.0

Misura della dose ed effetto biologico delle radiazioni

Dose assorbita: l'energia depositata in un organo divisa per la massa dell'organo stesso (Gy)

Dose Equivalente: misura radioprotezionistica in funzione del tipo di radiazione (ad es. LET).

Si intende la dose media ad un organo o tessuto moltiplicata per un fattore peso adimensionale (Sv)

Dose Efficace: la sommatoria della dose equivalente ai vari tessuti e organi irradiati, moltiplicata per un fattore peso adimensionale che esprime la diversa sensibilità dei tessuti (si misura in Sv).

La combinazione di probabilità di danno e del relativo grado di severità è definito **detrimento**.

TABLE 14.6 Effective doses from various radiopharmaceuticals in nuclear medicine

Radiopharmaceuticals	Effective dose ^a	
	rem/mCi	mSv/MBq
^{99m} Tc-pertechnetate	0.048	0.013
^{99m} Tc-sestamibi (exercise)	0.030	0.008
^{99m} Tc-MAA	0.004	0.001
^{99m} Tc-tetrofosmin (exercise)	0.026	0.007
^{99m} Tc-DTPA aerosol	0.022	0.006
^{99m} Tc-MDP	0.022	0.006
^{99m} Tc-red blood cell (RBC)	0.026	0.007
^{99m} Tc-iminodiacetic acid (IDA) derivatives	0.063	0.017
^{99m} Tc-DTPA	0.019	0.005
^{99m} Tc-dimercaptosuccinic acid (DMSA)	0.033	0.009
^{99m} Tc-sulfur colloid	0.033	0.009
^{99m} Tc-white blood cell (WBC)	1.330	0.36
^{99m} Tc-HMPAO	0.033	0.009
^{99m} Tc-ECD	0.041	0.011
^{99m} Tc-glucoheptonate	0.019	0.005
^{99m} Tc-MAG3	0.026	0.007
¹¹¹ In-WBC	0.133	0.036
¹¹¹ In-DTPA	0.078	0.021
¹¹¹ In-pentetreotide	0.185	0.050
¹²³ I-NaI (35 % uptake)	0.814	0.220
¹³¹ I-NaI (35 % uptake)	88.80	24.00
²⁰¹ Tl-TlCl	0.814	0.22
¹⁸ F-FDG	0.070	0.019
⁶⁷ Ga-citrate	0.370	0.100
¹²³ I-MIBG	0.048	0.013
¹³¹ I-MIBG	0.052	0.014
⁸² Rb-RbCl	0.013	0.003

TABLE 14.5. Tis

Tissue
Gonads
Breast
Thyroid
Bone surfaces
Bone marrow (red)
Lung
Colon
Stomach
Bladder
Liver
Esophagus
Skin
Remainder
Total Body

Total Body
Remainder
Skin
Esophagus

⁸²Rb-RbCl

0.013

0.003

Dose efficace

	Indagine	Dose (E) mSv	Attività* (MBq)	Dose (E) mSv/MBq
Scin (^{99m} Tc)	SPECT cerebrale (^{99m} Tc-HMPAO)	6.9	740	0.0093
Scin	SPECT cerebrale (^{99m} Tc-ECD)	5.7	740	0.0077
Scin	Scintigrafia tiroidea (^{99m} Tc-pertecn.)	1.9	150	0.013
Scin	Scintigrafia paratiroidi (^{99m} Tc-sestamibi)	6.7	740	0.009
Scin	Scintigrafia miocardica stress-rest (^{99m} Tc-sestamibi, protocollo 1-day)	12.4	370 + 1110	0.0085
Leu	Scintigrafia miocardica stress-rest (^{99m} Tc-sestamibi, protocollo 2-day)	12.5	740 + 740	0.0085
Leu	Scintigrafia miocardica stress-rest (^{99m} Tc-tetrofosmina)	11.1	370 + 1110	0.0076

Radioprotezione

I principi ispiratori

Predisposizione di
emergenze nucleari o
radiologiche

Giustificazione

Nessun individuo deve
essere sottoposto a
rischi inaccettabili

**Proteggere
l'uomo e
l'ambiente dagli
effetti delle
radiazioni
ionizzanti**

Responsabilità del
gestore e di chi svolge
attività

Protezione di ambiente e
popolazioni future

Ottimizzazione

ISTITUZIONE dell'ICRP



ICRP

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION

Istituita al 2° Congresso Internazionale di Radiologia (Stoccolma 1928), come Commissione dell'ISR, con compiti di Radioprotezione Medica

ESPOSIZIONE A RADIAZIONI IONIZZANTI

L'esposizione alle radiazioni ionizzanti può essere classificata in 3 diverse categorie:

- professionale
- medica
- del pubblico in generale

Per **esposizione professionale** si intende quella a cui sono soggetti i lavoratori nel corso e come conseguenza del proprio lavoro.

Per **esposizione medica** si intende quella subita dalle persone come conseguenza di procedure diagnostiche e trattamenti medici.

La **popolazione** può infine essere esposta alle radiazioni ionizzanti anche per cause diverse da quella professionale e medica, basti pensare all'esposizione dovuta al fondo naturale, al radon e alle attività umane (vicinanza ad impianti industriali o strutture mediche che utilizzano sorgenti di radiazioni ionizzanti).

Managing Radiation Use in Medical Imaging: A Multifaceted Challenge¹

Figure 1

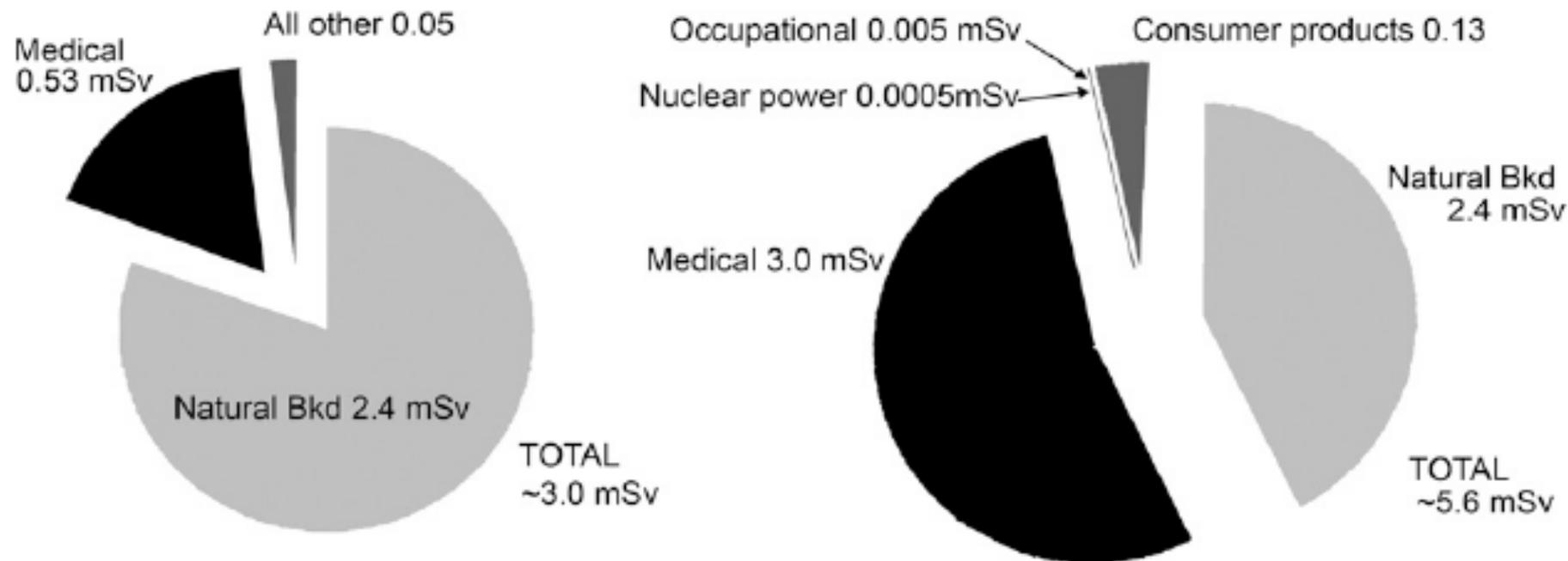
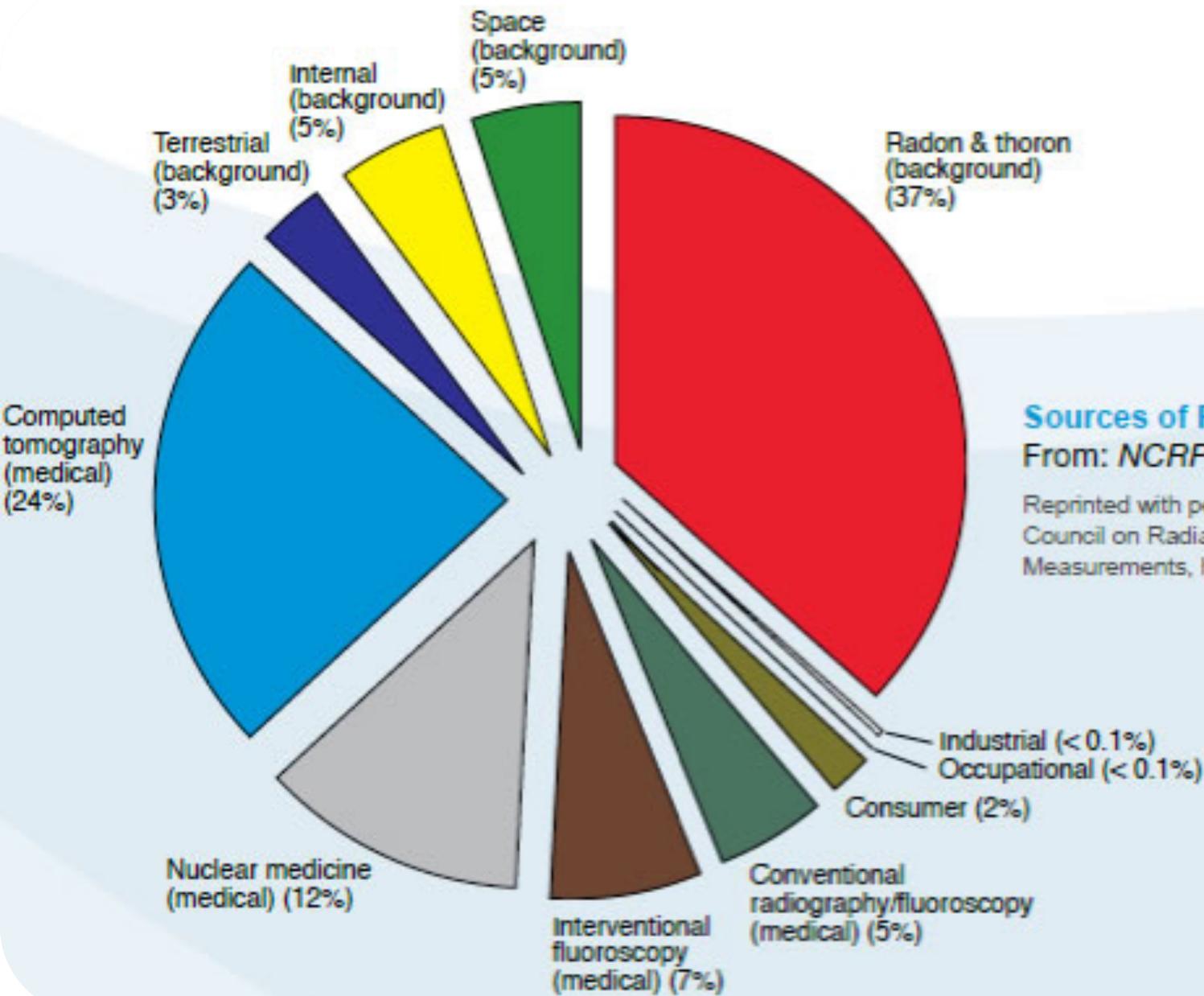


Figure 1: U.S. annual per-capita effective radiation dose from various sources. Left: Chart for 1980. Right: Chart for 2006. *Bkd* = background. (Adapted from reference 10.)



Sources of Radiation Exposure From: *NCRP Report No. 160*

Reprinted with permission of the National Council on Radiation Protection and Measurements, <http://NCRPonline.org>



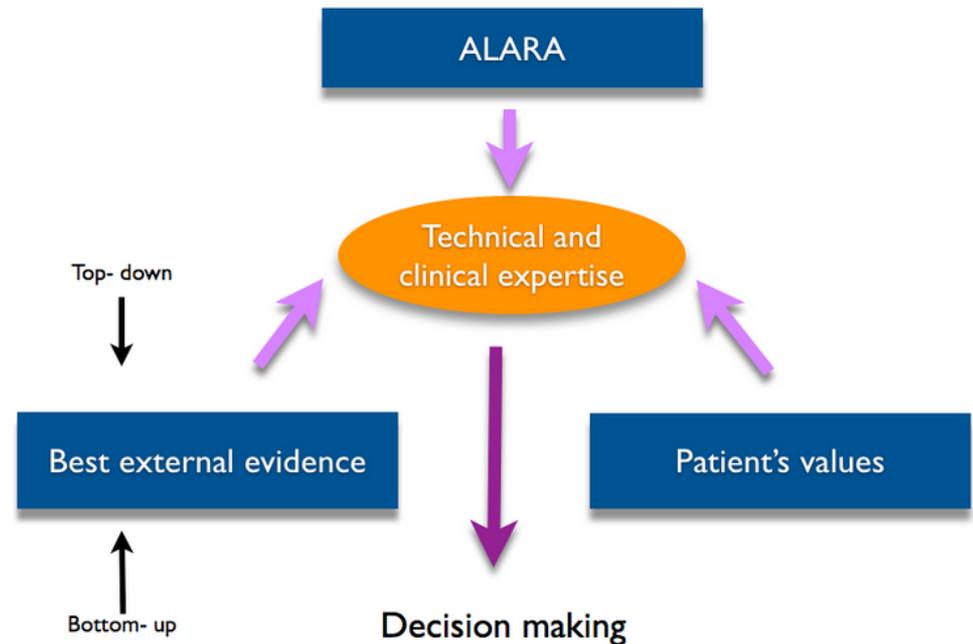
I mass media e la comunicazione del rischio radiologico

G. Kraft

Indice dei contenuti

- 10.1 Cartelloni pubblicitari
- 10.2 Radio
- 10.3 Internet
- 10.4 Quotidiani e riviste
- 10.5 Cinema
- 10.6 Televisione
- Letture consigliate

Evidence based Radiology



EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI

Gli effetti biologici delle radiazioni si articolano e sviluppano in quattro fasi:

- Fisica (ionizzazione)
- Fisico - chimica (radicali liberi)
- Chimica (interazione radicali)
- Biologica (trasferimento delle modifiche chimiche ai sistemi biologici)

Gli effetti possono essere di due tipi:

- ✓ temporanei (intervento dei meccanismi di riparazione)
- ✓ permanenti :
 - somatici (confinamento dell'effetto)
 - genetici (conseguenze sulla prole)

Danni somatici (confinati all'individuo irradiato)

Stocastici : tumori solidi, leucemie

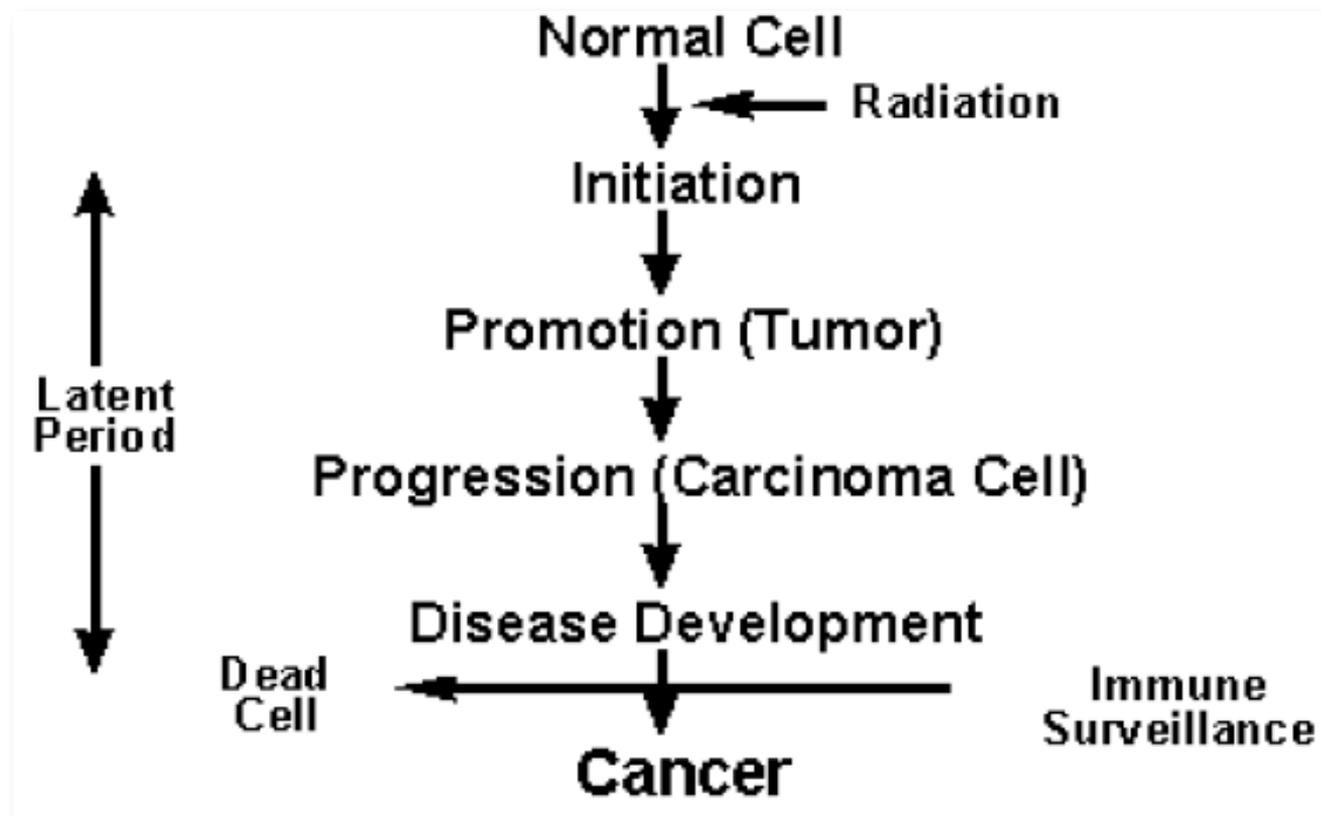
Deterministici : radiodermiti, cataratta, infertilità, sindrome acuta da irradiazione, aplasia midollare

Danno genetico (trasferimento alle progenie)

Stocastici : mutazioni genetiche, aberrazioni cromosomiche

Tumori e radiazioni

cancerogenesi



MECCANISMI DI INTERAZIONE CON LA MATERIA

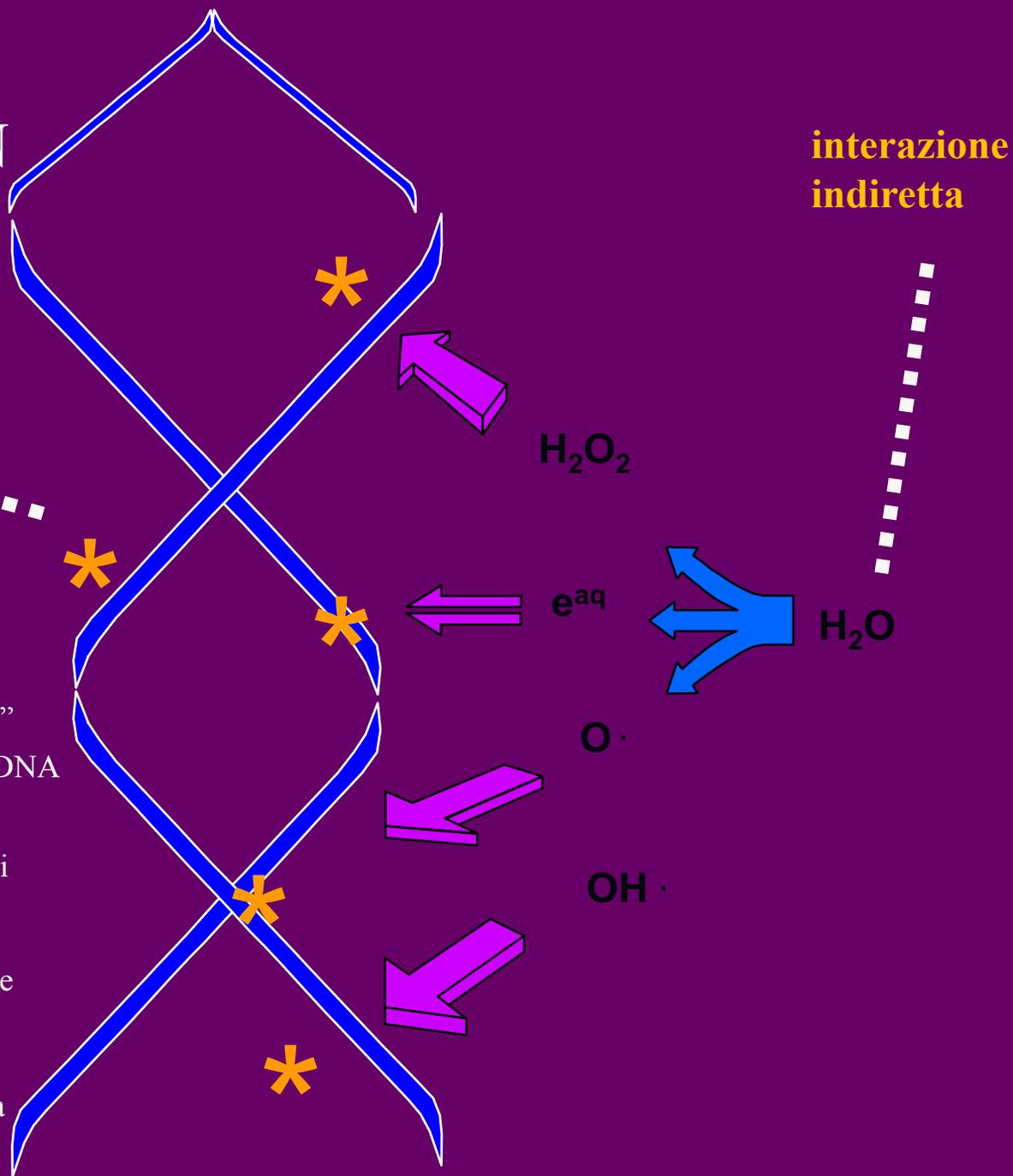
**interazione diretta
fotone-DNA**

Effetto diretto

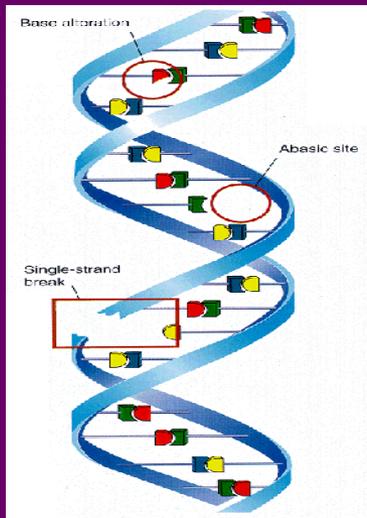
- interazione diretta con molecole “biologiche”
- rottura legami nella catena nucleotidica del DNA

Effetto indiretto

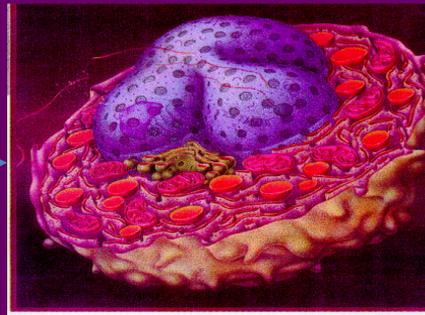
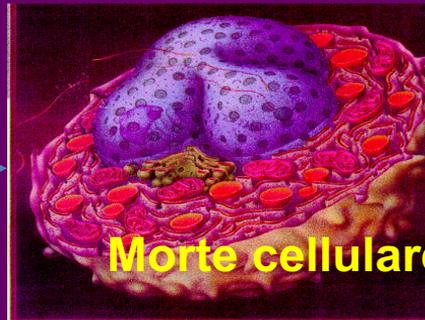
- interazione con le molecole di acqua presenti nella cellula
- produzioni radicali liberi (ROS)
 - fissazione radicali su molecole biologiche
 - induzione rottura legami chimici
 - induzione legami anomali
 - alterazione della struttura della molecola
 - alterazione della funzione legata alla molecola danneggiata



DANNO CELLULARE



Mutazione del DNA



Radiosensibilità

Fattori che influenzano il danno

- dose erogata
- LET
- Struttura chimica della cellule (radicali liberi)
- Fase di replicazione

Radiosensibilità

Fattori che influenzano il danno

Effetto bystander

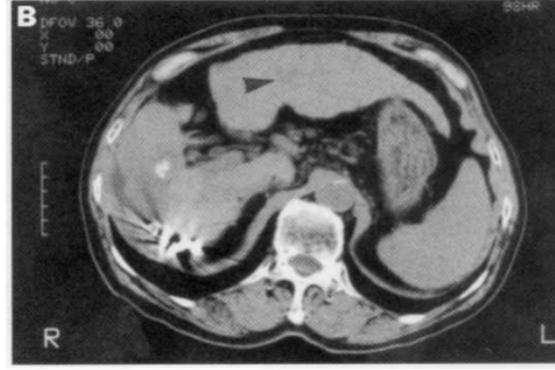
Instabilità cromosomica

Risposta adattativa

Abscopal Effects:

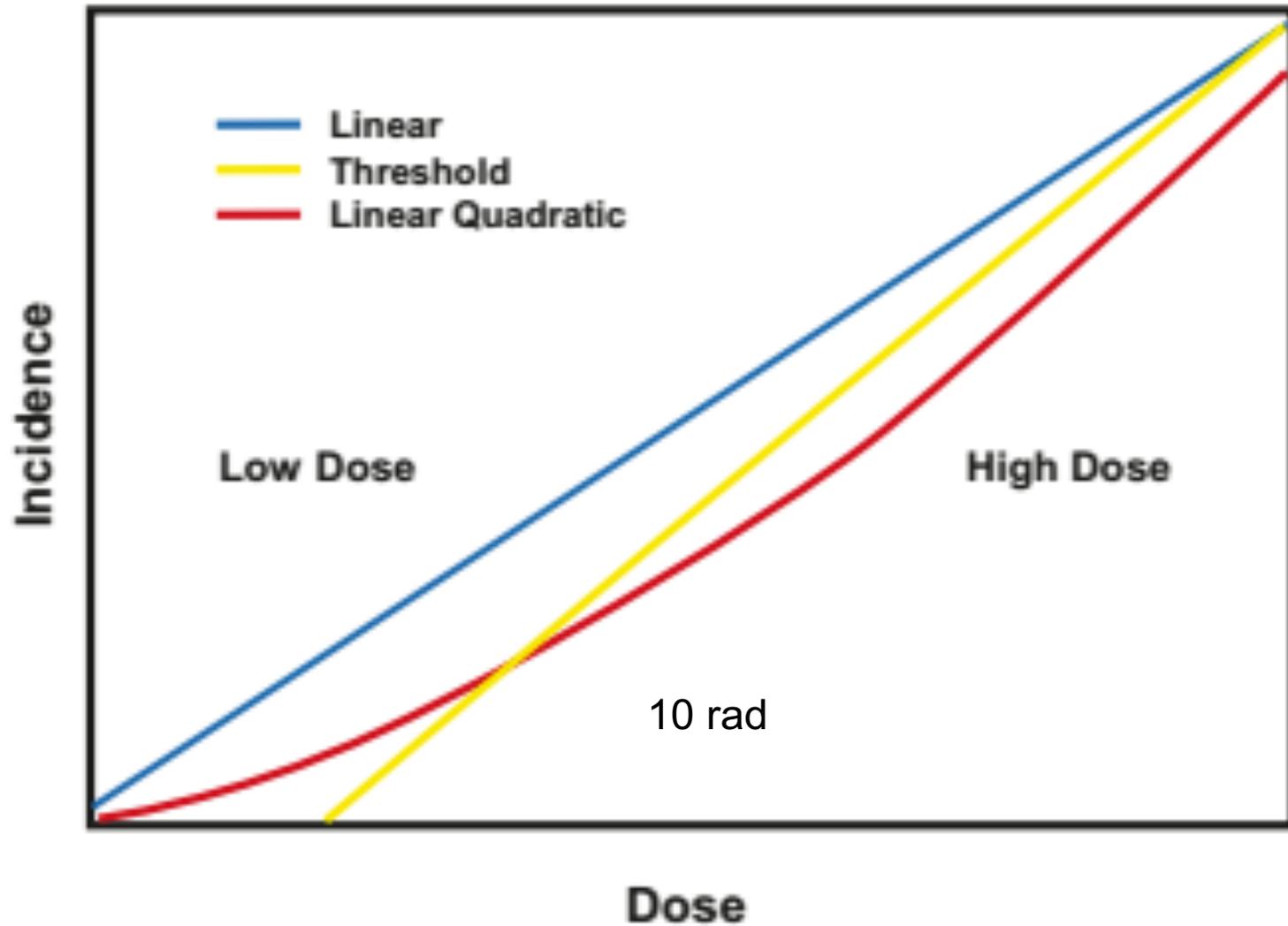
76 year old male with back pain
Thoracic and abdominal CT scans
thoracic vertebral bone metastasis and
hepatocellular carcinoma
36Gy to the bone mass
regression of hepatic lesions

Ohba et al. Gut 43, 575-577, (1998)



Retrospective analysis of serum concentrations of IL-1 beta, IL-2, IL-4, IL-6, HGF, and TNF-alpha

Tumori e radiazioni



Tumori e radiazioni

La probabilità di accadimento di un tumore fatale, considerando l'intera popolazione, viene stimata dall'ICRP 60 a **$10 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$** .

Nel caso di basse dosi (<di 0.2 Gy) o basso rateo di dose (<0.1 Gy per ora) si applica un fattore di riduzione (DDREF) di 2, perché in queste condizioni di irradiazione i processi di riparazione del DNA hanno possibilità e tempo di intervenire, per lo meno parzialmente.

Un coefficiente di **$5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$** (5 centesimi di Sv) esprime il manifestarsi di circa **500 tumori maligni in una popolazione di 1 milione di persone esposte a 1 centiSievert.**

L'esposizione di una persona a 1 mSv comporterebbe perciò una “probabilità” di cancro fatale di 50 su un milione (cinque su centomila, **una su ventimila**).

Questo rischio di morte è quello che può aversi fumando 75 sigarette o percorrendo 2500 miglia in automobile

Sulla base dei dati sperimentali relativi ad alte dosi e assumendo una relazione lineare dose-effetto, si ricava l' **indice di rischio globale (RIM)**

$RIM = 1.65 \cdot 10^{-2}$ eventi gravi per Sv ricevuto

Distinto rispettivamente in:

$1.25 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ per la cancerogenesi

$0.4 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ per gli effetti ereditari

Un tecnico che assume 0.2 mSv/anno:

Poiche' il periodo lavorativo e' pari a 50 anni, la Dose totale assunta nell' arco dell' intero periodo lavorativo varra' :

$$H = [0.2 \text{ mSv/anno}] \cdot [50 \text{ anni}] = 10 \text{ mSv} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}$$

$$P = H \cdot RIM = 1.6 \cdot 10^{-4}$$

Cioe' , in media, solo un tecnico su sedicimila si ammala.

Equivale ad aver fumato in tutta la vita solo 90 sigarette !!

**Confronto tra rischi diversi
in termini di Vita Persa (giorni)**

Da J Cormack et al 1994

Fumo (>20 sig./die)	2441
Cardiopatìa	1607
Obesità (sovrappeso >15%)	777
Abuso alcool	365
Uso abituale automobile	205
Uso abituale aereo	64
Fulmine	1,1

rischio da radiazioni in caso di sc.miocardica

	Rischio (di ev. detrimental)	Vita persa
Giovani (20-30 anni)	1: 1100*	4.9 giorni*
Età media (30-60 anni)	1: 2800	2 giorno
Anziani (60-70 anni)	1: 4170	1,3 giorni
Vecchi (70-80 anni)	1: 10400	12,6 ore

**Valori per gli uomini. Per le donne giovani si sale a 1: 900 e a 6,2 giorni di vita persa.*

Radioprotezione in medicina nucleare

- Tipologia della radiazione (prevalentemente gamma ad elevata penetranza)
- Effetto della radiazione (stocastico > deterministico)
- Quantità della radiazione somministrata
- Persistenza nell'organismo (emivita biologica)
- Emivita fisica

ESPOSIZIONE A RADIAZIONI IONIZZANTI

L'esposizione alle radiazioni ionizzanti può essere classificata in 3 diverse categorie:

- professionale
- medica
- del pubblico in generale

Per **esposizione professionale** si intende quella a cui sono soggetti i lavoratori nel corso e come conseguenza del proprio lavoro.

Per **esposizione medica** si intende quella subita dalle persone come conseguenza di procedure diagnostiche e trattamenti medici.

La **popolazione** può infine essere esposta alle radiazioni ionizzanti anche per cause diverse da quella professionale e medica, basti pensare all'esposizione dovuta al fondo naturale, al radon e alle attività umane (vicinanza ad impianti industriali o strutture mediche che utilizzano sorgenti di radiazioni ionizzanti).

Radioprotezione in medicina nucleare

il paziente ed il flusso della prestazione

1. Accettazione in sala attesa fredda
2. Anamnesi e giustificazione
3. Preparazione della dose radioattiva
4. Somministrazione
5. Attesa calda
6. Acquisizione esame
7. Allontanamento
8. Refertazione

Radioprotezione in medicina nucleare **il paziente**

GIUSTIFICAZIONE

L'ESPOSIZIONE MEDICHE DEVONO ESSERE GIUSTIFICATE DAI VANTAGGI APPORTATI ALLA SALUTE DEL PAZIENTE RISPETTO AL DANNO CHE L'ESPOSIZIONE POTREBBE CAUSARE



RISCHIO/BENEFICIO

Radioprotezione in medicina nucleare **il paziente**

OTTIMIZZAZIONE

OGNI ESPOSIZIONE ALLE RADIAZIONI IONIZZANTI DEVE ESSERE MANTENUTA A LIVELLO PIU' BASSO RAGIONEVOLMENTE OTTENIBILE, COMPATIBILMENTE AL RAGGIUGIMENTO DELL'INFORMAZIONE DIAGNOSTICA RICHIESTA.



DOSE/QUALITA'

Radioprotezione in medicina nucleare **il paziente**

OTTIMIZZAZIONE

PROGRAMMA DI GARANZIA DI QUALITA' DELLE PRESTAZIONI

- **controlli di qualità**
- **aggiornamento tecnologico**
- **Verifica LDR**
- **Scelta radiofarmaco ed isotopo**

CONTROLLI DI QUALITA' GIORNALIERI

Nell'ambito dei CQ di un tomografo PET il CQG rappresenta uno strumento molto importante nella gestione operativa del sistema PET proprio per la frequenza con cui questo controllo deve essere eseguito.

La procedura per il CQG dovrebbe permettere di:

- Verificare il corretto funzionamento delle principali componenti del tomografo.
- Identificare variazioni significative nella risposta di singoli rivelatori.
- Identificare variazioni significative nella risposta globale del sistema.
- Ottimizzare le prestazioni del sistema prima dell'inizio dell'attività clinica.

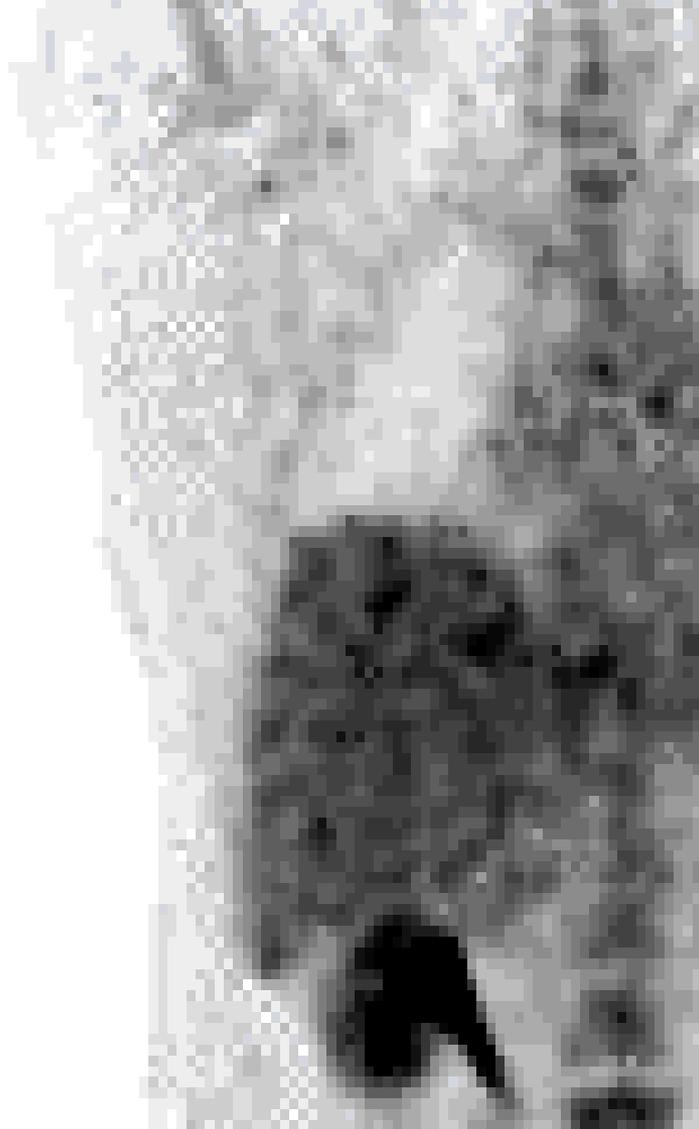
E' inoltre necessario che il CQG sia definito e realizzabile in modo tale da risultare:

Di pratica e semplice esecuzione.

Di semplice interpretazione per quanto riguarda i risultati da esso prodotti .

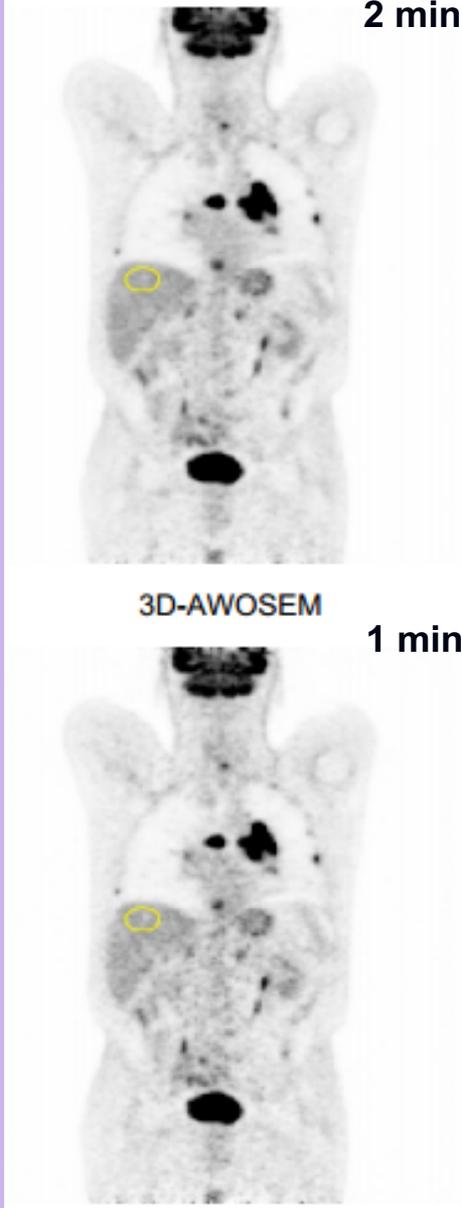
INNOVAZIONE TECNOLOGICA E RIDUZIONE DELLA DOSE

2D FDG-PET 370 MBq di F18



RS: 5 mm FBP

3D FDG-PET CT con 124 MBq di F18



HD (2mm) TOF+ psf correction

VALUTAZIONE DOSE-PAZIENTE



**CI CONSENTE DI OTTENERE UN POSSIBILE
COMPROMESSO FRA DOSE IMPIEGATA E STATUS
DEL PAZIENTE**

VALUTAZIONE DOSE-PAZIENTE

- MAGGIORE COLLABORAZIONE DEL PAZIENTE

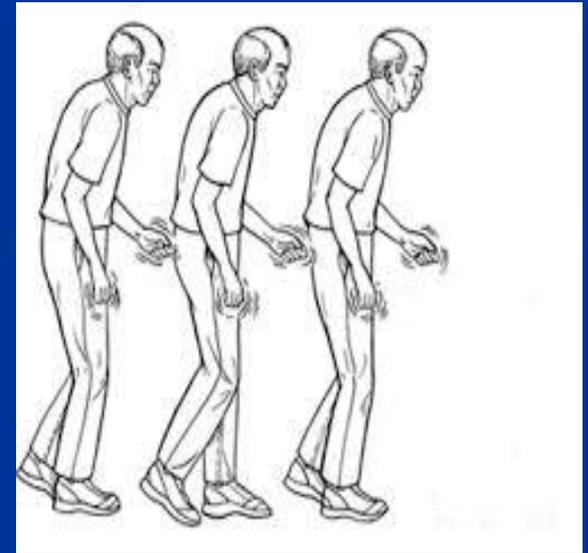
- MINORE DOSE INIETTATA



- MAGGIORE TEMPO D' ACQUISIZIONE

VALUTAZIONE DOSE-PAZIENTE

- MINORE COLLABORAZIONE DEL PAZIENTE
- MAGGIORE DOSE INIETTATA
- MINORE TEMPO D' ACQUISIZIONE



Radioprotezione in medicina nucleare

la popolazione

Irradiazione dell'impianto

Irradiazione dal pz dimesso

Rifiuti radioattivi

Emergenze dell'impianto

Istruzioni di dimissione al paziente per garantire radioprotezione dei familiari del paziente

Per la quasi totalità degli esami diagnostici basta osservare per 24 ore

- più di 1 metro di distanza dalle persone
- Dopo essere andato in bagno il pz deve lavare abbondantemente le mani per evitare contaminazioni
- Evitare il contatto fisico diretto con i bambini
- Evitare contatti con donne in gravidanza

Radioprotezione in medicina nucleare **il lavoratore**

Irradiazione esterna

tipicamente legata alla manipolazione di sorgenti non sigillate

Irradiazione interna

Ingestione o inalazione di sorgenti radioattive non sigillate

sigillate

Impiego in ambito sanitario

Il rischio di irradiazione esterna ed interna dipende:

- dal tipo e forma del radioisotopo utilizzato;**
- dalla quantità di attività manipolata;**
- dal tempo di manipolazione o trascorso vicino a una sorgente;**
- Dallo stato di pulizia degli ambienti del personale**

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.**

Rischio da esposizione interna

Fonti di contaminazione dell'aria

- eventuale evaporazione dei preparati radioattivi durante la loro preparazione
- eventuale risospensione della contaminazione presente sulle superfici di lavoro
- eventuale espirato dei pazienti (^{131}I)

RADIOPROTEZIONE IN MEDICINA NUCLEARE

Protezione da irradiazione interna

Preferenza nella manipolazione dei radionuclidi in celle dedicate per evitare l'inalazione durante il frazionamento (flusso laminare)

Utilizzare i presidi di sicurezza atti ad evitare/limitare contaminazioni derivanti da superfici di lavoro o da frazionamento (guanti monouso)

Radioprotezione in medicina nucleare

il lavoratore

Tabella 5 - Limiti di dose per i lavoratori esposti e per la popolazione previsti dal D.Lgs. 230 e s.m.i.

GRANDEZZA	LIMITI PER LAVORATORI (mSv / anno)	LIMITI PER LA POPOLAZIONE (mSv / anno)
Dose efficace <i>singolo anno</i>	20	1
Dose equivalente <i>cristallino dell'occhio</i>	150	15
<i>pelle</i>	500	50
<i>mani e piedi</i>	500	

Radioprotezione in medicina nucleare

il lavoratore

- categoria A, comprendente i lavoratori esposti suscettibili di superare uno dei seguenti valori in un anno:
 - 6 mSv di dose efficace
 - i tre decimi dei limiti di dose fissati per cristallino, pelle, mani avambracci piedi e caviglie
- categoria B, comprendente i lavoratori esposti non classificati in Categoria A;

Radioprotezione in medicina nucleare il lavoratore

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

520-222	12 - 30	10 - 40
---------	---------	---------

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

Radioprotezione in medicina nucleare

Le aree

Zona controllata

- 6 mSv/anno per esposizione globale o di equivalente di dose efficace;
- 45 mSv/anno per il cristallino;
- 150 mSv/anno per la pelle, mani, avambracci, piedi, caviglie.

Zona sorvegliata

- 1 mSv/anno per esposizione globale o di equivalente di dose efficace;
- 15 mSv/anno per il cristallino;
- 50 mSv/anno per la pelle, mani, avambracci, piedi, caviglie.

Radioprotezione in medicina nucleare **il lavoratore**

Protezione dall'irradiazione esterna

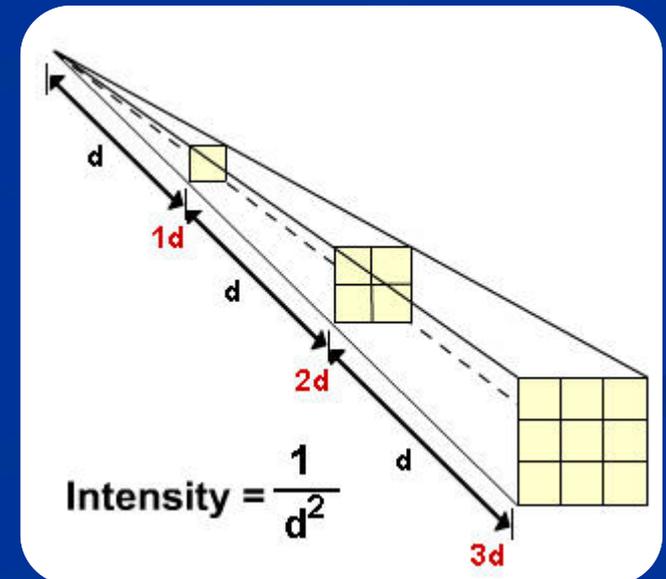
- Distanza
- Tempo di esposizione
- Schermature

RADIOPROTEZIONE IN MEDICINA NUCLEARE

Protezione dall'irradiazione esterna

DISTANZA

**L'INTENSITA' SEGUE LA LEGGE
DELL' INVERSO DEL QUADRATO
DELLA DISTANZA**



RADIOPROTEZIONE IN MEDICINA NUCLEARE

Protezione dall'irradiazione esterna

Tempo di esposizione

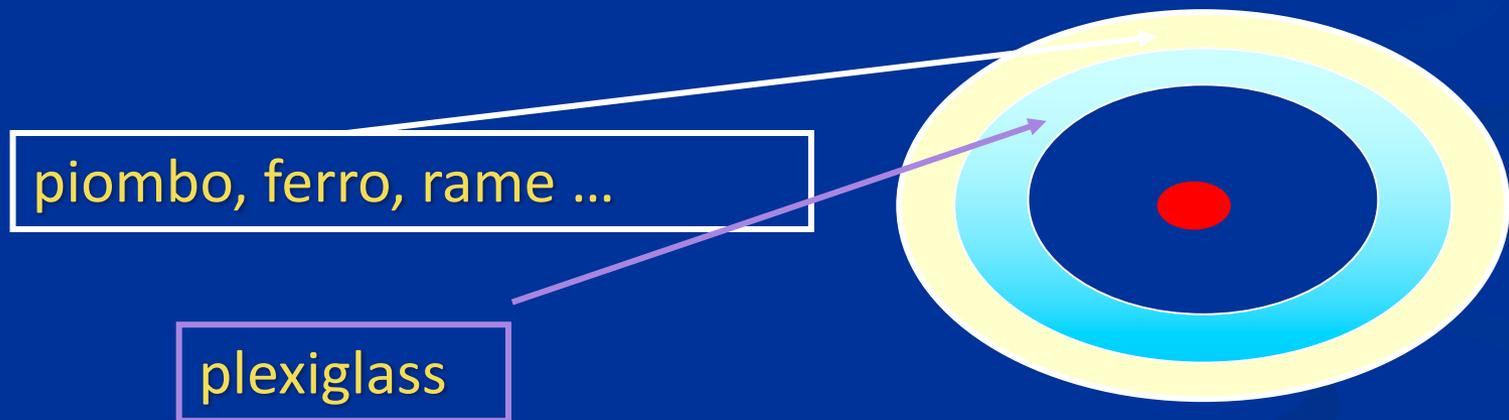
**La quantità di radiazioni ricevuta,
a parità di condizioni di esposizione,
è direttamente proporzionale al tempo
trascorso
in prossimità della sorgente**



RADIOPROTEZIONE IN MEDICINA NUCLEARE

Protezione dall'irradiazione esterna

SCHERMATURE



A secondo del radionuclide utilizzato bisogna utilizzare il giusto materiale

RADIOPROTEZIONE IN MEDICINA NUCLEARE

Protezione dall'irradiazione esterna

Principali caratteristiche

Presenza di vari spessori di piombo al fine di garantire un rateo di dose inferiore ad $2.5 \mu\text{Sv/h}$

CELLA CON SISTEMA DI VENTILAZIONE
A FLUSSO LAMINARE VERTICALE
DI CLASSE II TIPO B1 O B2
AL FINE DI LIMITARE L' IRRADIAZIONE INTERNA



Cella di manipolazione

IL RUOLO DEL TSRM NELLA RADIOPROTEZIONE

Protezione dall'irradiazione esterna

FRAZIONATORE DI DOSE AUTOMATICO

PRINCIPALI CARATTERISTICHE

REALIZZATO IN ACCIAIO INOX E PIOMBO PER
IL FRAZIONAMENTO IN SIRINGHE DOSATE DAL VIAL
MADRE CONTENENTE IL RADIOFARMACO

SISTEMA DI VENTILAZIONE A FLUSSO LAMINARE
VERTICALE SU TUTTA L'AREA DI LAVORO
AL FINE DI LIMITARE L'IRRADIAZIONE INTERNA

IL FRAZIONATORE DEVE ESSERE CONFORME ALLE NORME
PREVISTE SULLA LIMITAZIONE DI DOSE AL PERSONALE



DPI

“Si intende per dispositivo di protezione individuale qualsiasi attrezzatura destinata ad essere indossata e tenuta dal lavoratore allo scopo di proteggerlo contro uno o più rischi suscettibili di minacciarne la sicurezza o la salute durante il lavoro, nonché ogni complemento o accessorio destinato a tale scopo”

(Art. 74 del D.Lgs 81/07)

DPI

Camici piombati

Diversi spessori

0.25 mm

0.35 mm

0.5 mm



DPI

DISPOSITIVI PROTEZIONE



Schermature per siringhe

In piombo, a forma cilindrica con foro centrale



Contenitore schermato per trasporto siringhe

In conclusione ...

LA MIGLIOR RADIOPROTEZIONE PER UN PZ DI
MED NUCLEARE è.....EVITARE ESAMI NON
ASSOLUTAMENTE NECESSARI.

Grazie