

IL RISCHIO DA RADIAZIONI IONIZZANTI

Stefano De Crescenzo



Finalità



**informazioni fondamentali
sulle modalità di produzione
del danno da radiazioni**



**Informazioni fondamentali
sui principali danni dovuti
alle radiazioni ionizzanti**



**Informazioni al fine di
dimensionare correttamente
il rischio professionale**



**Informare sui diritti e i
doveri previsti dalla normativa
vigente**

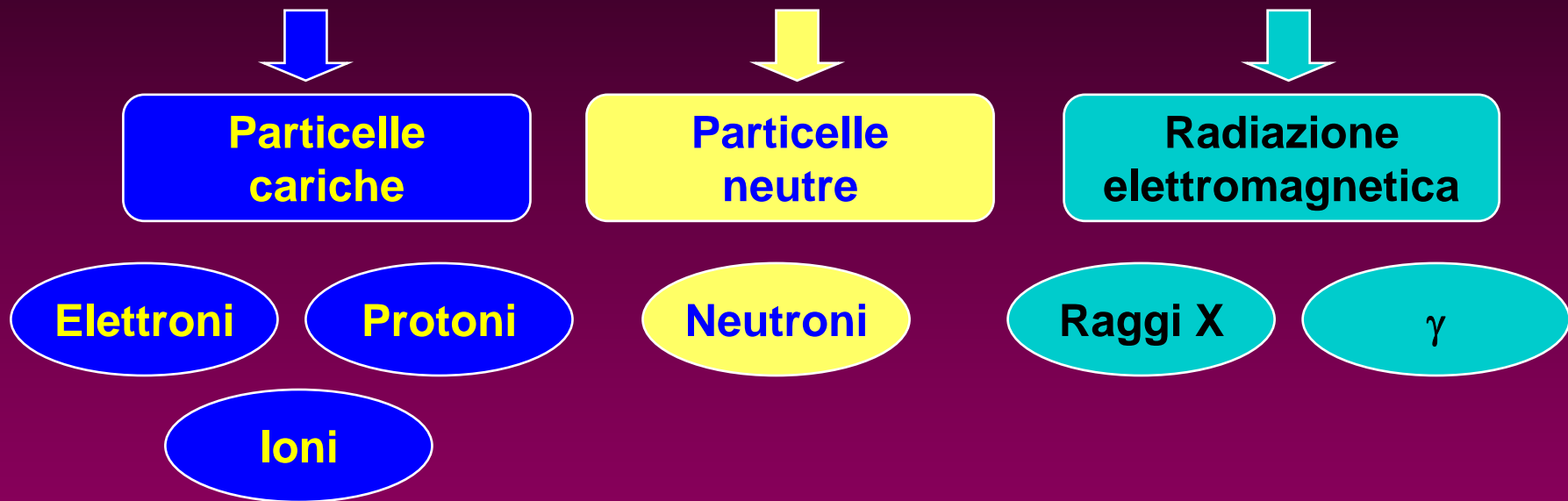


GENERALITÀ

Per **radiazione ionizzante** si intende la propagazione di energia attraverso lo spazio in grado di penetrare nella materia e di crearvi delle ionizzazioni (cariche elettriche)



RADIAZIONI IONIZZANTI

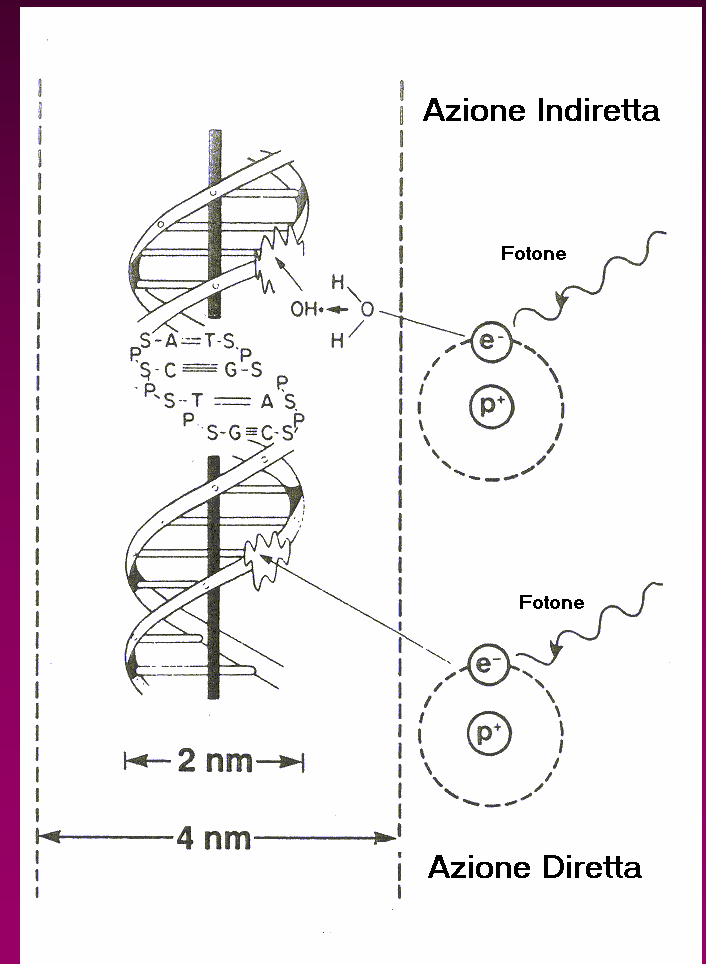


Sono emesse dagli atomi di alcune particolari sostanze (radioattive) o prodotte da apparecchi o impianti ideati dall'uomo (tubi a raggi X, acceleratori di particelle, reattori, ecc.)



MODALITA' DI INDUZIONE DEL DANNO

- La ionizzazione prodotta all'interno della materia vivente induce vari processi chimici responsabili della formazione di radicali liberi (H^+ e OH^-)
- I radicali liberi possono attaccare le molecole complesse che compongono le cellule e dare luogo ad alterazioni cellulari quali morte della cellula stessa, arresto o rallentamento del suo processo di divisione, oppure modificazione cromosomica permanente che viene trasmessa alle cellule figlie (mutazione)



DOSE

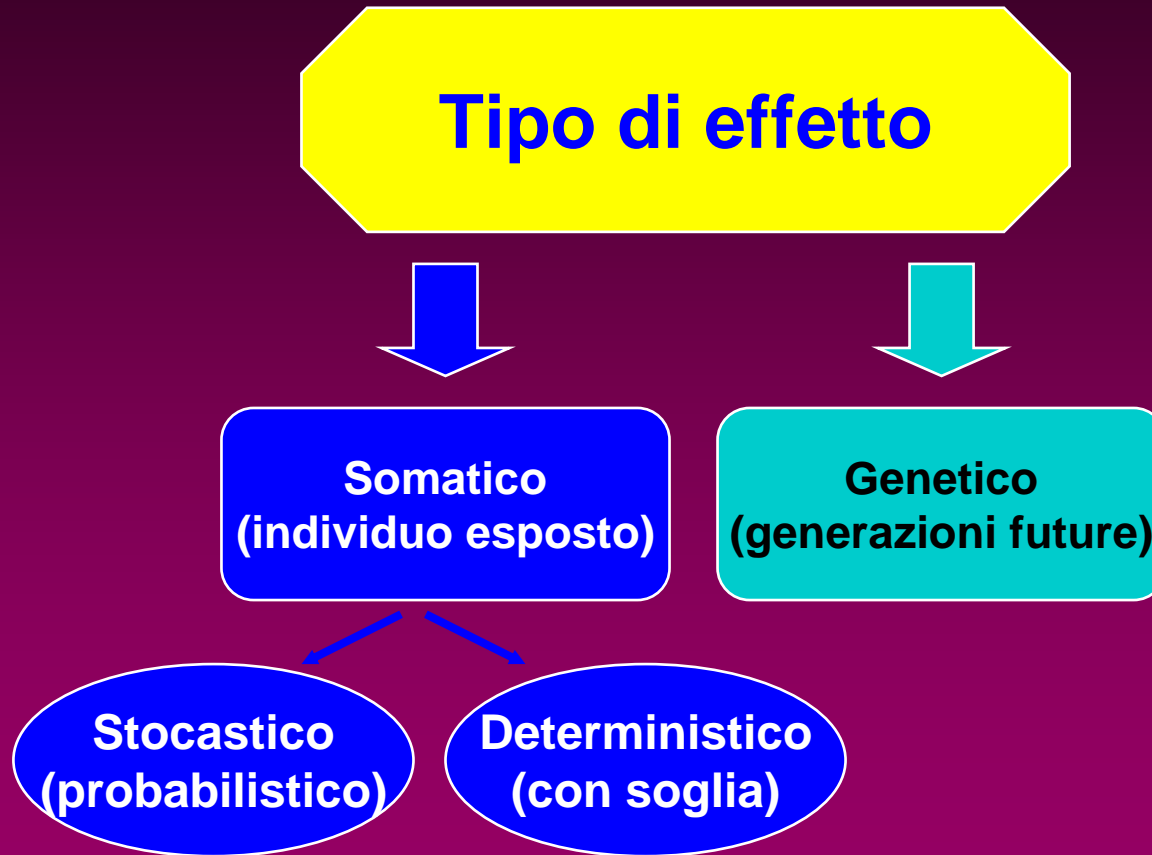


L'effetto biologico dipende anche dalle modalità con cui la radiazione cede energia al tessuto

viene pertanto definita una nuova grandezza, che tiene conto di questo fatto, la **dose equivalente** (Sv), ovvero la dose assorbita moltiplicata per un fattore di ponderazione w_R , che tiene conto del diverso effetto biologico prodotto da campi di radiazione di qualità diversa



EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI



EFFETTI SOMATICI DETERMINISTICI

- **radiodermiti**: dal semplice eritema cutaneo immediato alla "radiodermite del radiologo", che insorge dopo diversi anni di latenza, ma che non regredisce più, fino ad evolvere, potenzialmente, in epiteloma spinocellulare
- **alterazioni ematologiche**: rappresentate da manifestazioni di aplasia midollare, con riduzione del numero di granulociti, linfociti e piastrine, e da anemie
- **alterazioni a carico dell'occhio**: rappresentate dalla cataratta, che può insorgere, anche a distanza di diversi anni, a seguito dell'esposizione ad una dose unica di **5-8 Sv**
- **danni agli organi genitali**: riduzione della fertilità o la sterilità per dosi superiori a 1 Sv



Sintomatologia a seguito di esposizione globale acuta di un individuo ad alte dosi

Settimane dopo l'esposizione	1-3 Gy (subletale)	4 Gy (letale)	> 6 Gy (sopraletale)
1	fase latente	nausea e vomito (1 giorno)	nausea e vomito, malessere, diarrea, febbre
2		depilazione, malessere generale	bocca e gola infiammate, ulcerazioni, deperimento, Morte
3	perdita appetito, depilazione, infiammazione gola, emorragie	perdita appetito, emorragia, diarrea, febbre, deperimento, Morte eventuale	
4	diarrea, Guarigione		
Sopravvivenza	certa salvo complicazioni;	possibile nel 50% dei casi	Impossibile



EFFETTI STOCASTICI

- **Effetti somatici stocastici**: sono rappresentati da lesioni neoplastiche, quali le leucemie e altre forme tumorali solide (cancro del polmone, tumore della mammella, carcinoma della tiroide, tumori dello scheletro, etc.)
- **Effetti somatici stocastici**: hanno tempi di latenza piuttosto lunghi: da tre anni per le leucemie e i tumori ossei a dieci anni per gli altri tumori solidi



DANNI EMBRIONALI E FETALI

- Si possono osservare sia la morte fetale, sia alterazioni dello sviluppo con rischi di malformazioni
- Nel primo mese di gravidanza dosi dell'ordine di 0.1 Sv ricevute dall'embrione possono provocare l'aborto
- Dalla fine del primo mese fino al terzo si possono produrre diversi tipi di malformazione, mentre dalla fine del terzo mese si possono indurre effetti tardivi, a carattere probabilistico, che si manifestano nei primi anni di vita del bambino



DANNI EMBRIONALI E FETALI

- **Rischio di ritardo mentale grave** a seguito di irradiazione nel periodo compreso tra l'ottava e la quindicesima settimana di gestazione e, con minor intensità, tra la sedicesima e la venticinquesima settimana
- **L'aborto e le malformazioni fetali** sono effetti a carattere deterministico con un valore soglia di circa **50 mSv**



STIMA DEL RISCHIO PER EFFETTI STOCASTICI

- Le stime di rischio relative agli effetti stocastici indotti dall'azione delle radiazioni ionizzanti possono essere ricavate unicamente dai dati relativi agli effetti osservati su alcuni gruppi di individui irradiati ad alte dosi
- Gli studi epidemiologici eseguiti su popolazioni o gruppi di individui irradiati a livelli bassi di dose, dell'ordine di quelli di interesse radioprotezionistico, non hanno finora portato ad alcuna conclusione statisticamente significativa



STIMA DEL RISCHIO PER EFFETTI STOCASTICI

I dati su cui si basano le stime di rischio sono quelli relativi a

**Sopravvissuti
Hiroshima e
Nagasaki**

**Minatori impiegati
nell'industria
estrattiva di sostanze
radioattive**

**Pazienti sottoposti a
indagini radiologiche
con m.d.c. contenente
sali di torio**

**Animali da
esperimento**

**Lavoratori a contatto con
vernici contenenti
sali di radio**

**Pazienti sottoposti
a radioterapia**



STIMA DEL RISCHIO PER EFFETTI STOCASTICI

- ◆ L'effetto delle radiazioni è maggiore sugli individui più giovani della popolazione
- ◆ Considerando separatamente il gruppo dei lavoratori, che hanno età compresa tra 18 e 65 anni, rispetto alla popolazione nel suo insieme, si possono stimare i seguenti livelli di rischio cautelativi:

popolazione totale
 $5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$

lavoratori
 $4 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$



STIMA DEL RISCHIO PER EFFETTI STOCASTICI

1 Sv a 100 individui della popolazione

Coefficiente di rischio
 $5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$

5 Tumori attesi

1 Sv a 100 lavoratori

Coefficiente di rischio
 $4 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$

4 Tumori attesi



STIMA DEL RISCHIO PER EFFETTI GENETICI

- tutti gli studi relativi all'uomo, compresi quelli sui sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki, non hanno mai messo in evidenza danni genetici
- Il rischio relativo per i lavoratori, tenendo conto che si tratta di individui di età compresa tra 18 e 65 anni, può essere stimato pari a circa $0.6 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$



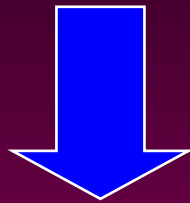
PRINCIPI GENERALI DELLA RADIOPROTEZIONE

**Prevenzione totale degli
effetti "deterministici"**

**Riduzione a livelli considerati
accettabili della probabilità di
accadimento degli effetti
"stocastici" secondo un sistema
di limitazione delle dosi**

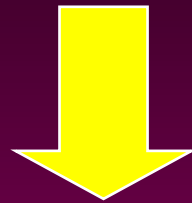


Principi generali della radioprotezione



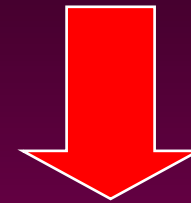
Giustificazione

Nessuna attività umana deve essere accolta a meno che la sua introduzione produca un beneficio netto e dimostrabile



Ottimizzazione

La dose di radiazione all'individuo deve essere mantenuta il più bassa possibile, tenendo conto delle condizioni tecniche, economiche e sociali.



Limitazione delle dosi

La dose equivalente ai singoli individui non deve superare determinati limiti appropriatamente sicuri



PRINCIPI GENERALI DELLA RADIOPROTEZIONE

- **Applicazione del principio di giustificazione:** è un atto squisitamente politico, in quanto si tratta di bilanciare necessità e problematiche di natura eterogenea, ovvero di ordine sanitario, economico, sociale, industriale, strategico, ecc..
- **Principio di ottimizzazione:** è estremamente difficile decidere, in presenza di risorse sempre limitate, fino a che punto è ragionevole spingere l'intervento radioprotezionistico



PRINCIPI GENERALI DELLA RADIOPROTEZIONE

- Nella pratica radioprotezionistica, sul posto di lavoro, l'ottimizzazione è largamente di tipo qualitativo e si basa su un idoneo **addestramento del personale** e sull'uso di **norme di buona tecnica**, oltre che su adeguati mezzi di protezione e strumentazione
- Aiutano a raggiungere questo scopo l'esperienza maturata e la professionalità nonché gli studi e le raccomandazioni degli organismi nazionali ed internazionali che operano in questo campo (**vincoli di dose**)



Protezione dei lavoratori

- Vengono raccomandati limiti di dose il cui superamento è da considerarsi inaccettabile
- I rischi di induzione di effetti stocastici sono diversi a seconda dell'organo o tessuto irradiato
- Per uniformare il rischio sia quando il corpo è irradiato uniformemente, sia quando è irradiata solo una parte di esso, si introduce una nuova grandezza, detta dose efficace, definita come:

$$H = \sum_T w_T H_T$$

⇒ H_T è la dose equivalente nell'organo o tessuto T

⇒ w_T è un fattore di ponderazione

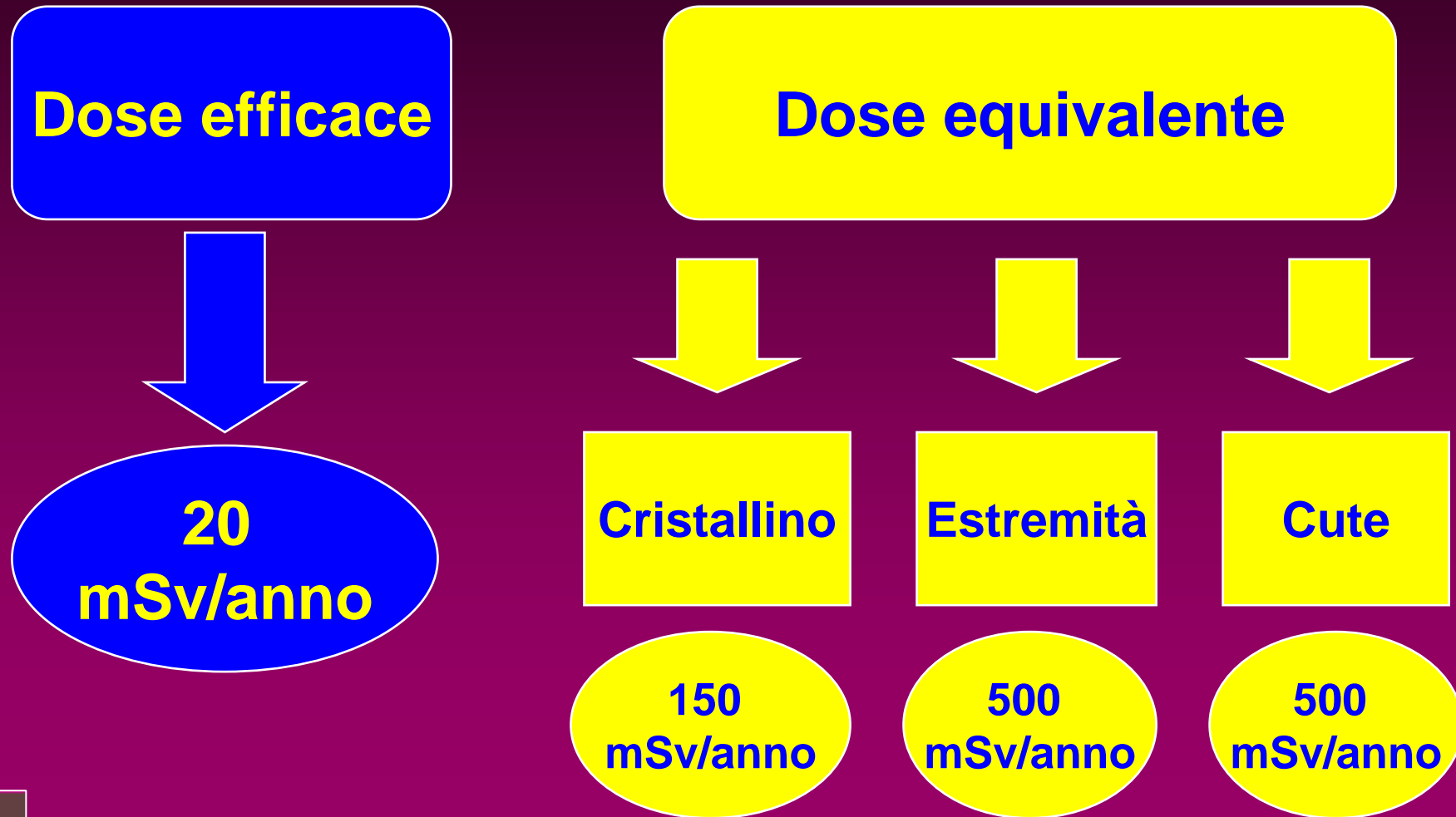


Stima del rischio di mortalità per tumore maligno

organo o tessuto	entità del rischio (% / Sv)
midollo rosso	0.97
vescica	0.39
mammella (*)	0.60
colon	0.79
polmoni	1.50
mieloma multiplo	0.22
ovaio (*)	0.31
esofago	0.34
stomaco	1.26
altri organi	1.10
Totale	7.10



Limiti di Dose (I.C.R.P. 60)



Limiti di Dose (I.C.R.P. 60)

- I limiti di dose raccomandati dalla Commissione devono intendersi come il livello di dose al di sopra del quale il rischio è da ritenersi non più tollerabile
- L'esposizione media dei lavoratori deve essere pianificata in modo da garantire un valore medio sicuramente inferiore (**Ottimizzazione**)
- La scelta di tale valore dipende dal tipo di lavoro e dalla possibilità di mettere in atto con maggiore o minore facilità adeguati sistemi di protezione
- In ambiente ospedaliero le modalità di lavoro sono tali per cui è possibile garantire livelli di esposizione per cui la dose efficace massima risulti essere dell'ordine di **5 mSv**



Esposizione media di un individuo dovuta a fonti di irradiazione presenti nell'ambiente

Fonte	esposizione media* (mSv/anno)
Raggi cosmici	0.355
Radionuclidi presenti in natura prodotti dalla radiazione cosmica	0.015
Radionuclidi primordiali	
irradiazione esterna	0.41
^{40}K ,	0.18
Famiglie radioattive (^{238}U e ^{232}Th)	1.42 (**)
Totale	≈ 2.4



Riduzione media della durata di vita dovuta ad incidenti in diverse attività lavorative

Attività lavorativa	Riduzione media della durata di vita (giorni)
Commercio	27
Industria manifatturiera	40
Servizi	27
Trasporti	160
Agricoltura	320
Costruzioni	227
Valore medio	60
Esposizione alle radiazioni (5 mSv/anno)	40

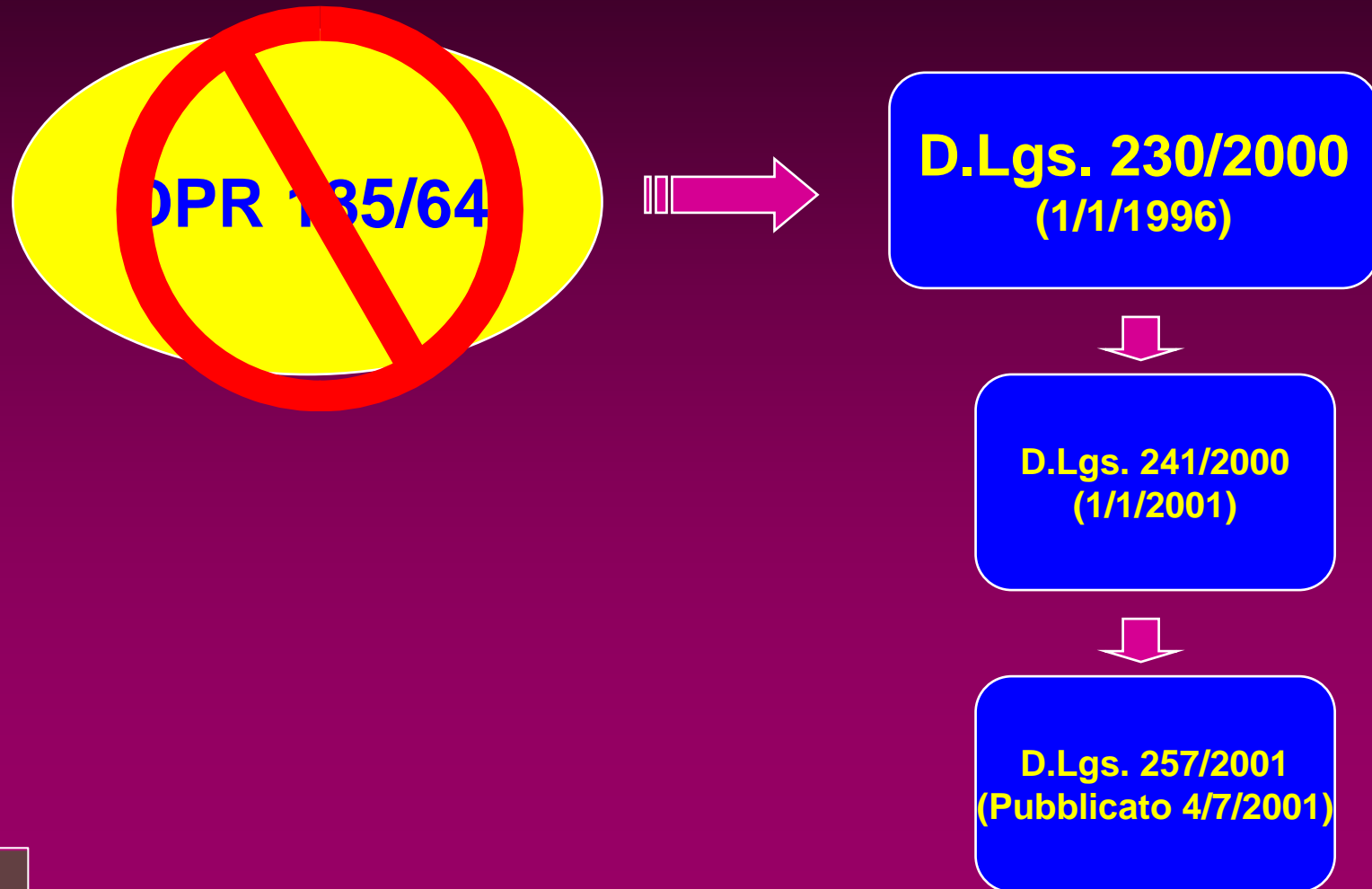


Riduzione media della durata di vita dovuta ad incidenti in diverse attività lavorative

Causa	Riduzione media della durata di vita (giorni)
Abuso di alcool	4000
Essere celibe, vedovo o divorziato	3500
Fumo (1 pacchetto di sigarette/giorno)	2250
Essere nubile, vedova o divorziata	1600
Essere sovrappeso (+ 20%)	1040
Incidenti con veicoli a motore	207
Alcool	130
Incidenti in casa	74
Fumo passivo	50
<u>Esposizione alle radiazioni lavoratori (5 mSv/anno)</u>	40
Cadute	28
<u>Esposizione alle radiazioni individui della popolazione (1 mSv/anno)</u>	18
Esami RX-diagnostici	6
Caffè	6
Bevande dietetiche	2
Acqua potabile	1.3



NORMATIVA



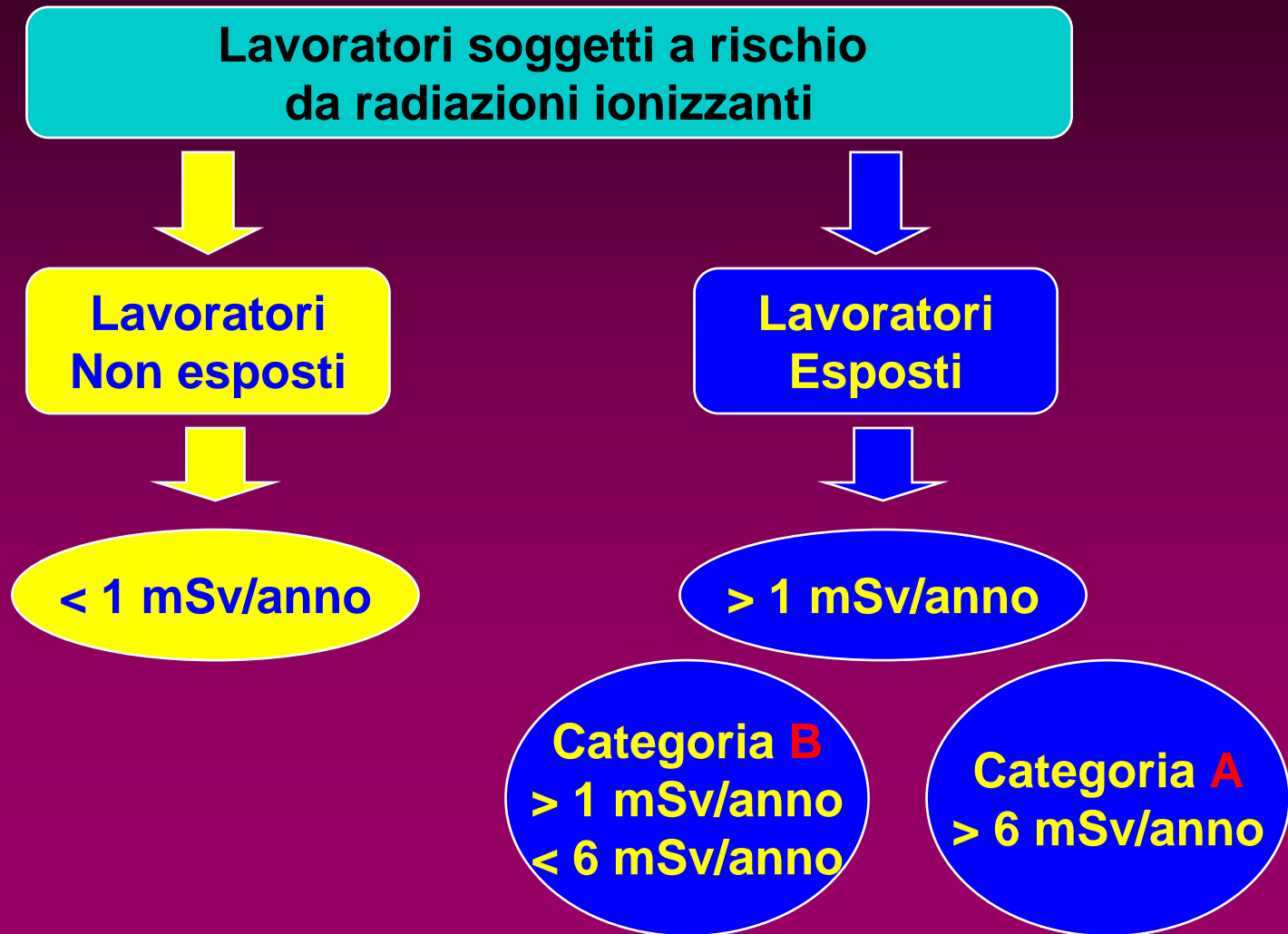
N O R M A T I V A

- L'attuale legislazione recepisce le Direttive della Comunità Europea in materia di radiazioni ionizzanti
- L'attuale legislazione tiene conto dei limiti di dose raccomandati nella pubblicazione 60 dell'I.C.R.P. 60 del 1990
- La protezione sanitaria dei lavoratori è regolamentata dal **Capo VIII** del D.Lgs 230/95 e successive modifiche e integrazioni



NORMATIVA

Classificazione dei lavoratori



NORMATIVA

Lavoratori Esposti di categoria A e B

- Sono classificati in categoria A i lavoratori esposti che, sulla base degli accertamenti compiuti dall'esperto qualificato, sono suscettibili di un'esposizione superiore, in un anno solare, ad uno dei seguenti valori:
 - ◆ 6 mSv per esposizione globale o di equivalente di dose efficace;
 - ◆ i tre decimi di uno qualsiasi dei seguenti limiti di dose:
 - a) 150 mSv per il cristallino;
 - b) 500 mSv per la pelle;
 - c) 500 mSv per mani, avambracci, piedi, caviglie
- Sono classificati in categoria B i lavoratori esposti non classificati in categoria A



NORMATIVA

Zone Classificate

**Zona
Sorvegliata**

**Accesso
regolamentato**

**Possibilità di
superamento dei
limiti di dose per la
popolazione**

**Zona
Controllata**

**Accesso
regolamentato**

**Condizioni di
lavoro degli esposti
di categoria A**



NORMATIVA

Sorveglianza

Fisica

**Esperto
Qualificato**

Medica

**Medico
Competente**

**Medico
Autorizzato**

**Esposti
Categoria B**

**Esposti
Categoria
A e B**



NORMATIVA

art. 61 D.Lgs. 230/95

- ◆ I datori di lavoro, i dirigenti e i preposti devono attuare le cautele di protezione e sicurezza previste per legge
- ◆ I datori di lavoro, prima dell'inizio dell'attività debbono acquisire da un esperto qualificato una relazione scritta contenente le valutazioni e le indicazioni di radioprotezione inerenti alle attività stesse



N O R M A T I V A

Obblighi dei datori di lavoro dei dirigenti e dei preposti

- segnalazioni e regolamentazione degli accessi alle zone classificate
- classificazione dei lavoratori
- predisposizione delle norme di protezione e sicurezza e verifica della loro presenza e consultabilità
- dosimetria personale
- formazione e informazione
- verifica del rispetto delle norme
- identificazione delle sorgenti di radiazione
- informazione dei lavoratori sui risultati della sorveglianza dosimetrica



NORMATIVA

art. 72 e 73 D.Lgs. 230/95

- ◆ Il datore di lavoro è tenuto ad attuare tutte le misure di sicurezza e protezione idonee a ridurre le esposizioni dei lavoratori al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenendo conto dei fattori economici e sociali
- ◆ A tal fine gli impianti, le apparecchiature, le attrezzature, le modalità operative debbono essere rispondenti alle norme specifiche di buona tecnica, ovvero garantire un equivalente livello di radioprotezione
- ◆ I datori di lavoro, i dirigenti ed i preposti devono adottare i provvedimenti idonei ad evitare che vengano superati i limiti di dose fissati, nonché ad assicurare il rispetto delle condizioni di esposizione per le lavoratrici, le apprendiste e le studentesse in età fertile



N O R M A T I V A

art. 68 D.Lgs. 230/95 (Obblighi dei lavoratori)

- 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;
- usare secondo le specifiche istruzioni i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica predisposti o forniti dal Datore di Lavoro;
- 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 le altre eventuali condizioni di pericolo di cui vengano a conoscenza;
- non rimuovere né modificare, senza averne ottenuta l'autorizzazione, i dispositivi e gli altri mezzi di sicurezza, di segnalazione, di protezione e di misurazione;



N O R M A T I V A

art. 68 D.Lgs. 230/95 (Obblighi dei lavoratori)

- non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di loro competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza;
- sottoporsi alla sorveglianza medica;
- I lavoratori che svolgono per più datori di lavoro, attività che li espongano al rischio da radiazioni ionizzanti, devono rendere edotto ciascun datore di lavoro delle attività svolte presso gli altri, ai fini di quanto previsto all'art. 66 del D.Lgs 230/95. Analoga dichiarazione deve essere resa per eventuali attività pregresse. I lavoratori esterni sono tenuti ad esibire il libretto personale di radioprotezione all'esercente di Zone Controllate prima di effettuare le prestazioni per le quali sono stati chiamati

