

*Rischi da radiazioni ionizzanti
nella pratica odontoiatrica*

Versione ridotta



Francesco Fontana

fisico n. 3808/A/Lombardia
fisico sanitario ed ospedaliero
esperto radioprotezione n. 621/II

D.Lgs. 31/7/2020, n. 101, art. 111

Se svolto secondo i criteri previsti per una formazione in FAD asincrono con test di verifica e attestato, questo corso assolve l'obbligo (ex art. 111, comma 2) della «sufficiente e adeguata formazione in relazione alle mansioni cui sono addetti» sui rischi connessi all'attività con radiazioni ionizzanti per i lavoratori «non esposti» dell'ambito odontoiatrico. L'obbligo, nel rispetto dei contenuti fissati dal comma 3, si considera assolto senza la necessità di addestramento specifico. In presenza di modifiche nell'attività radiologica che cambino sostanzialmente il rischio di esposizione si effettuerà aggiornamento della formazione.

D.Lgs. 81/2008

Il corso da solo non assolve l'obbligo previsto dall'art. 37 del D.Lgs. 9/4/2008, n. 81 (non è conforme all'All. A dell'Accordo per la formazione dei lavoratori ai sensi dell'art. 37, comma 2) ma ne costituisce la parte specifica per i rischi da radiazioni ionizzanti (ex art. 180, comma 3)

D.Lgs. 101/2020, Titolo XIII

Il corso non concorre alla formazione obbligatoria ex art. 162 per il personale medico che effettua radiologia complementare all'esercizio clinico della professione

Il rischio radiologico

- **«Salute»**: stato di completo benessere fisico, mentale e sociale, non correlato necessariamente a un'assenza per malattia o a un'infermità
- **«Danno»**: perdita della condizione di salute come conseguenza diretta o indiretta di esposizione a un pericolo
- **«Pericolo»**: proprietà o qualità intrinseca di un determinato fattore avente il potenziale di causare danni
- **«Rischio»**: **probabilità** che si verifichino eventi che producano danni a persone o cose (ad es. un incendio, un crollo, ...), per effetto di una fonte (pericolo). È definito dal **prodotto della frequenza di accadimento per la gravità delle conseguenze (magnitudo)**

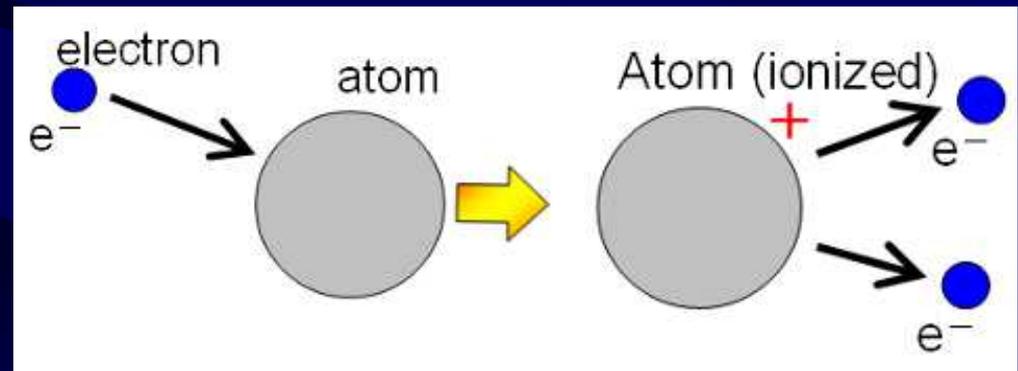
Il rischio radiologico

- **«Prevenzione»**: il complesso delle disposizioni o misure necessarie – anche secondo la particolarità del lavoro, l’esperienza e la tecnica – per evitare o diminuire i rischi professionali nel rispetto della salute della popolazione e dell’integrità dell’ambiente esterno
- **«Servizio di prevenzione e protezione dai rischi»**: insieme delle persone, sistemi e mezzi esterni o interni all’azienda finalizzati all’attività di prevenzione e protezione dai rischi professionali per i lavoratori
- **«Dispositivo di protezione individuale», DPI: 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

Radiazioni ionizzanti

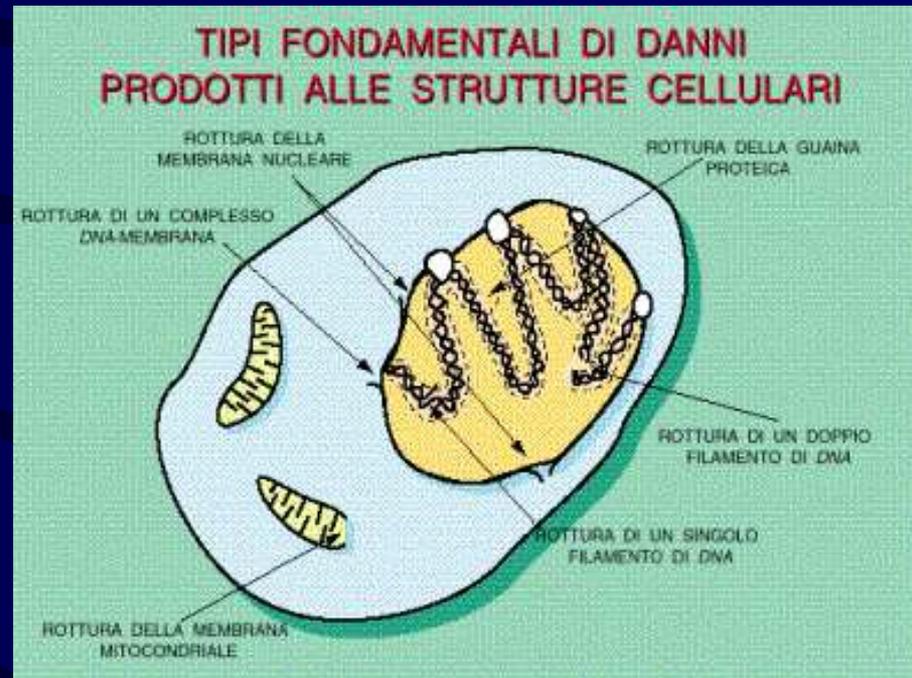
- Alcune radiazioni, come i raggi X prodotti dagli apparecchi radiologici odontoiatrici, possono penetrare nella materia e strappare elettroni dalle molecole che restano **“ionizzate”**; per questo si parla di radiazioni ionizzanti
- **Ioni positivi:** atomi o molecole che hanno perso un elettrone
- **Ioni negativi:** atomi o molecole che hanno catturato un elettrone

- Gli ioni **non sono stabili**
Tendono a reagire con altre molecole o ioni

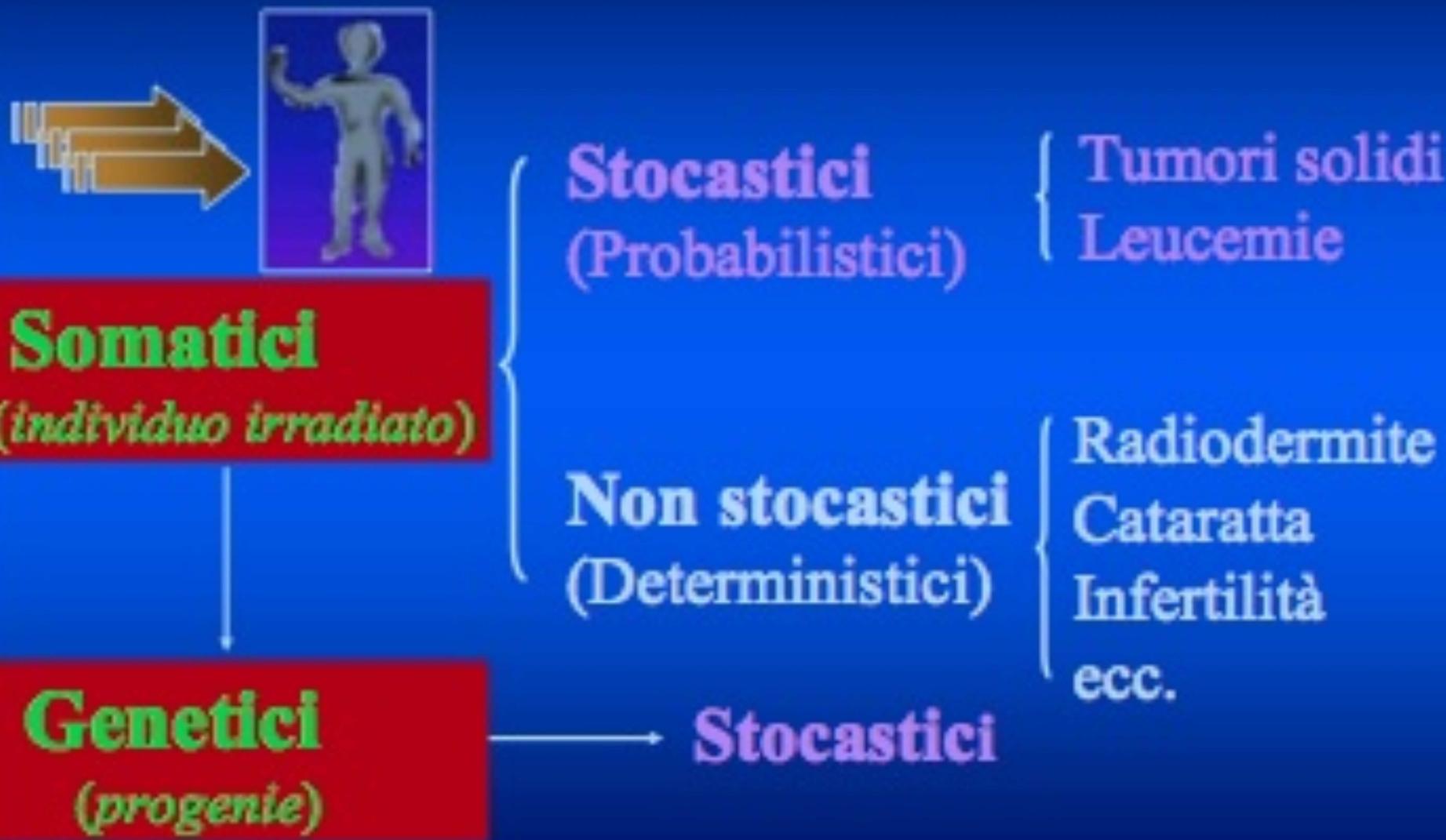


Danno cellulare

- **Ionizzazioni sono le prime responsabili del danno biologico**
- In tempi che variano da decine di minuti a decine di anni, producono alterazioni cellulari:
 - arresto o rallentamento del **processo di divisione cellulare**;
 - **modificazione cromosomica permanente** trasmessa alle cellule figlie (**mutazione genetica**);
 - **morte della cellula**
- Alle piccole dosi **le modificazioni cromosomiche sono le uniche responsabili dei danni biologici all'individuo**



Effetti biologici delle radiazioni ionizzanti



Somatici

(individuo irradiato)

Genetici

(progenie)

Stocastici
(Probabilistici)

Tumori solidi
Leucemie

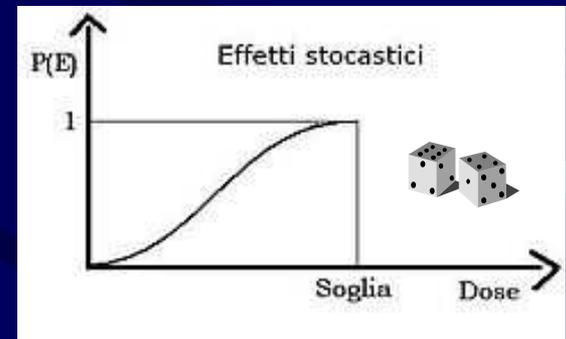
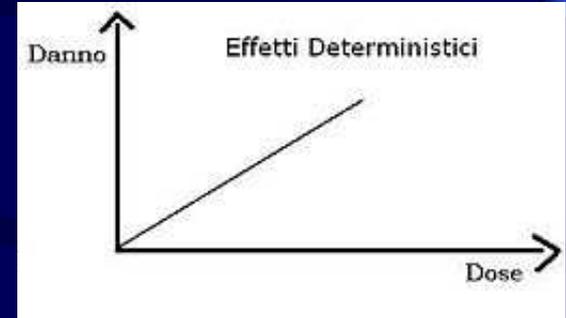
Non stocastici
(Deterministici)

Riodermite
Cataratta
Infertilità
ecc.

Stocastici

Danni somatici

- Sul corpo umano (= “*soma*”) irradiato:
 - **Danni somatici deterministici**: eritemi, alterazioni cutanee permanenti, lesioni di organi interni o al sangue e, per altissime dosi, la morte
 - Hanno una **soglia**
 - Colpiscono **tutti** coloro che hanno superato la soglia
 - Sono **precoci** (immediati)
 - Spesso sono **graduati (gravità legata alla dose)**
 - **Danni somatici tardivi**: (anche con dosi non elevate): leucemie, carcinomi o altre forme tumorali
 - Hanno **carattere probabilistico (= stocastico)**: probabilità legata alla dose

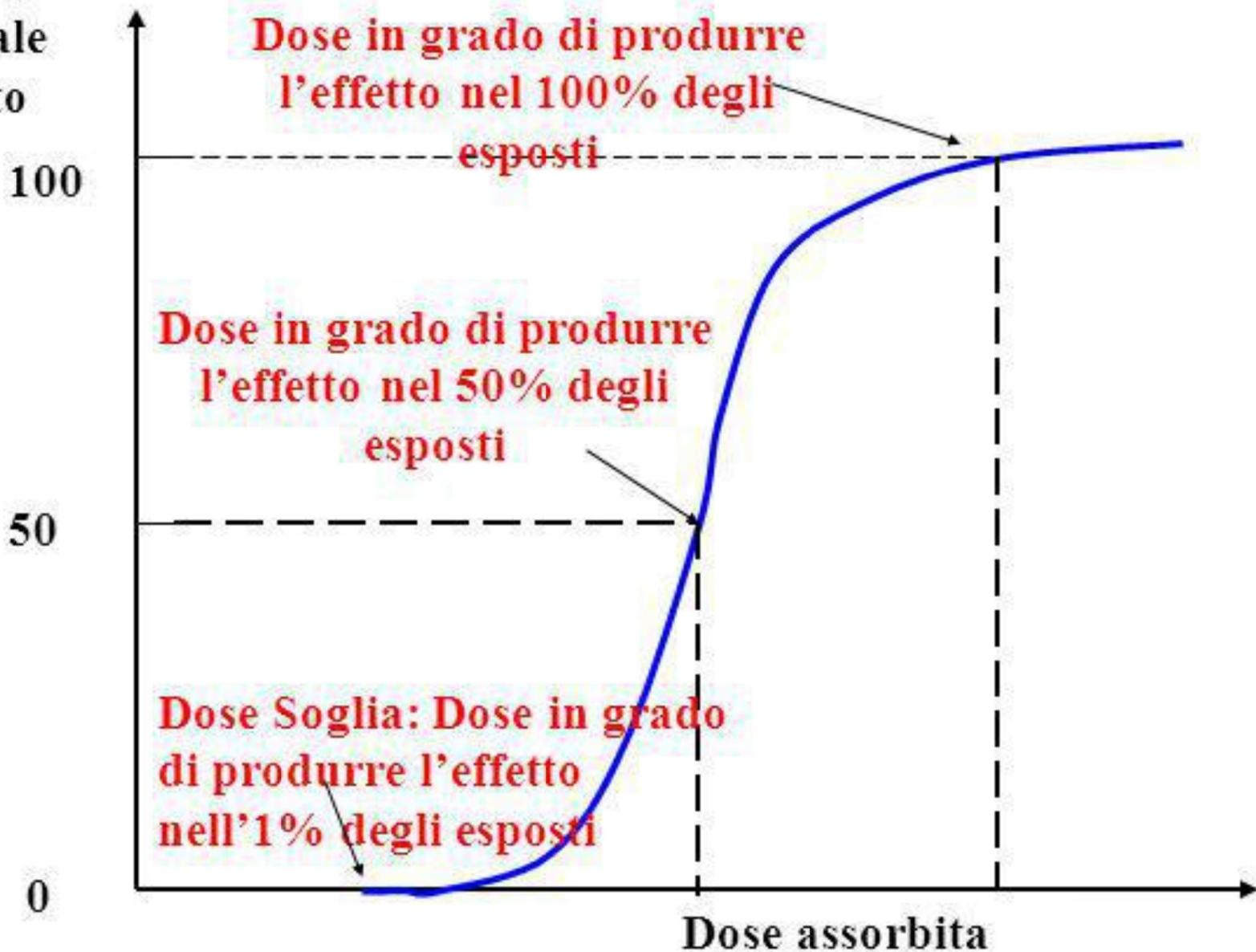


Danni genetici

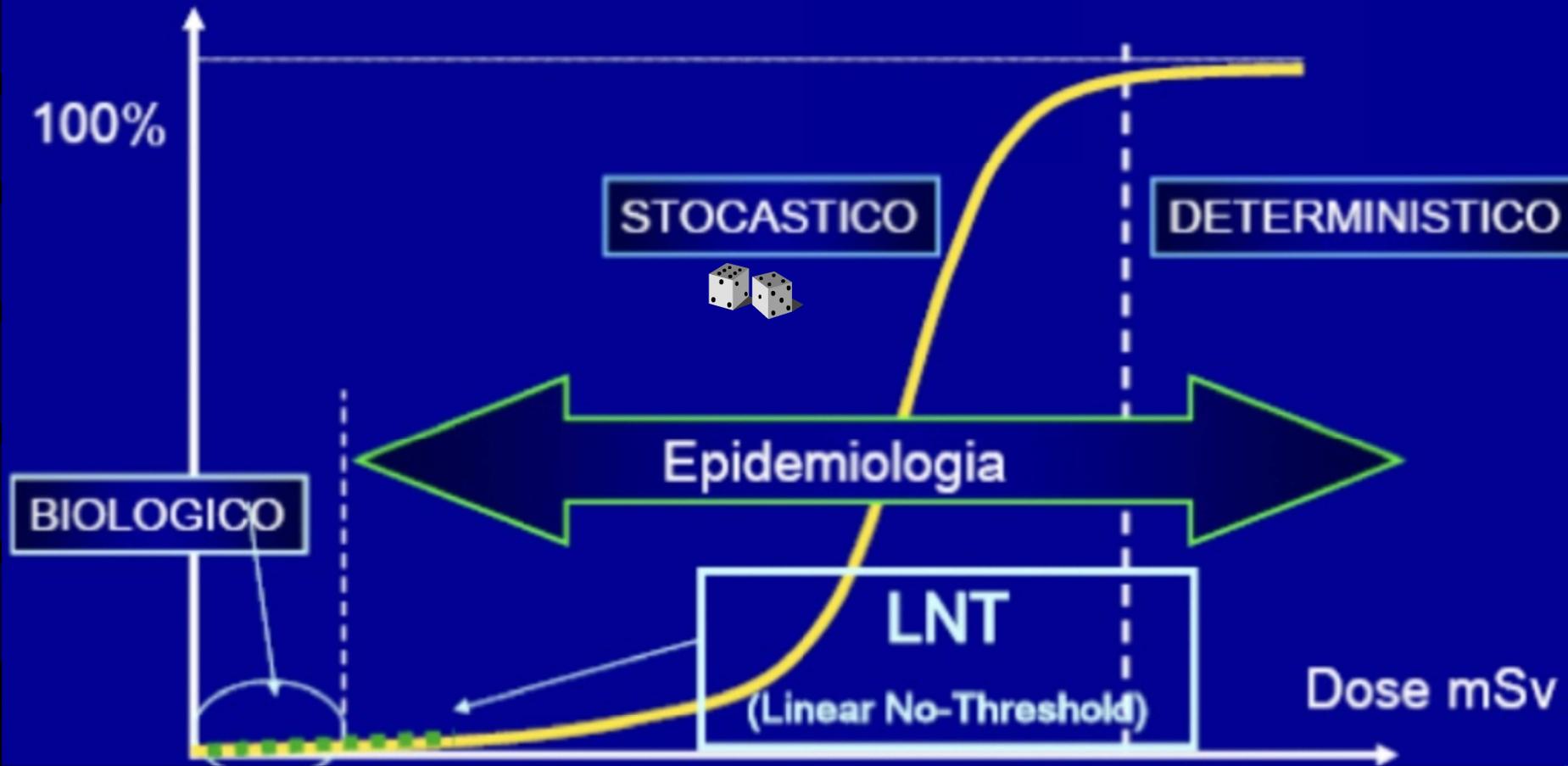
- *Sono i danni trasmessi ai discendenti*
 - maggiore frequenza di aborti e nati morti;
 - sterilità, o ridotta fertilità;
 - aumento del numero dei nati di sesso femminile;
 - aumento dei nati malformati.
- Da alterazioni cromosomiche nelle cellule dell'*apparato riproduttivo*
- Si manifestano con *carattere probabilistico*
- Si possono trasmettere anche alle *generazioni successive alla prima*



Frequenza
percentuale
dell'effetto



Probabilità di danno



- *Per gli effetti stocastici non sembra esistere una dose soglia sotto cui non vi è più alcun rischio o, se esiste, non si conosce*
- Quindi è opportuno ridurre al **minimo ragionevole** gli irraggiamenti al corpo umano

PROBABILITÀ DI DANNO

regione delle "basse dosi"

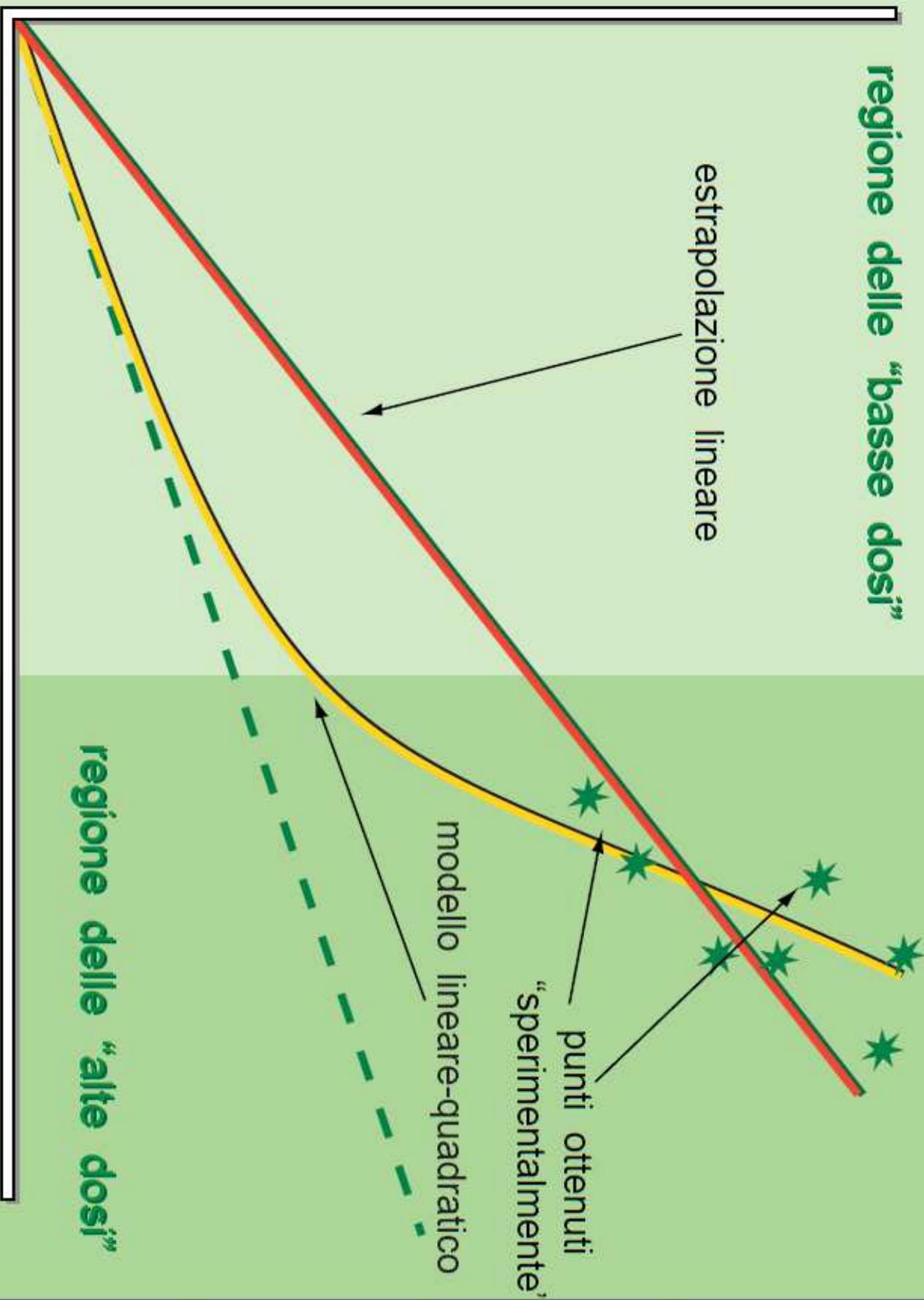
estrapolazione lineare

"punti ottenuti sperimentalmente"

modello lineare-quadratico

regione delle "alte dosi"

DOSE



Organi critici

- Organi o tessuti che **più frequentemente** (o **in grado maggiore**) possono subire danni da radiazioni
- Qualche esempio:
 - **cute:** radiodermiti o tumori;
 - **tessuti emopoietici:** diminuzione degli elementi figurati del sangue;
 - **gonadi:**
 - danni **somatici:** sterilità o diminuzione della fertilità;
 - danni **genetici:** aumento delle malattie ereditarie nei discendenti;
 - **cristallino:** cataratta.

La dose assorbita

- Il danno biologico dipende innanzitutto dalla concentrazione di energia rilasciata nella massa di un organo: *il danno dipende in primo luogo dalla dose assorbita*
- *Dose assorbita D_T in organo o tessuto T : energia assorbita per unità di massa*

$$D_T = \frac{E}{m}$$

- in cui E è l'energia media ceduta dalle radiazioni ionizzanti all'organo o tessuto T e m la massa di materia che la riceve.
- *L'unità di dose assorbita è il Gray (Gy): $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$*
 - Il *milliGray* (mGy) è un millesimo di Gy
 - Il *microGray* (μGy) è un milionesimo di Gy.

La dose equivalente

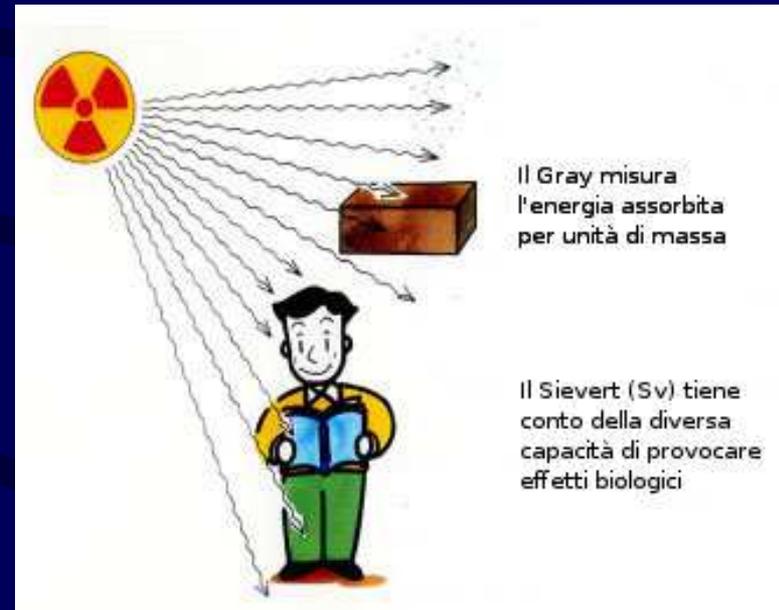
- Non tutti i tipi di radiazioni, a parità di dose assorbita, producono lo stesso danno, per cui occorre correggere il valore di dose per il tipo di radiazione. **Il danno dipende anche dal tipo di radiazione**

- **H_T = Dose equivalente al tessuto o organo T**
 w_R = fattore di ponderazione della radiazione
che tiene conto del fatto che i diversi tipi di radiazioni hanno differente **efficacia biologica**, cioè a parità di dose producono danni diversi):

$$H_T = w_R D_T$$

- L'unità di dose equivalente è il **Sievert (Sv)**

- Il **milliSievert (mSv)** è un millesimo di Sv
- Il **microSievert (μ Sv)** è un milionesimo di Sv



La dose equivalente

Fattori di ponderazione, W_r

- Fotoni e elettroni di tutte le energie 1
- Protoni con $E > 2 \text{ Mev}$ 5
- Particelle alfa 20
- Neutroni :
 - » $E < 10 \text{ KeV}$ 5
 - » $E 10 - 100 \text{ KeV}$ 10
 - » $E 100 \text{ KeV} - 2 \text{ Mev}$ 20
 - » $E 2 \text{ Mev} - 20 \text{ Mev}$ 10
 - » $E > 20 \text{ Mev}$ 5

- Per i raggi X: $w_R = 1$ e $H_T = D_T$

La dose efficace

- Il danno è legato alla dose globale ricevuta dal corpo intero ma gli organi hanno diversa radiosensibilità. *Il danno dipende anche dalla radiosensibilità dell'organo*

– w_T = *fattore di ponderazione per organo o tessuto T*

- Sommando le dosi equivalenti H_T per tutti gli organi e tessuti sensibili, ciascuna moltiplicata per il suo peso w_T si ottiene la *dose efficace E*:

$$E = \sum_T w_T H_T \quad [Sv]$$

- La dose efficace al corpo intero *non è misurabile in modo diretto, ma è il parametro più adatto a descrivere il rischio* di danno da radiazioni
- *Tiene conto della diversa dannosità delle diverse radiazioni e della diversa sensibilità degli organi*

La dose efficace

Tabella 3. Fattori di ponderazione per i tessuti raccomandati

Tessuto	w_T	$\sum w_T$
Midollo osseo (rosso), Colon, Polmone, Stomaco Seno, Tessuti rimamenti *	0,12	0,72
Gonadi	0,08	0,08
Vescica, esofago, fegato, tiroide	0,04	0,16
Superficie dell'osso, cervello, ghiandole salivari, pelle	0,01	0,04
	Totale	1,00

* Tessuti rimanenti: ghiandole surrenali, regione extratoracica, cistifellea, cuore, reni, linfonodi, muscolo, mucosa orale, pancreas, prostata (♂), intestino tenue, milza, timo, utero/cervice (♀).

La dose efficace

dose efficace naturale ambientale: circa 2-4 mSv all'anno

dose efficace letale per l'uomo: circa 6 Sv

Una curiosità:

- 6 Sv = 6 J/kg assorbiti dal corpo intero sono letali
- Per un uomo medio da 70 kg: 6 Sv corrispondono a $6 \cdot 70 = 420$ J di energia da radiazioni assorbita dal corpo intero
- La stessa quantità di energia: $420 \text{ J} = 420 / 4186 = 0.1$ kcal corrisponde alle calorie assorbite dal corpo umano mangiando 1 g di insalata!
- Spiegazione: per una ionizzazione occorre in media una energia di $33 \text{ eV} = 5.2 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ (5 miliardesimi di miliardesimo di Joule)

Esempi di dosi efficaci da esami odontoiatrici

Tipo di esame dentale	Dose efficace, μSv
Esame radiografico dentale <u>intraorale</u>	1 – 8
Esame panoramico dentale	4 – 30
Esame <u>cefalometrico</u>	2 – 3
Esame CBCT (per piccoli volumi <u>dentoalveolari</u>)	34 – 652
Esame CBCT (per grandi volumi cranio-facciali)	30 – 1079

Da: Raccomandazioni per l'impiego corretto delle apparecchiature TC volumetriche «Cone beam» (G.U. Serie Generale n. 124 del 29 maggio 2010)

EFFETTI PREVEDIBILI DELLE DOSI ACUTE DI RADIAZIONE ESTESE A TUTTO IL CORPO

DOSE ACUTA (Sv)

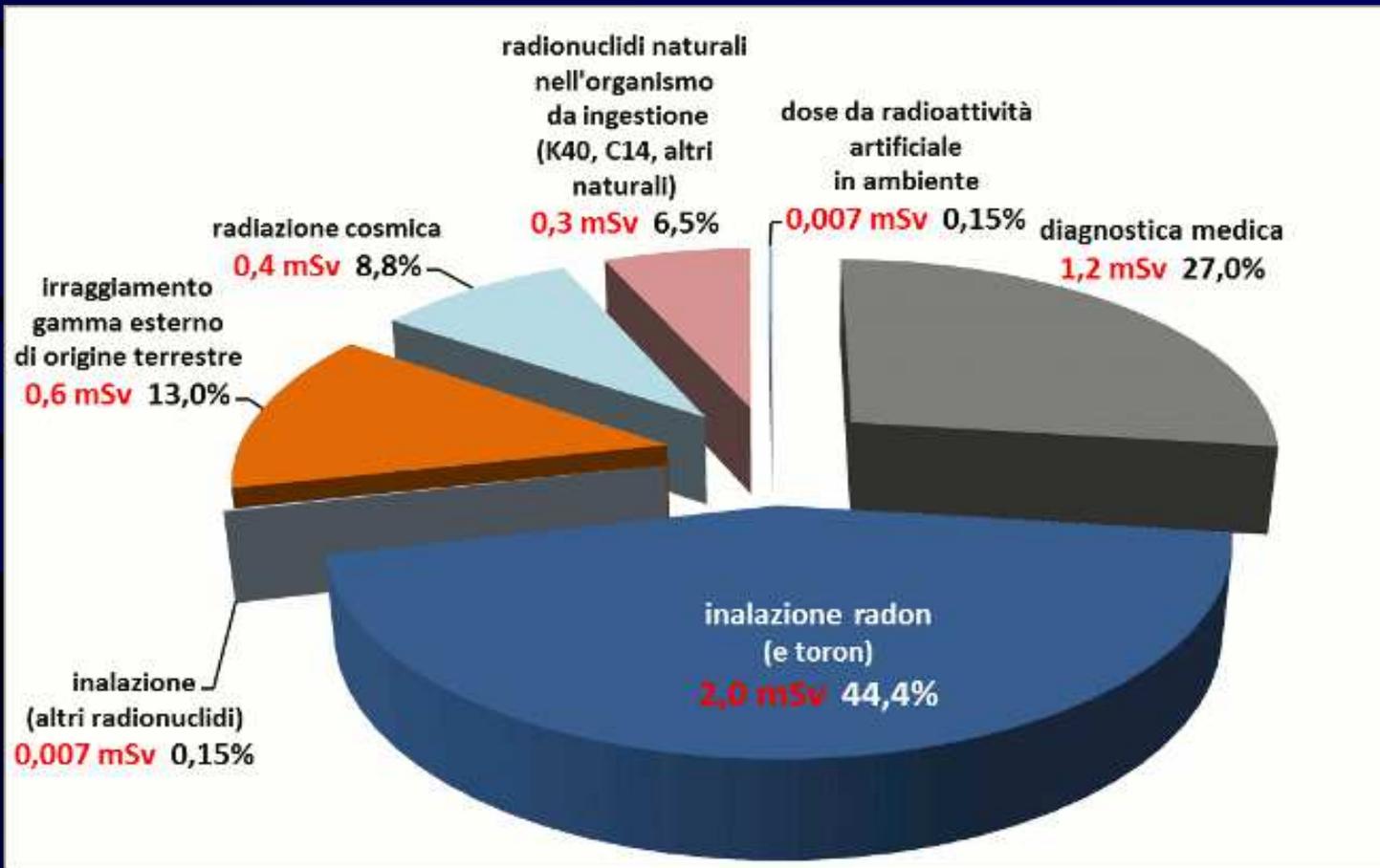
EFFETTI PROBABILI

0 ÷ 0.5:	effetti non rilevabili, eccettuata la possibilità di piccoli mutamenti nel sangue.
0.8 ÷ 1.2:	vomito e nausea, per circa un giorno, nel 5 o 10% del personale esposto; senso di stanchezza che però non limita fortemente la capacità lavorativa.
1.3 ÷ 1.7:	vomito e nausea per un giorno, seguiti da altri sintomi del male da raggi, in circa il 25% del personale esposto.
1.8 ÷ 2.2:	vomito e nausea per circa un giorno, seguiti da altri sintomi del male da raggi in circa il 50% del personale esposto; non si verificano decessi precoci.
2.7 ÷ 3.3:	vomito e nausea nel primo giorno, seguiti da altri sintomi del male da raggi, in quasi tutto il personale esposto; circa il 20% di morti in due-sei settimane dopo l'esposizione; i sopravvissuti rimangono convalescenti per circa 6 mesi.
4.0 ÷ 5.0:	vomito e nausea nel primo giorno, in tutto il personale esposto; circa il 50% di morti in un mese.
5.5 ÷ 7.5:	vomito e nausea in tutto il personale entro 4 ore dall'esposizione, seguiti dagli altri sintomi del male da raggi; quasi il 100% di morti.
10:	vomito e nausea in tutto il personale esposto, entro una o due ore; probabilmente non ci saranno superstiti.
50:	inabilità immediata: tutte le persone colpite muoiono entro una settimana.

Il fondo naturale di radiazioni

- *Ovunque e da sempre l'uomo è esposto al “fondo naturale” di radiazioni:*
 - *Le radiazioni cosmiche* dagli spazi interstellari e dal Sole. Sono costituite da una grande varietà di radiazioni penetranti che interagiscono con l'atmosfera. Questa ne riduce considerevolmente la quantità che raggiunge la superficie della terra. Nell'interazione con l'atmosfera le radiazioni cosmiche provocano la creazione di atomi radioattivi, atomi cioè che a loro volta diventano fonti di radiazioni, come il Carbonio-14 (C^{14}), il Trizio (H^3), il Cloro-36 (Cl^{36}), il Calcio-41 (Ca^{41}), che possono essere incorporati nella materia vivente
 - Le *sorgenti terrestri* dovute a elementi radioattivi come l'*uranio (U)*, il *torio (Th)* e i loro prodotti radioattivi come il *radon (Rn, la maggior fonte di dose da radiazioni naturali)* in concentrazioni più o meno elevate, *in tutta la crosta terrestre, nell'aria e nell'acqua*
 - Le *sorgenti corporee* come il C^{14} proveniente dall'atmosfera, il Potassio-40 (K^{40}) esistente in natura, i gas radioattivi, derivanti dall'uranio e dal torio (rispettivamente, **Radon** e **Thoron**) e presenti nell'aria respirata, e altri elementi radioattivi, contenuti nelle piante e negli animali usati come cibo, costituiscono una fonte di radiazioni che agisce dall'interno degli organismi viventi

Il fondo naturale di radiazioni



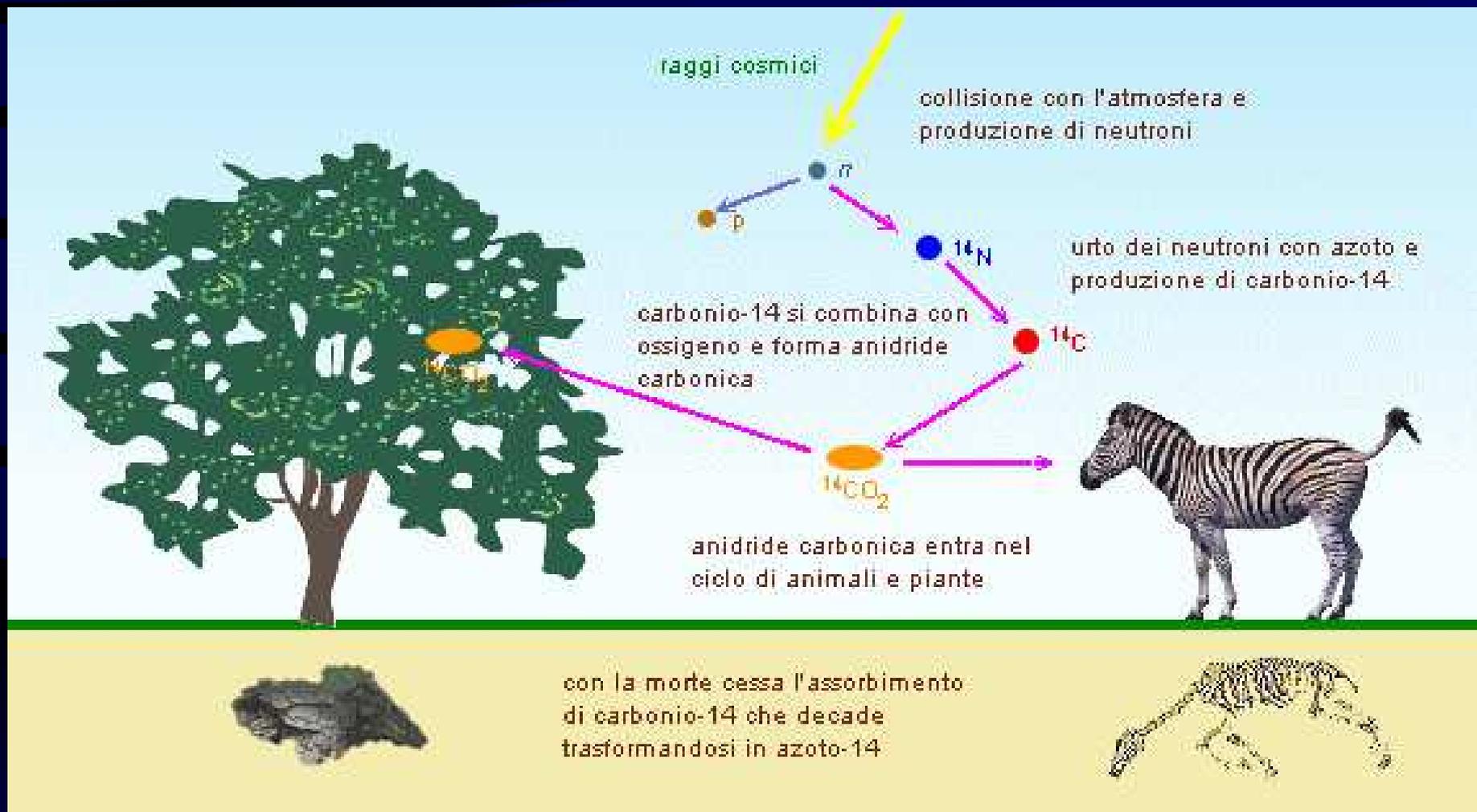
Contributi alla dose efficace media individuale annuale per la popolazione italiana. Dati elaborati da stima riportata in Annuario APAT (ora ISPRA) dei dati ambientali, 2005-2006

Element	U-238 Decay Series						
U	U-238 4.49 x 10 ⁹ Y		U-234 2.48 x 10 ⁵ Y				
Pr		Pa-234 1.18 M					
Th	Th-234 24.1 D		Th-230 7.5 x 10 ⁴ Y				
Ac							
Ra			Ra-226 1,622 Y				
Fr							
Rn			Rn-222 3.83 D				
At							
Po			Po-218 3.05 M		Po-214 1.6 x 10 ⁻⁴ S		Po-210 138 D
Bi				Bi-214 19.7 M		Bi-210 50 D	
Pb			Pb-214 26.8 M		Pb-210 21.4 Y		Pb-206 STABLE

materiale	concentrazione di attività tipica/(Bq/kg)			concentrazione di attività massima/(Bq/kg)		
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
<i>Materiali edilizi comuni</i>						
Calcestruzzo	40	30	400	240	190	1600
Calcestruzzo aerato e alleggerito	60	40	430	2600	190	1600
Mattone argilloso (rosso)	50	50	670	200	200	2000
Mattone di sabbia e calce	10	10	330	25	30	700
Pietra naturale da costruzione	60	60	640	500	310	4000
Gesso naturale	10	10	80	70	100	200
<i>Sottoprodotti industriali comuni impiegati in materiali edilizi</i>						
Derivati del gesso (fosfogesso)	390	20	60	1100	160	300
Scorie di altoforno	270	70	240	2100	340	1000
Ceneri di carbone volanti	180	100	650	1100	300	1500

Il fondo naturale di radiazioni

Il metodo di datazione del carbonio-14



Ad esempio, la prova del carbonio ha stabilito che la sacra Sindone di Torino risale, con un intervallo di confidenza di almeno il 95% e un'approssimazione di 10 anni in più o in meno, a una data compresa tra il 1260 e il 1390, periodo compatibile con le prime testimonianze storiche certe dell'esistenza della Sindone (Wikipedia)

Il fondo naturale di radiazioni

Un simpatico aneddoto

Banana equivalent dose (BED) is an informal measurement of ionizing radiation exposure, intended as a general educational example to compare a dose of radioactivity to the dose one is exposed to by eating one average-sized banana. Bananas contain naturally occurring radioactive isotopes, particularly **potassium-40 (K^{40})**, one of several naturally-occurring isotopes of potassium. One BED is often correlated to 10^{-7} sievert (**0.1 μ Sv**); however, in practice, this dose is not cumulative, as the principal radioactive component is excreted to maintain metabolic equilibrium. The BED is only meant to inform the public about the existence of very low levels of natural radioactivity within a natural food and is not a formally adopted dose measurement.

Fenomeno	Banane equivalenti
Un'ora di fondo naturale	3 banane
Un'ora di fondo artificiale	0,5 banane
Un'ora su un aereo ad alta quota	50 banane
Radiografia ad un braccio	10 banane
Radiografia toracica	1000 banane
TAC a basso dosaggio	150000 banane
Mammografia	4000 banane
Un'ora a Ramsar (Iran)	15 banane
Massimo per un lavoratore*	700 banane all'ora
Un'ora per un "eroe di Chernobyl"	centinaia di milioni di banane



Dosi da fonti non naturali

- Dal XX secolo si sono aggiunte le sorgenti di radiazioni impiegate a **scopo**:
 - **industriale**
 - **ricerca**
 - **medico**
- **Sorgenti usate**
 - apparecchi a raggi X
 - acceleratori di elettroni o particelle cariche, medici o per ricerca
 - isotopi radioattivi nell'industria, in medicina, nei rifiuti radioattivi



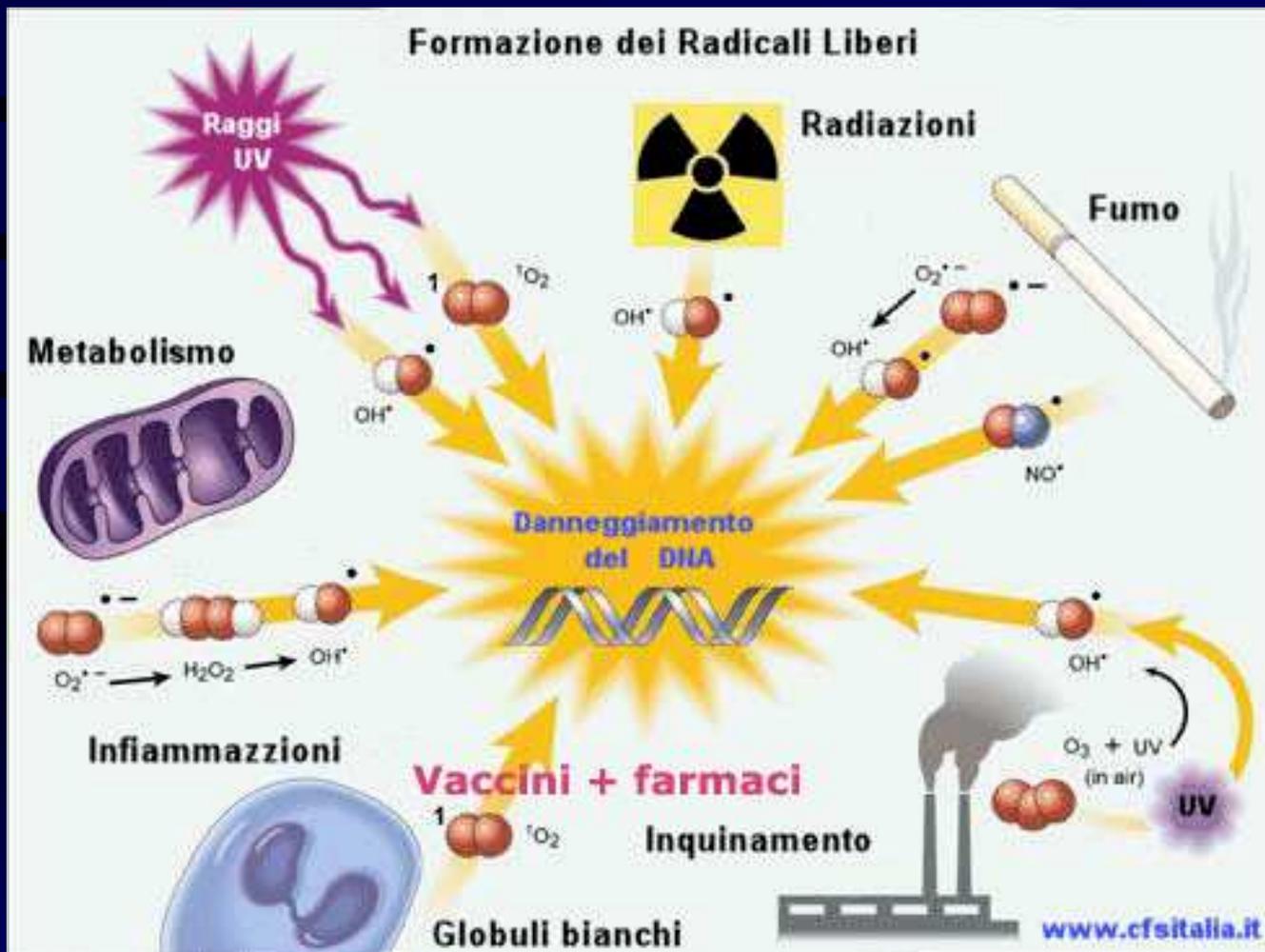
Siamo arrivati a metà

COFFEE BREAK



Misurare il rischio radiologico

- Il rischio radiologico è correlato alla **dose efficace (mSv)**, ma quanto è grande?



Misurare il rischio radiologico

- Il **coefficiente di probabilità di effetti stocastici** è assunto dalla Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (ICRP), il massimo organismo internazionale a cui le normative nazionali e sovranazionali si ispirano, pari a:

4.2 % per ogni Sv di dose efficace per gli adulti

5.7 % per ogni Sv di dose efficace per la popolazione in generale

- Questa probabilità va intesa come probabilità in più rispetto a quella rilevata su una popolazione non esposta
- Coefficienti di rischio nominale (10^{-2} Sv^{-1}) corretti per il detrimento per effetti stocastici a seguito di esposizione a radiazione a basso rateo di dose (ICRP 103, 2007):

	Cancro	Effetti ereditari	Totale
Intera popolazione	5.5	0.2	5.7
Adulti	4.1	0.1	4.2

- **«detrimento sanitario»**: la riduzione della durata e della qualità della vita che si verifica in una popolazione in seguito a esposizione, incluse le riduzioni derivanti da radiazioni sui tessuti, cancro e gravi disfunzioni genetiche.

Misurare il rischio radiologico

Per coglierne il significato si considerino lavoratori adulti con una esposizione costante al rischio lavorativo per 40 anni; si avrebbero i seguenti coefficienti di probabilità di effetti stocastici per radiazioni:

Livello di esposizione	Equivalente di dose ricevuto per anno	Eq. di dose nell'intero ciclo lavorativo	Eventi su 100 in 40 anni	Eventi su 1000 per anno
Massimo consentito a personale non esposto	1 mSv	0.04 Sv	0.2	0.04
Massimo consentito a lavoratori di cat. B	6 mSv	0.24 Sv	1.0	0.25
Massimo consentito a lavoratori di cat. A	20 mSv	0.8 Sv	3.4	0.84
<i>Fondo ambientale (solo per confronto)</i>	<i>3 mSv</i>	<i>0.12 Sv</i>	<i>0.5</i>	<i>0.13</i>

	mSv / y	$\times 40 \text{ y} \times 0.001 \text{ Sv/mSv}$	$\times 4.2 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1} \times 100$	$\times 10 / 40 \text{ y}$
--	---------	---	---	----------------------------

CONFRONTO FRA VARI TIPI DI RISCHIO pari probabilità di morte



Viaggiare 1000 km in aereo



Viaggiare per 90 km in automobile

Vivere 2 mesi in un edificio di tufo



**Lavorare 10 giorni in un'industria
Lavorare 3 ore in una miniera**

CONFRONTO FRA VARI TIPI DI RISCHIO pari probabilità di morte



Fumare da 1 a 3 sigarette al giorno



Scalare una montagna per 15 minuti

Vivere 20 minuti a 60 anni



Assorbire una dose di 0.10 mSv

Per confronto, il rischio di una trombosi cerebrale letale dopo la somministrazione del vaccino anti-covid *AstraZeneca* sembra essere dello stesso ordine di grandezza ($\approx 2 \cdot 10^{-6}$) di una TAC dentale a campo piccolo (dose efficace dell'ordine di 35 μ Sv)

Esposizioni professionali

- Tecnici di radiologia, medici radiologi, operatori di reattori nucleari, ecc. sono esposti a radiazioni per motivi professionali: essi assorbono dosi superiori a quelle della popolazione in genere
- Le leggi internazionali hanno posto **20 mSv** come **limite massimo di dose efficace** che può essere assorbita annualmente dai lavoratori professionalmente esposti alle radiazioni ionizzanti
- Il rischio massimo ammissibile corrisponde statisticamente a circa **3 casi di danno (cancro o effetti ereditari) ogni 100 lavoratori professionalmente esposti** alla dose massima ammissibile per tutta la vita lavorativa



Principi base di radioprotezione

di lavoratori e popolazione

- 1) Giustificazione della pratica**
- 2) Ottimizzazione della protezione**
- 3) Limitazione delle dosi individuali**

Limite di dose per la Legge italiana

Limite di dose (mSv/anno solare)	Lavoratori esposti	Apprendisti, studenti età 18 +	Apprendisti, studenti, età 16 o 17	Apprendisti, studenti, età < 16	Popolazione
Dose efficace	20	20	6	0.5	1
Dose equivalente cristallino	20	20	15	7.5	15
Dose equivalente estremità (mani, avambracci, piedi, caviglie)	500	500	150		
Dose equivalente pelle (media su 1 cm ² indipendente da S esposta)	500	500	150	25	50

(articolo 146, commi 1, 2 e 7)

Termini utilizzati dalla normativa

- ***Zona controllata***: luogo determinato in cui esiste una sorgente di radiazioni ionizzanti ed in cui persone esposte per ragioni professionali possono ricevere una ***dose efficace superiore a 6 mSv per anno***
- ***Zona sorvegliata***: Ogni area di lavoro in cui sussiste per i lavoratori in essa operanti il rischio di ***superamento di uno dei limiti di dose fissati per gli individui della popolazione*** (ad esempio: ***dose efficace di 1 mSv per anno***), ma che non debba essere classificata Zona Controllata



Termini utilizzati dalla normativa

- **Lavoratori esposti di categoria A**: lavoratori che in una zona controllata effettuano un lavoro che li esponga al pericolo delle radiazioni ionizzanti (per tali lavoratori deve essere assicurata la sorveglianza fisica e medica della protezione da parte di un esperto di radioprotezione e di un Medico Autorizzato) e che possono ricevere una **dose efficace superiore a 6 mSv per anno**
- **Lavoratori esposti di categoria B**: persone che per motivi di lavoro si trovano occasionalmente nella zona controllata, e che possono ricevere una dose efficace compresa **tra 1 mSv e 6 mSv per anno** (tali lavoratori devono essere soggetti a sorveglianza fisica della protezione e devono essere sottoposti a visite periodiche da parte di un medico competente).
- **Lavoratori non esposti**: persone che possono lavorare in prossimità di una Zona Controllata ma che sono suscettibili di ricevere una **dose efficace non superiore a 1 mSv per anno**
- **Persone del pubblico**: la popolazione in genere; devono ricevere una **dose efficace inferiore a 1 mSv per anno**



I datori di lavoro devono:

- Nominare l'*esperto di radioprotezione (obbligo non delegabile)*
- Disporre la *valutazione preventiva dei rischi* e le misure di radioprotezione previste, con relazione dell'esperto di radioprotezione *(obbligo non delegabile)*
- Nominare il *medico autorizzato* nel caso si sia in presenza di “lavoratori esposti” *(obbligo non delegabile)*
- Disporre affinché *i lavoratori siano resi edotti* dei rischi specifici cui sono esposti, delle modalità di esecuzione del lavoro, delle norme interne, delle norme essenziali di protezione, di quelle di protezione sanitaria e dell'importanza di attenersi alle prescrizioni mediche

Datori di lavoro, dirigenti e preposti devono:

- Attuare tutte le *misure di protezione e sicurezza* idonee a ridurre l'esposizione dei lavoratori
- Fornire ai lavoratori i *mezzi necessari di protezione* e quelli per la sorveglianza dosimetrica
- Comunicare preventivamente all'esperto di radioprotezione *ogni variazione relativa allo svolgimento della pratica*

Sanzione penale: arresto da 2 a 4 mesi o ammenda da 1000 a 3000 €

Datori di lavoro, dirigenti e preposti devono:

- Limitare all'indispensabile il **numero dei lavoratori esposti** in conformità alle esigenze del servizio e alla necessità di limitare le dosi assorbite dai singoli;
- Disporre ed esigere che i singoli lavoratori osservino le **modalità di esecuzione del lavoro**, le **norme interne** ed usino i mezzi di protezione e quelli per la sorveglianza dosimetrica;
- Provvedere a che le **zone controllate siano delimitate e segnalate** mediante appositi contrassegni;
- Adottare i provvedimenti idonei al rispetto dei **valori massimi di dose** stabiliti dalla Legge;
- Assicurare la **sorveglianza fisica della protezione** a mezzo di *esperti di radioprotezione* ai quali debbono fornire i mezzi e le condizioni necessari per l'espletamento dei loro compiti.

Sanzione penale: arresto da 3 a 6 mesi o ammenda da 5000 a 20000 €

L'esperto di radioprotezione deve:

- Effettuare la *classificazione delle zone* e disporre la segnalazione con i relativi *contrassegni*;
- Effettuare la *classificazione dei lavoratori*;
- Effettuare *esame e controllo dei dispositivi di protezione*, ed in particolare:
 - a) procedere all'*esame preventivo* e rilasciare il relativo *benestare*, dal punto di vista della sorveglianza fisica, dei progetti di installazioni che comportano rischi di esposizione, dell'ubicazione delle medesime all'interno dello stabilimento in relazione a tali rischi, nonché delle modifiche alle installazioni le quali implicano rilevanti trasformazioni delle condizioni, dell'uso o della tipologia delle sorgenti;
 - b) effettuare la *prima verifica* di nuovi impianti e delle eventuali modifiche sostanziali apportate ad essi;
 - c) controllare periodicamente l'*efficacia dei dispositivi tecnici di protezione*;
 - d) controllare le buone *condizioni di funzionamento degli strumenti* protezionistici di misura e del loro impiego corretto;

L'esperto di radioprotezione deve:

- Effettuare le valutazioni:
 - delle **esposizioni nei luoghi** in cui sussista il rischio da radiazioni mediante l'indicazione della natura e della qualità delle radiazioni stesse, nonché la determinazione della dose di esposizione, della dose misurata in aria;
 - della **dose assorbita dai lavoratori esposti e non esposti**;
- Tenere aggiornati e conservare i seguenti documenti:
 - un **registro** sul quale devono essere annotate le valutazioni delle irradiazioni e le contaminazioni radioattive;
 - i **verbali dei provvedimenti di intervento** adottati.

I lavoratori devono:

- Osservare le disposizioni impartite dal datore di lavoro, o dai suoi incaricati, ai fini della protezione individuale e collettiva e della sicurezza, a seconda delle mansioni alle quali sono addetti;

Ammenda da 150 a 500 €

- Usare, con cura ed in modo corretto, i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica predisposti o forniti dal datore di lavoro;

Ammenda da 150 a 500 €



I lavoratori devono:

- *Segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le deficienze dei dispositivi e dei mezzi di sicurezza, di protezione e di sorveglianza dosimetrica, nonché ogni presunta condizione di pericolo;*
- *Non rimuovere né modificare, senza averne ottenuta l'autorizzazione, i dispositivi e gli altri mezzi di sicurezza, di segnalazione, di protezione e di misurazione;*
- *Non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di loro competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza.*

Classificazione di aree e persone

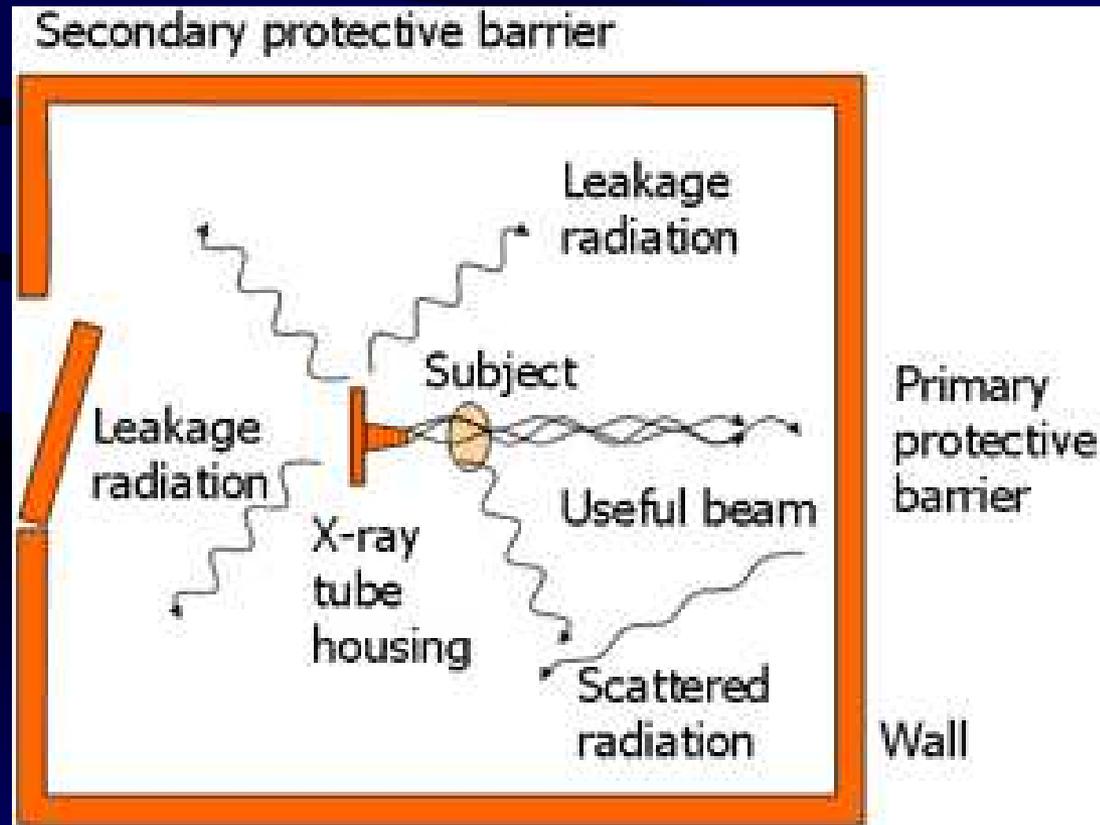
- Nella pratica odontoiatrica la **Zona Controllata** si estende da qualche decimetro fino a pochi metri (a seconda del carico di lavoro dell'apparecchio) intorno alla testa del paziente solo durante l'erogazione raggi.
Poiché sussiste l'obbligo inderogabile di delimitarla, viene usualmente classificata Zona Controllata **l'intera area del locale** ove si effettuano gli esami radiologici fino alle prime pareti delimitanti.
- Poiché inoltre all'esterno di questa delimitazione la dose annua risulta usualmente inferiore anche al limite di **1 mSv all'anno**, molto spesso non si definisce alcuna **Zona Sorvegliata**
- I lavoratori, a qualunque titolo presenti nella struttura odontoiatrica, sono classificati come **lavoratori non esposti** e dunque hanno gli stessi limiti delle **persone del pubblico**, per le quali la dose massima ammissibile è di **1 mSv all'anno**
- Può essere fissato un **livello di intervento** in corrispondenza di 1/4 di questa dose (dunque **250 µSv/anno**) che non rappresenta un limite di dose efficace, ma solo un parametro di attenzione per evitare il rischio di un raggiungimento del limite di **1 mSv/anno**.

Radiazione primaria, secondaria e di fuga

- Durante l'erogazione raggi si distinguono 4 diversi *fasci* di radiazioni:
 - il **fascio primario** uscente dal collimatore che diverge dal fuoco dell'apparecchio. Normalmente questo fascio investe completamente il paziente, ma in alcuni casi particolari può esservi una parte del fascio che emerge lateralmente da esso;
 - il **fascio residuo (o trasmesso)** è quanto rimane del fascio primario dopo l'attraversamento del paziente e del sistema di rivelazione dell'immagine. Spesso viene attenuato da uno schermo in Pb posto immediatamente dietro il sensore di immagini;
 - il **fascio diffuso** è la radiazione che la parte irraggiata del paziente diffonde nell'ambiente circostante: come un oggetto illuminato da una lampadina infatti la parte irradiata diffonde radiazioni in tutte le direzioni;
 - la **radiazione di fuga** è la radiazione che emerge, pressoché in tutte le direzioni, dalla testata dell'apparecchio a raggi X attraversando la “cuffia” piombifera che la scherma. In generale è limitata da norme tecniche per il fabbricante a **1 mGy per ora** di funzionamento a regime a 1 m (**0.25 mGy per ora** per gli endorali).

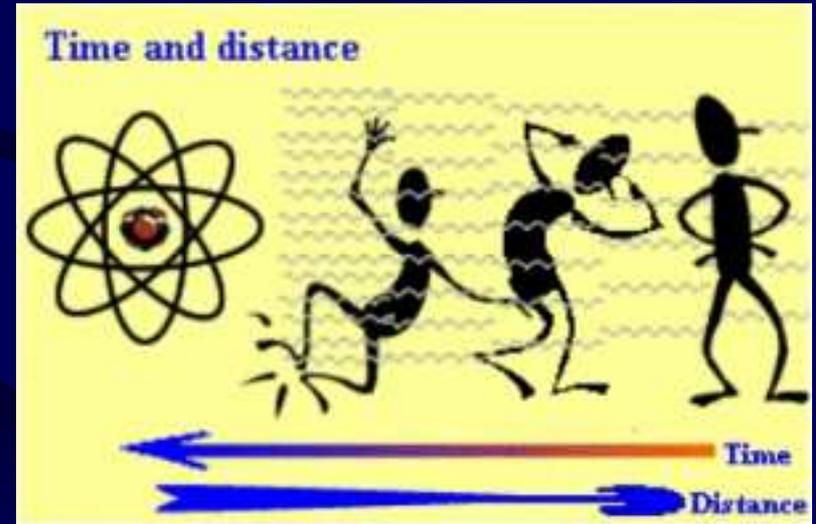
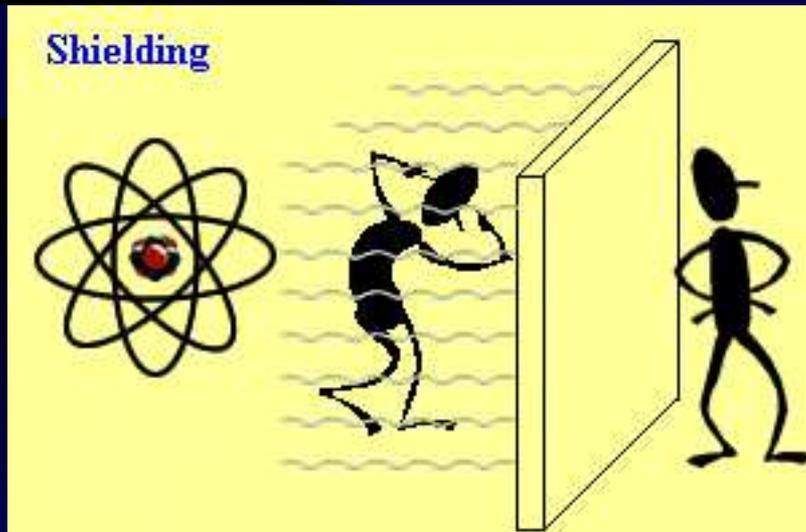
Radiazione primaria, secondaria e di fuga

- La **radiazione primaria** in un tipico esame radiologico odontoiatrico è dell'ordine di 500 – 1000 volte quella diffusa (molto approssimativamente).
- La **radiazione residua** dipende dalla schermatura del sistema di ricezione e può essere dell'ordine di 10 volte più intensa di quella diffusa.
- La **radiazione di fuga** è comunemente quella meno intensa.



Fattori attenuanti la radiazione

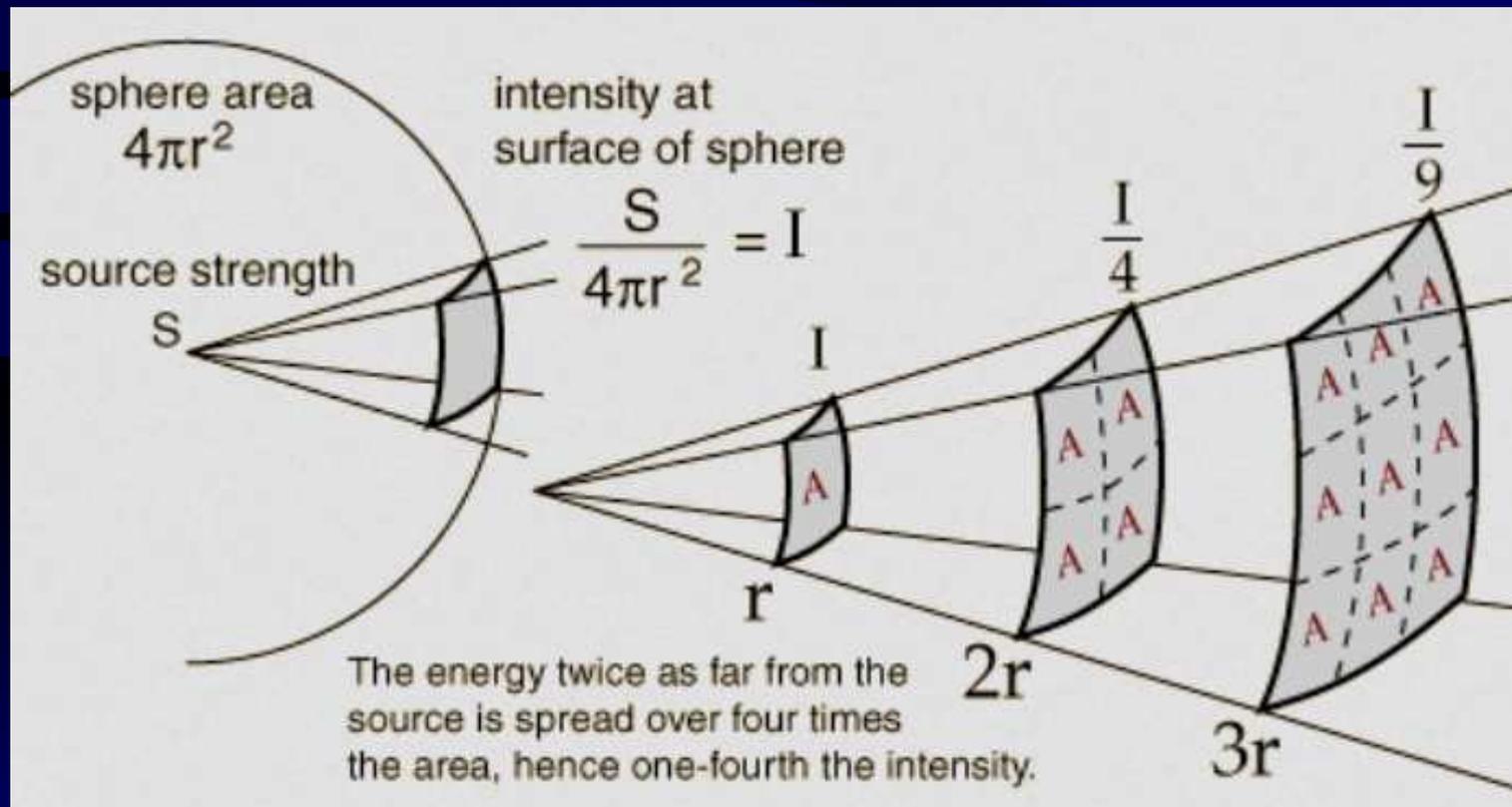
- Tutti i fasci citati hanno le caratteristiche della radiazione X e non vengono mai fermati completamente, ma si riducono, anche notevolmente, a causa di:
 - *distanza* dalla sorgente (attenuazione geometrica)
 - *schermature* presenti (attenuazione fisica)
 - *tempo* di esposizione (*numero esami x durata di erogazione*)
 - *parametri fisici* del fascio primario (*kV, mA, FOV, ...*)



Fattori attenuanti la radiazione

Attenuazione geometrica (distanza)

Se la sorgente di raggi X può essere considerata come puntiforme (ad esempio nel caso del fascio primario) l'intensità della radiazione si riduce secondo la legge dell'inverso del quadrato della distanza: ad ogni raddoppio della distanza l'intensità si riduce a $\frac{1}{4}$.



Fattori attenuanti la radiazione

Attenuazione geometrica (distanza)

E' falso dunque quanto si sente talvolta affermare secondo cui *a più di 2 metri da un apparecchio non ci sarebbero più radiazioni.*

L'aria è quasi completamente trasparente alla radiazione.

Non esiste un luogo dove la radiazione è teoricamente nulla.

Occorre piuttosto definire le posizioni sicure sulla base del *carico di lavoro* (che dipende dal numero di esami radiologici effettuati in un anno e dai loro parametri medi) e dei *livelli di dose consentiti dalla Legge.*

Fattori attenuanti la radiazione

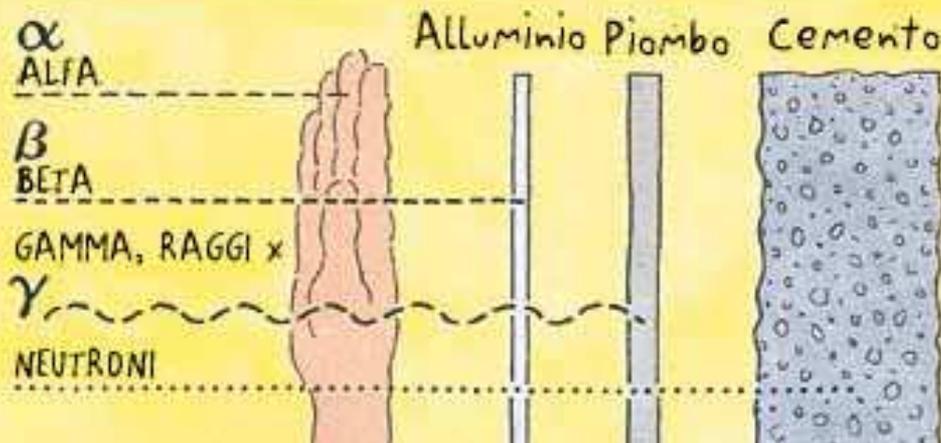
Attenuazione fisica (schermatura)

Radiazione X nei mezzi materiali *diminuisce con $e^{-\mu x}$* (andamento esponenziale)

- $D(x) \approx D(0) \cdot e^{-\mu x}$ (x spessore del materiale della barriera)
- Anche con l'attenuazione fisica nei materiali la dose non si annulla mai
- Si misura il **fattore di trasmissione B** della barriera:

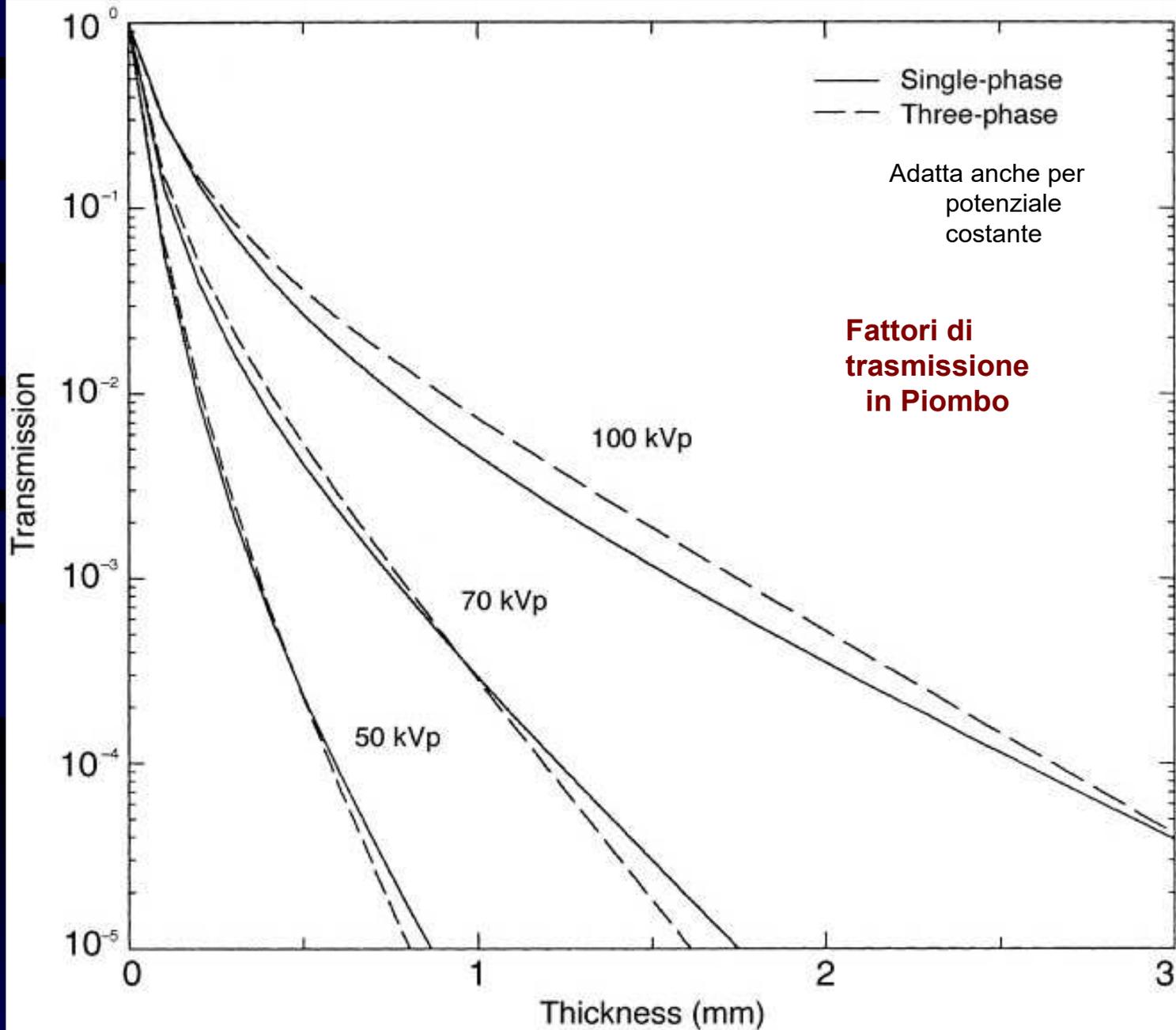
$$B = D(\text{con barriera}) / D(\text{senza barriera}) = D(x) / D(0) \approx e^{-\mu x}$$

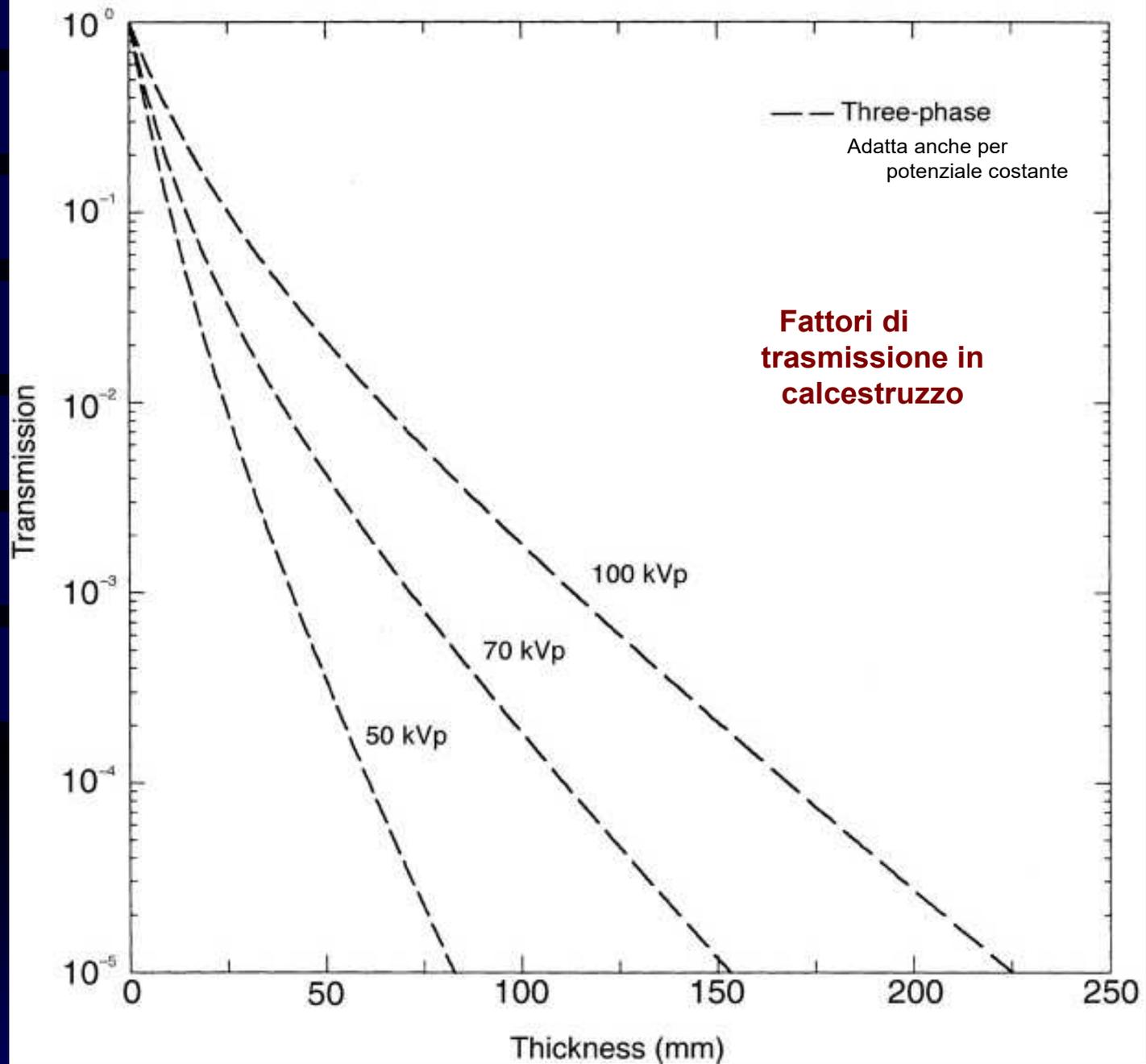
Il **fattore di attenuazione A** è il reciproco del fattore di trasmissione B : $A=1/B$



Spessore in Pb	50 kV	75 kV	100 kV
0.25 mm	250	20	10
0.50 mm	10000	200	50
1 mm	>10000	3000	300
2 mm	>>10000	>>10000	5000

Fattori di attenuazione della radiazione X per diversi spessori di Pb e diverse tensioni di lavoro





Fattori attenuanti la radiazione

Uno spessore di **4 cm di calcestruzzo** (che equivale approssimativamente ad una normale parete divisoria in mattone forato e rivestimenti) riduce la dose di un fattore 100 circa per radiazione X da 70 kV (**fattore di trasmissione $B=1/100$**).

Uno spessore di **9 cm di calcestruzzo** (che potrebbe equivalere approssimativamente ad un muro portante di una abitazione) riduce la dose di un fattore 3000 circa per radiazione X da 70 kV (**$B=1/3000$**).

Uno spessore di **1 mm di piombo** (Pb) per radiazione X da 70 kV riduce anch'esso la dose di un fattore 3000 circa e dunque equivale a circa 9 cm di calcestruzzo (**$B=1/3000$**).

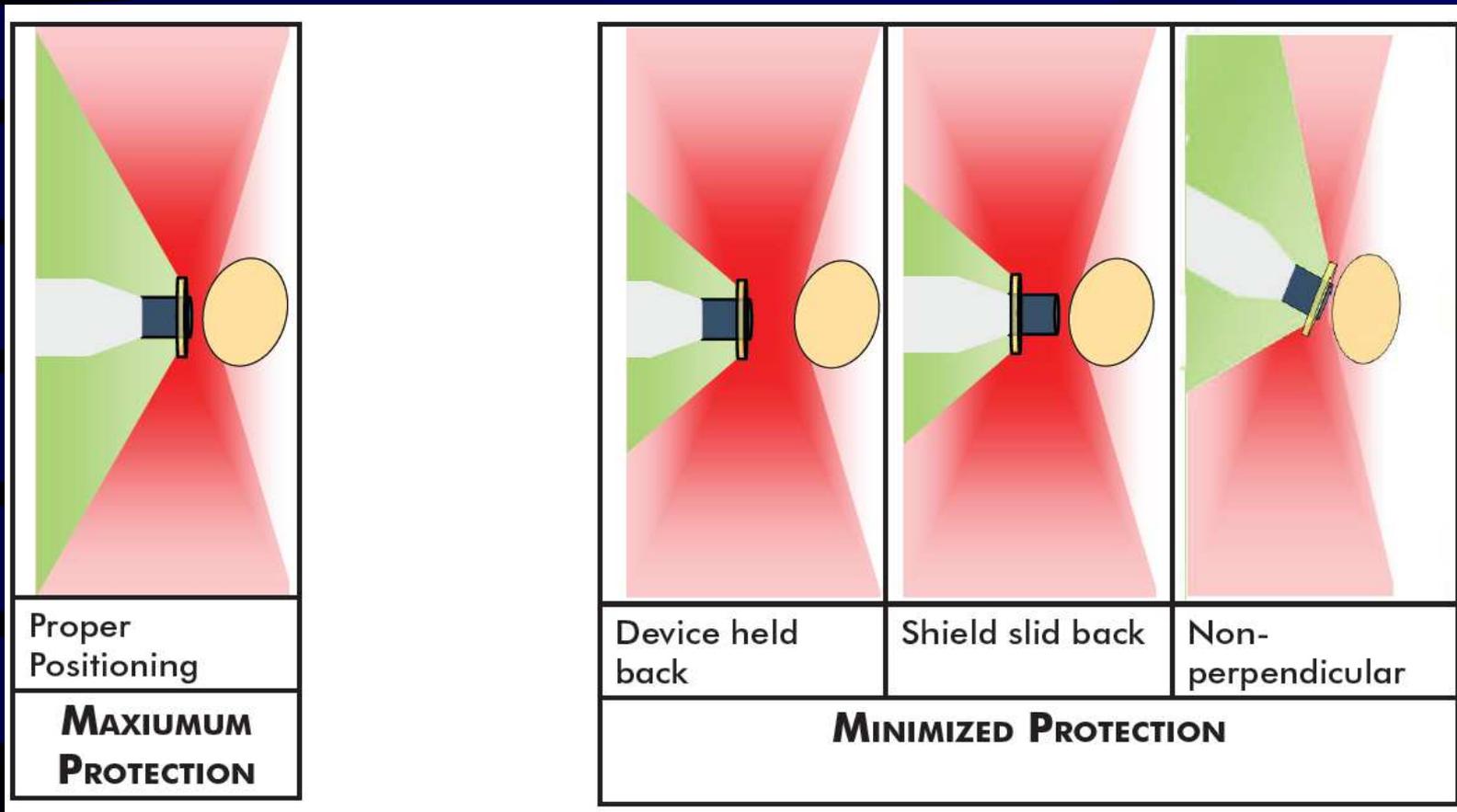
Il piombo è più schermante del calcestruzzo per i raggi X.

Lo spessore di **0.25 mm di Pb** di un comune **camice piombifero odontoiatrico**, riduce la dose di un fattore 30 circa per radiazione X da 70 kV (**$B=1/30$**).

La schermatura di **porte e finestre** è normalmente trascurabile, a meno che la porta o la finestra siano piombifere o la vetrata sia realizzata con cristallo pieno spesso: 1 mm di Pb equivale a poco più di **10 cm di vetro** standard per X da 70 kV: nessuno si deve posizionare, durante l'erogazione, dietro finestre o porte non idonee.

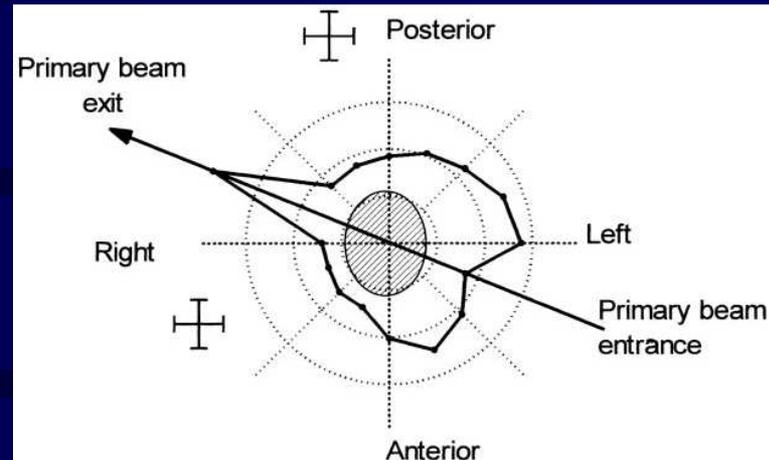
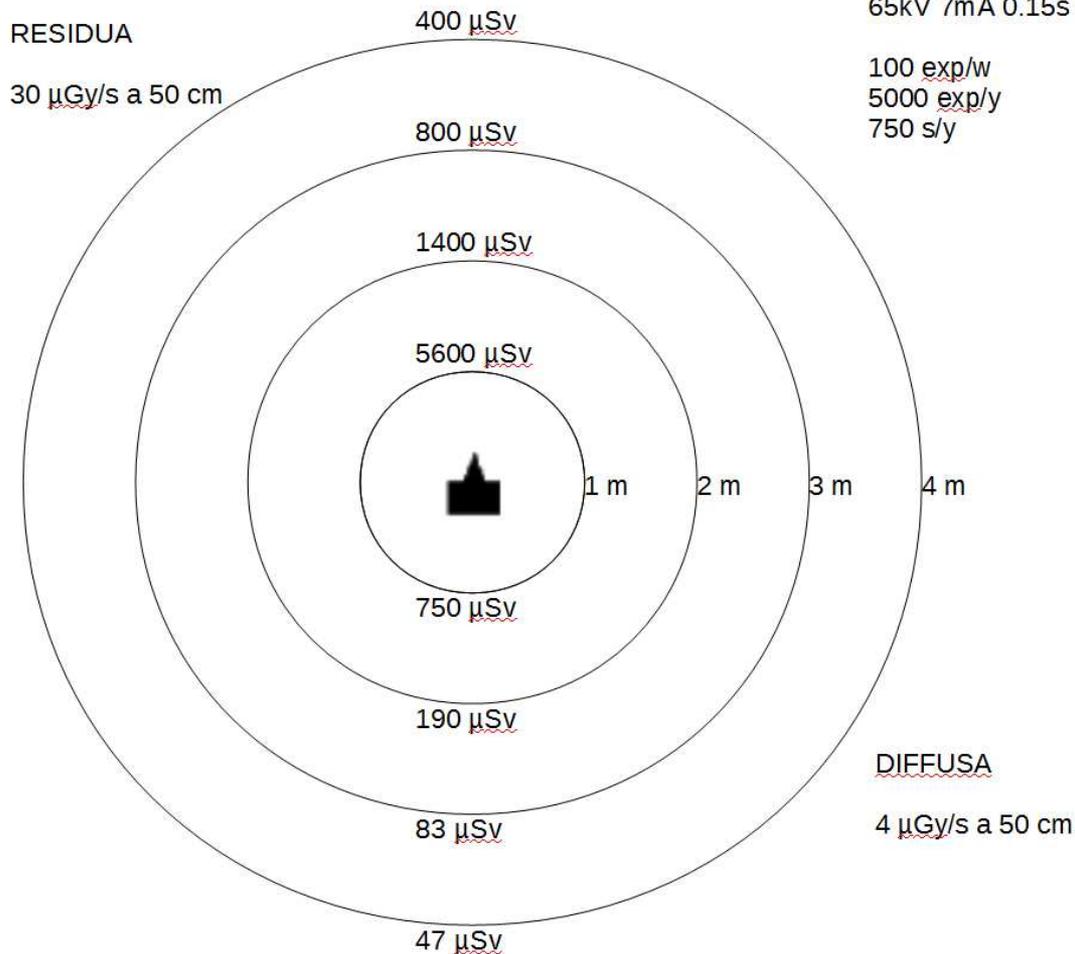
Il **cartongesso** è **meno schermante del calcestruzzo e del vetro, e dunque anche del piombo.**

La schermatura dell'**aria** a distanze ordinarie è assolutamente trascurabile.



*Esempio di utilizzo corretto o scorretto di una sorgente X
ad uso medico (es. esame endorale) o
ad uso industriale (es. analisi XRF di materiali)*

Radiazione ambientale - Endorale



Dose proporzionale alla distanza della linea marcata dal centro: la posizione migliore è a 45° davanti – NCRP 145

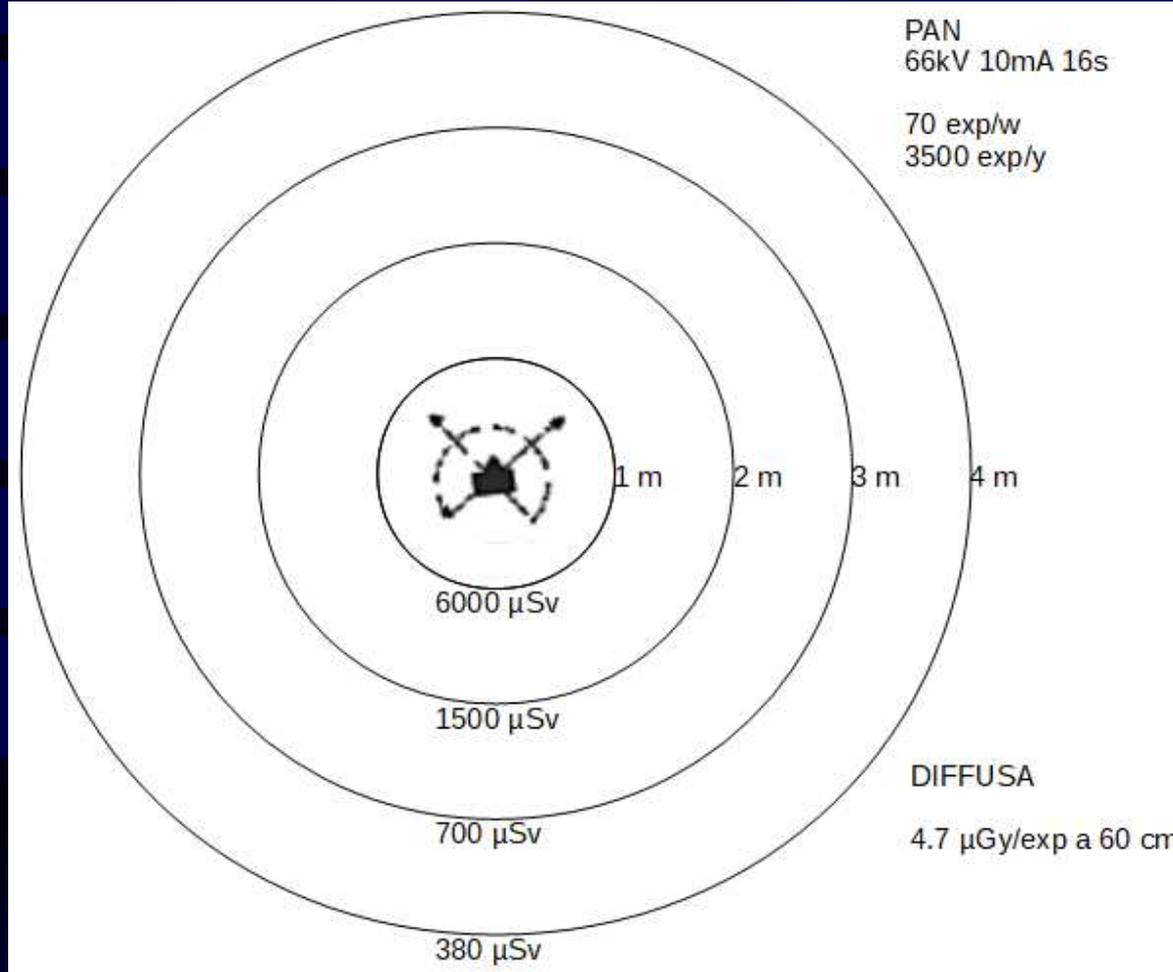
alla distanza di 1 m	$\leq 0.5 \mu\text{Gy}$
alla distanza di 1,5 m	$\leq 0.22 \mu\text{Gy}$
alla distanza di 2 m	$\leq 0.13 \mu\text{Gy}$
alla distanza di 3 m	$\leq 0.06 \mu\text{Gy}$
dietro barriere	$< 0.003 \mu\text{Gy}$

Dosi da radiazione diffusa a 90° da un apparecchio per radiografie endorali funzionante a: 70 kV-7 mA tempo di esposizione di 1 s

Misure sperimentali – apparecchio ad alta frequenza

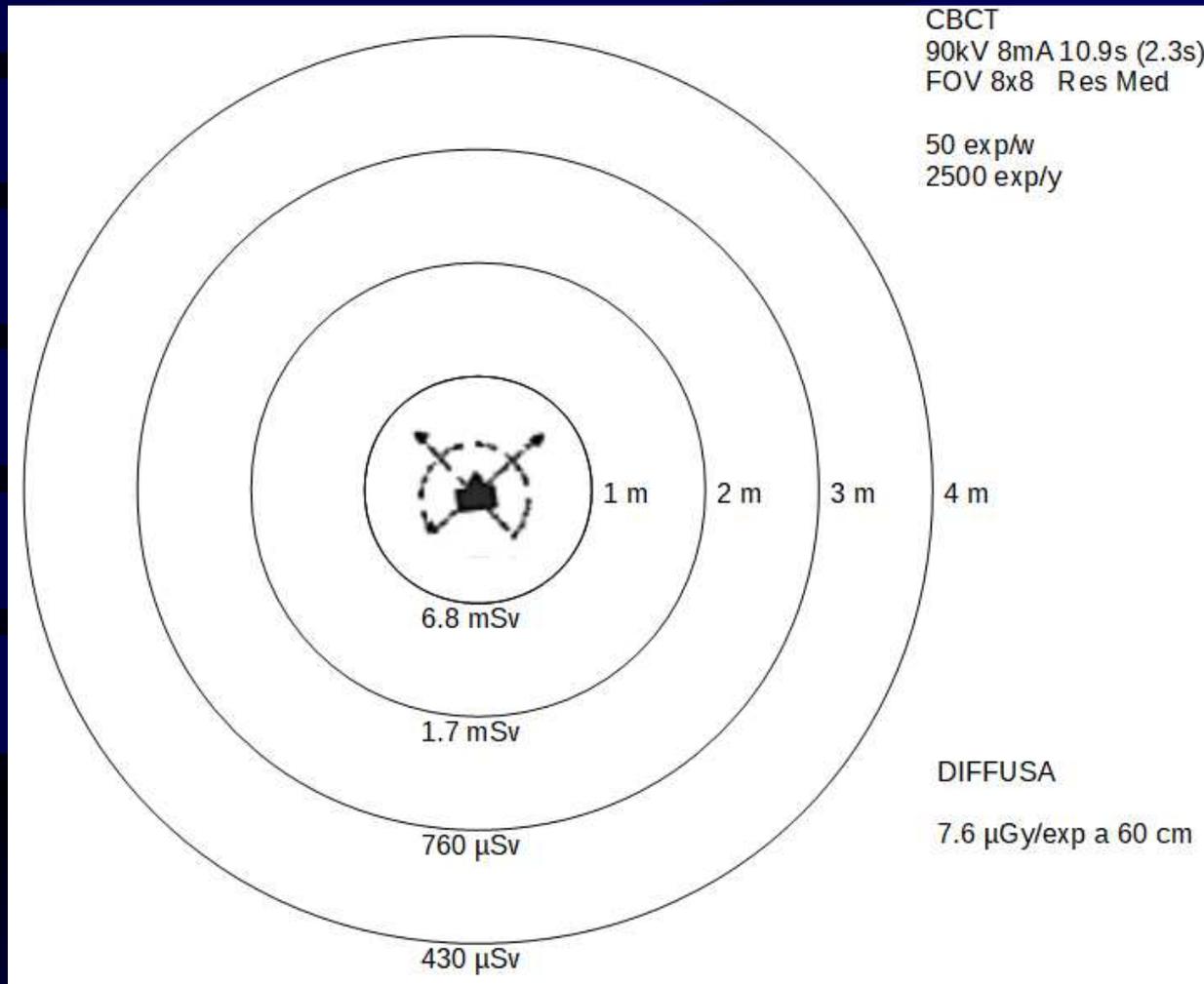
Manuale Regione – apparecchio bassa frequenza

Radiazione ambientale - Panoramica



Non è presente fascio residuo poiché le apparecchiature a norma CEE devono recare uno schermo del fascio emergente dietro il recettore di immagine (sensore)

Radiazione ambientale – Cone beam CT



Non è presente fascio residuo poiché le apparecchiature a norma CEE devono recare uno schermo del fascio emergente dietro il recettore di immagine (sensore)

Definizione e valutazione del rischio

- *All'interno della Zona Controllata* in condizioni particolari vi è il rischio di una dose superiore a 6 mSv all'anno (4 eventi gravi ogni 10 000 persone esposte)
- All'esterno, *nelle zone protette (dietro pareti o porte schermate)*, vi è il rischio di una dose efficace inferiore a 1 mSv all'anno (meno di 7 eventi gravi ogni 100 000 esposti)
- *Nelle condizioni di comportamento corretto il rischio per ogni operatore è quello di una dose efficace inferiore a 250 μ Sv all'anno*, pari circa a 1/10 della dose naturale annua di radiazioni (2 eventi gravi ogni 100 000 esposti)



Misure tecniche di prevenzione e protezione

- Il personale lavoratore dispone di una **posizione protetta** durante l'erogazione raggi, che è sicura per **distanza dal paziente** e per **schermature** presenti e che generalmente si trova dietro una parete divisoria, eventualmente schermata;
- Il locale, classificato durante l'erogazione come *Zona Controllata*, è **segnalato ad ogni via di accesso** con apposito cartello;

- All'interno o all'ingresso sono affisse **Norme interne di Sicurezza**;

- Regole principali:

- (1) **distanza**
- (2) **schermatura**
- (3) **tempo di esposizione**



There are three basic considerations for protecting yourself from radiation:

- **Time**
- **Distance**
- **Shielding**

Misure procedurali di prevenzione e protezione

- Il paziente deve essere istruito sulla **posizione da assumere** e sulla necessità di **stare fermo** per evitare il rischio di ripetizione dell'esame.
- Ogni persona deve abbandonare la sala con l'eccezione eventuale di un **accompagnatore in caso di esame endorale ad un paziente disabile**.
Tale accompagnatore **non deve essere un minore o una donna in gravidanza**, deve essere istruito su posizione e comportamento corretti e dotato di un **camice piombifero**.
- Nessuno deve affacciarsi a porte o finestre per osservare il paziente durante l'esame, se non si tratta di porte o finestre schermate.
- Nel caso di **esposizione a scatto** (radiologia endorale o teleradiografia "one shot"), l'operatore che comanda l'erogazione deve essere in grado di effettuare l'erogazione **immediatamente dopo aver controllato** la corretta posizione del paziente attraverso la porta, una finestra o uno specchio.
- Nel caso di **esposizione a scansione** (panoramica, teleradiografia a scansione o CT cone beam), l'operatore deve poter **controllare a vista il paziente durante l'intera erogazione**, con un sistema di osservazione che gli consenta di occupare una posizione sicura (porta con finestra piombifera, monitor, specchio).

Norme interne di sicurezza

- In ogni luogo ove si impieghino radiazioni ionizzanti, devono essere affisse e poste in vigore apposite **norme interne di radioprotezione**
- Alle norme devono attenersi tutti coloro che, a qualunque titolo, sono presenti nei luoghi ove operano gli apparecchi
 - **Chi comanda l'erogazione** ha la responsabilità di verificarne il rispetto
 - **Il personale femminile** ha l'obbligo di denunciare il proprio stato di gravidanza appena ne venga a conoscenza (art. 111, comma 1, lett. e)



Ammenda da 150 a 500 €

Cartelli di segnalazione



*Pericolo generico di
radiazioni ionizzanti*



*Divieto di accesso alle
persone non autorizzate*

Principi base di radioprotezione del paziente

- 1) Giustificazione della pratica**
(preliminare e individuale)
- 2) Ottimizzazione della protezione**
(preliminare e individuale)
- 3) Livelli diagnostici di riferimento**

Nei confronti dei pazienti esposti non si applicano i limiti di dose

Principi base di radioprotezione del paziente

Ottimizzazione = principio *ALARA*

**As Low As
Reasonably
Achievable**

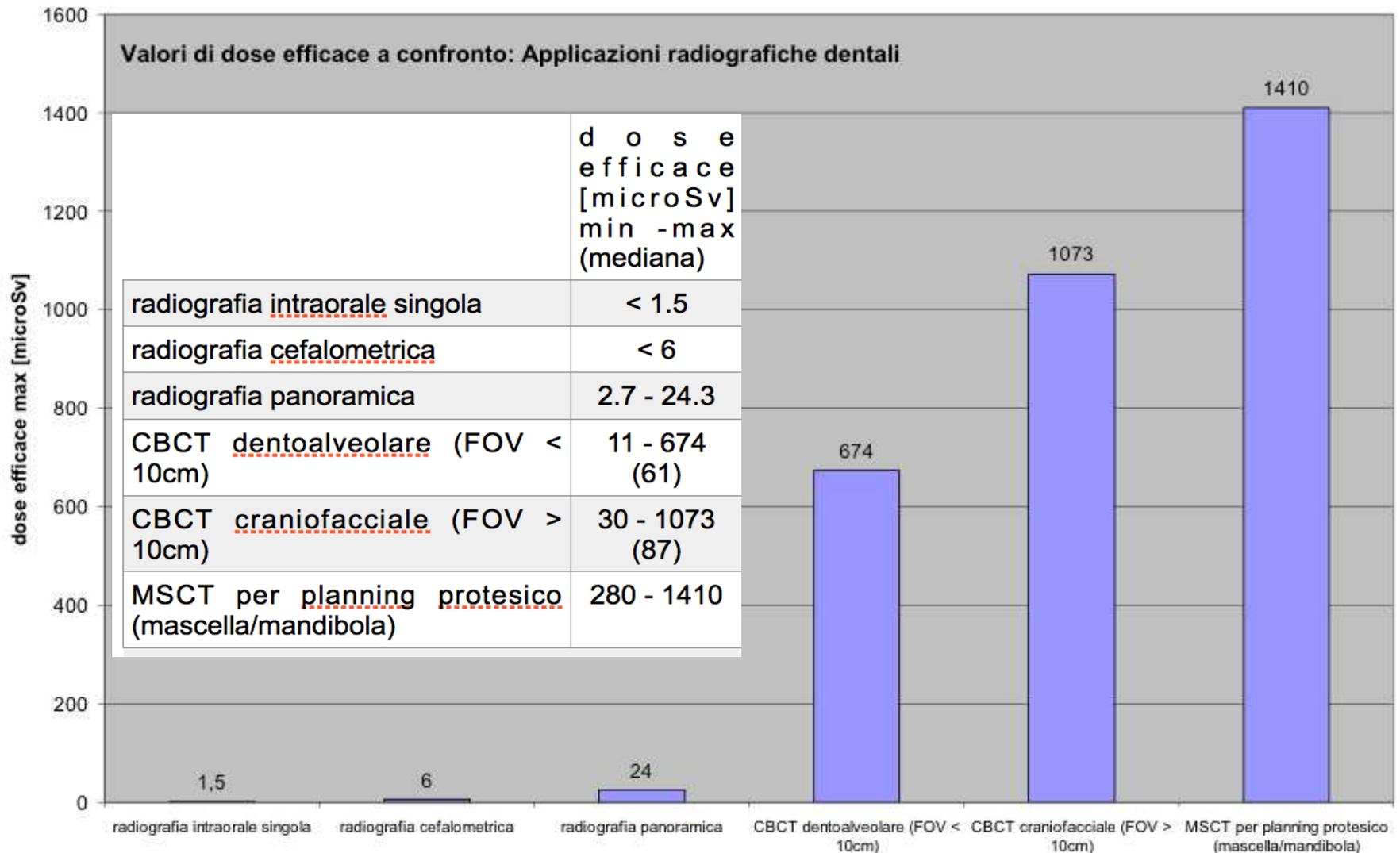
Dosi da esami radiologici

Valori medi della dose efficace per alcuni esami radiologici

[Rad. Prot. n. 136, MHRA Ev. Cen. UK Dep. Health, 2003]

	dose efficace [mSv]	
	TC	R-X conv.
Mandibola	0,8	<0,02 (OP)
Testa	2	0,03
Torace	8	0,02
Addome	10	0,7
Pelvi	10	0,7

Dosi da esami odontoiatrici



Dosi da esami odontoiatrici

Tipo di esame dentale	Dose efficace, μSv
Esame radiografico dentale <u>intraorale</u>	1 – 8
Esame panoramico dentale	4 – 30
Esame <u>cefalometrico</u>	2 – 3
Esame CBCT (per piccoli volumi <u>dentoalveolari</u>)	34 – 652
Esame CBCT (per grandi volumi cranio-facciali)	30 – 1079

Da: Raccomandazioni per l'impiego corretto delle apparecchiature TC volumetriche «Cone beam» (G.U. Serie Generale n. 124 del 29 maggio 2010)

Esempio di Norme interne in radiologia odontoiatrica



RADIOPROTEZIONE DEI LAVORATORI (Titolo XI)

- Il locale ove opera l'apparecchio radiogeno è classificato **«Zona Controllata»** quando l'apparecchio è in funzione. L'accesso ad esso durante l'emissione di raggi è vietato a chiunque con l'eccezione del paziente. Tutto il personale sanitario della struttura è classificato **«lavoratore non esposto»**.
- Prima di procedere all'erogazione dei raggi X, l'operatore verifica che nel locale non sia presente alcuna persona oltre al paziente da sottoporre all'indagine radiologica e allontana ogni oggetto mobile dell'arredamento che si trovi, qualora ciò non derivi da una necessità, in prossimità della testa del paziente e dell'apparecchio. Quindi si dispone nella posizione di comando assegnata all'esterno del locale ed evita a chiunque l'ingresso accidentale nel locale e la sosta nell'atrio antistante la porta di accesso. Le porte schermate dei locali classificati *Zona Controllata*, ove presenti, devono essere completamente chiuse durante l'erogazione raggi.
- L'apparecchio radiogeno deve recare apposito **contrassegno**, deve essere dotato di **segnalatore di radiazioni** acustico o luminoso funzionante. Deve essere presente un sistema di **interruzione di emergenza** dell'erogazione (pulsante di erogazione di tipo «a uomo morto» o altro sistema). L'ottimizzazione della radioprotezione si ottiene seguendo poche regole fondamentali, compatibilmente con la qualità dell'immagine attesa:

(1) Ridurre al minimo il **numero di esposizioni**;

(2) Ridurre ai **minimi accettabili FOV, kV, mA e tempi e aumentare la dimensione del voxel**;

(3) Ripararsi dietro **schermature adeguate** e tenersi alla massima distanza dalla testa del paziente.



- Gli esami radiologici sono effettuati direttamente o sotto lo stretto controllo dello specialista (medico dentista o odontoiatra) in possesso delle necessarie competenze e formazione di radioprotezione o, ove presente, del tecnico di radiologia.
- Occorre effettuare esami radiologici solo quando tale tecnica non sia ragionevolmente sostituibile con altra ugualmente efficace, ma con minori rischi per la persona. Occorre evitare esposizioni inutili, limitando il numero di esami radiodiagnostici e i parametri dell'utilizzo al minimo indispensabile alle esigenze cliniche, in particolare per cone beam CT occorre **ridurre le dimensioni del FOV alle minime indispensabili**. Occorre accertarsi che il paziente non sia già in possesso di referto analogo effettuato recentemente altrove. Occorre valutare con attenzione l'esposizione di **bambini, soggetti immunodepressi e donne in gravidanza**. A tal fine occorre ottenere dal paziente le informazioni opportune.
- Il paziente da sottoporre all'indagine radiologica deve essere protetto con un collare piombifero idoneo **che ripari la tiroide** di spessore non inferiore a 0.25 mm Pb-eq, **unicamente se il collare non produce artefatti nell'immagine**. In ortopantomografia, teleradiografia o cone beam CT non dovrà portare occhiali, collane o orecchini. Dovrà essere messo al corrente delle norme che lo riguardano, in particolare sulla necessità di rimanere fermo nella posizione indicatagli. Ove presenti, occorre **verificare con i dispositivi a laser la corretta centratura della parte irradiata**. Solo in caso di esame endorale e di incapacità del paziente, questi può essere assistito da un suo **accompagnatore** che non sia una donna in stato di gravidanza o un minore di 18 anni e che sarà dotato di grembiule piombifero da almeno 0.25 mm Pb. Il compito di assistenza non può essere svolto da personale dello studio.
- L'operatore, eseguendo ortopantomografie, teleradiografie a scansione o cone beam CT, senza esporsi, deve tenere il paziente sotto stretta osservazione visiva in modo da arrestare l'esame in caso di **movimento del capo** e onde evitare il rischio di dosi assorbite in condizioni di **incidente** (erogazione continua per guasto all'apparecchio). In tale caso deve far uscire subito il paziente dal locale, interrompere nel modo più rapido l'alimentazione elettrica evitando di esporsi al fascio diretto e ripristinare l'alimentazione solo dopo aver scollegato l'apparecchio.
- L'apparecchio radiogeno deve essere usato unicamente con gli appositi localizzatori, distanziatori e limitatori del fascio utile previsti dal costruttore. **Nessuna operazione di manutenzione** sul tubo radiogeno deve essere svolta da personale dello studio, ma per qualunque intervento deve essere chiamato un tecnico specializzato della ditta installatrice.

Informazioni per le pazienti in sospetto o accertato stato di gravidanza



ai sensi dell'art. 166 e dell'Allegato XXV, parte I, sub 1

- L'odontoiatra è tenuto per Legge a **conoscere l'eventuale stato di gravidanza** della paziente, al fine di decidere dell'esecuzione di esami radiologici.
- Pertanto la paziente deve informare il medico sul suo stato di sospetta o accertata gravidanza.
- In caso di gravidanza sospetta o accertata sarà valutata con maggiore attenzione la necessità di effettuazione di esami radiologici.
- Si informa la paziente che in una radiografia dentale la **dose al feto** è inferiore a 0.01 mSv (milliSievert), che è meno di 1/100 della dose che ogni anno assorbiamo dal fondo naturale di radiazioni (radiazioni naturali presenti costantemente intorno a noi). Ne deriva che **il rischio per il feto da esami odontoiatrici è trascurabile.**

Informazioni per accompagnatori di pazienti



- L'accompagnatore può sostare accanto al paziente durante l'esame **endorale** solo se la sua presenza è indispensabile.
- Occorre evitare accompagnatori appartenenti ad una della seguenti categorie:
 - **Minori di 18 anni**
 - **Donne in gravidanza**
- Occorre **limitare la ripetizione** di esposizioni per il medesimo accompagnatore.
- L'accompagnatore deve indossare l'**indumento protettivo** fornitogli dal medico.
- Durante l'esame deve **disporsi nella posizione indicatagli** per avere la maggior efficacia con la minor dose assorbita. Tale posizione sarà dietro o a lato del tubo RX con il corpo alla massima distanza possibile dalla testa del paziente (con il braccio disteso in caso di sostentamento della pellicola tramite il centratore)
- Si informa l'accompagnatore che:
 - Il fascio di raggi X ha dimensioni ridotte
 - Investe completamente il paziente se il collimatore da cui sono erogati i raggi è a contatto con la cute
 - L'unica radiazione significativa presente nell'ambiente è la radiazione diffusa dalla testa del paziente
 - L'intensità della radiazione diffusa è comunque bassa
 - Al di fuori del tempo di erogazione la radiazione scompare istantaneamente
 - La dose si riduce molto aumentando la distanza
 - La dose assorbita al corpo intero sarà inferiore a 0.1 mSv (milliSievert), cioè meno di 1/10 della dose che ogni anno assorbiamo dal fondo naturale di radiazioni (radiazioni naturali presenti costantemente intorno a noi)

Abbiamo terminato

