

**INAIL**

# Cenni di radioprotezione: il radon come caso-studio

**Rosabianca Trevisi**

Laboratorio Agenti Cancerogeni e Mutageni –  
DiMEILA - INAIL Settore Ricerca e Certificazione

Prima di tutto, qualche cenno di base sulle radiazioni ionizzanti e sulle grandezze che si utilizzano in radioprotezione.....

# GENERALITA' SULLE RADIAZIONI

**Radiazione:** trasferimento di **energia** da un punto ad un altro nello spazio senza che vi sia movimento di corpi macroscopici e senza il supporto di un mezzo (materiale)



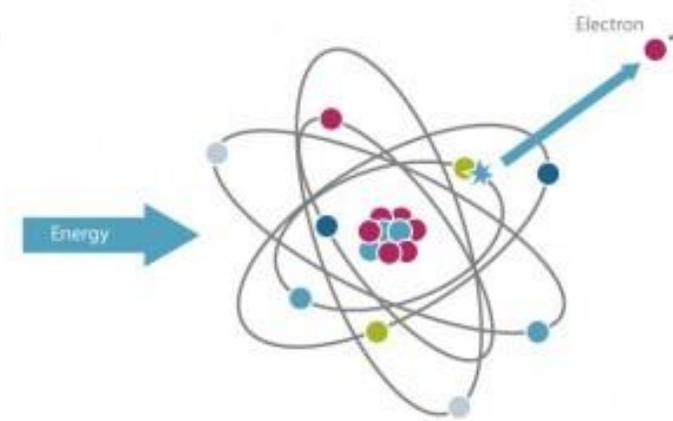
Sono costituite da **particelle sub-atomiche** che si muovono a velocità elevate (spesso prossime alla velocità della luce)

- **Particelle cariche leggere** (elettroni e positroni)
- **Particelle cariche pesanti** (protoni e particelle  $\alpha$ )
- **Particelle neutre** (neutroni)

# GENERALITA' SULLE RADIAZIONI: RADIAZIONI IONIZZANTI

Interagiscono con il mezzo che attraversano tramite forze di natura elettrica.

Se interagiscono con una energia sufficiente abbiamo la ionizzazione degli atomi o molecole del mezzo attraversato



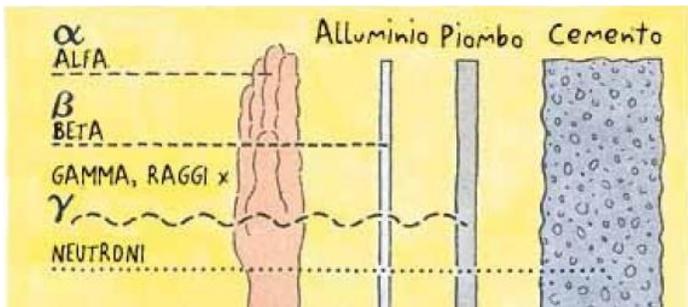
## RADIAZIONE IONIZZANTE



**Direttamente:**  
Particelle cariche la cui energia è sufficiente a produrre una ionizzazione per collisione (elettroni, protoni, particelle  $\alpha$ )



**Indirettamente:**  
Particelle prive di carica elettrica (raggi X, raggi  $\gamma$ , neutroni) possono mettere in moto particelle direttamente ionizzanti



# RADIOPROTEZIONE – CENNI STORICI

Due date importanti:

**1895** scoperta dei raggi X (Wilhelm Conrad Roetgen)

**1896** scoperta della radioattività (Henry Bequerel)

Alla fine dell'800 scoperta delle radiazioni e della radioattività: ben presto prendono avvio studi sulle importanti applicazioni in medicina, fisica e chimica.

Si ignorano i rischi ad esse associati per cui l'uso di raggi X senza alcuna protezione procura grandi dosi da radiazioni e mette in luce che queste possono causare seri effetti biologici.



RX della mano di Roetgen in occasione del primo annuncio



W.C.Roetgen

# RADIOPROTEZIONE – CENNI STORICI

Parallelamente agli studi sulle applicazioni della radioattività alle varie scienze, aumentano le evidenze degli effetti dannosi per la salute per cui iniziano a considerarsi anche possibili modalità per proteggere le persone da tali effetti.

## Nascita della radioprotezione



Henry Becquerel

Già nel 1928 si definiscono norme protettive (standard) da applicare quando si utilizzano le radiazioni ionizzanti; si definì un'unità di misura per esprimere quantitativamente la radiazione ionizzante, il röntgen.

Nel 1928 nasce anche una commissione internazionale, nel 1950 denominata ICRP (*International Commission on Radiological Protection*; [www.icrp.org](http://www.icrp.org)), il cui scopo è di emanare **raccomandazioni** sul valore della dose massima di radiazione che può essere assorbita dall'uomo **senza danno**.

# RADIOPROTEZIONE - DEFINIZIONE

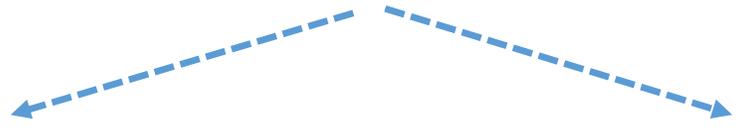
*Radioprotezione: protezione sanitaria contro le **radiazioni ionizzanti***

La radioprotezione è una disciplina che studia i metodi per salvaguardare l'uomo dai danni biologici che le radiazioni di qualunque genere possono provocare.

Lo scopo principale della radioprotezione è limitare, oltre agli **effetti dannosi deterministici, gli effetti stocastici somatici (per es. carcinogenesi) e genetici (effetti ereditari)** provocati dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti

# RADIOPROTEZIONE – FILOSOFIA

La filosofia che governa gli standard di radioprotezione nel tempo si è molto evoluta. I cambiamenti sono stati determinati da due fattori:



**Disponibilità di nuove evidenze sperimentali o epidemiologiche sugli effetti delle radiazioni sui sistemi biologici**

**Cambiamenti di posizione (per ragioni etiche, economiche, sociali, ecc.) verso i rischi accettabili**

**Già nel 1902 si introduceva un primo limite di dose**

# RADIOPROTEZIONE – FILOSOFIA - LIMITE

per prevenire l'inizio degli effetti (ad es. ulcerazioni della pelle) che si manifestavano dopo intense esposizioni a campi di radiazione (**Effetti deterministici**).



Per prevenire effetti a lungo termine (ad es. tipologie di cancro osservate nella popolazione di persone esposte alle radiazioni a seguito della bomba atomica di Hiroshima e Nagasaki, oppure che avevano ricevuto dosi elevate per uso medico) – (**Effetti stocastici**).



Approccio basato su stime di rischio

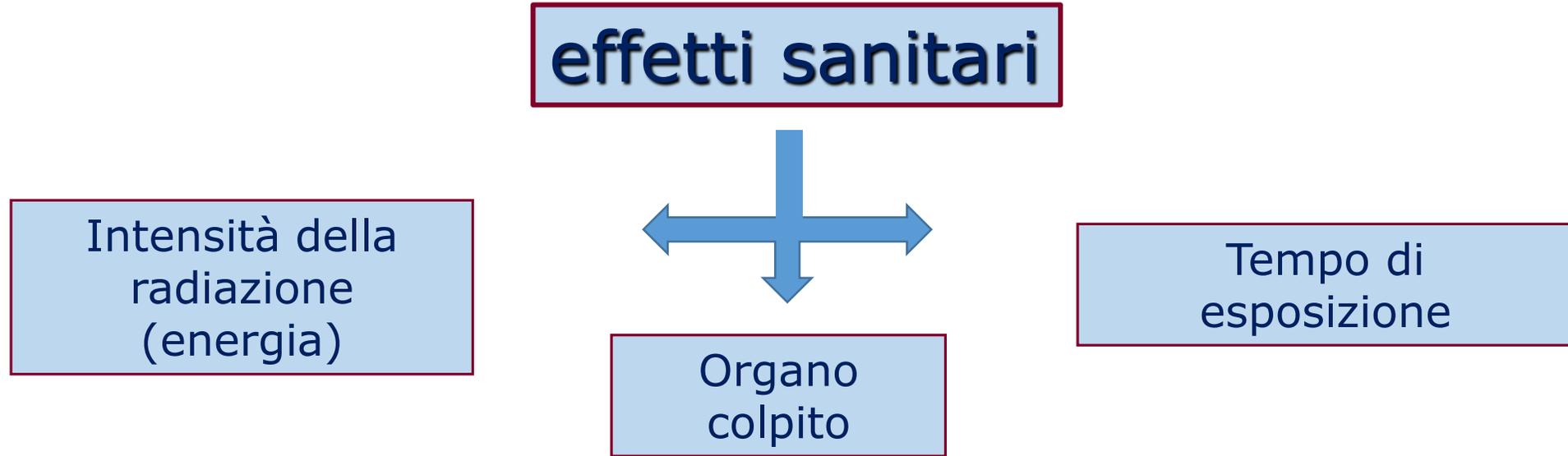
# RADIOPROTEZIONE – FILOSOFIA - LIMITE

E' bene ricordare che i danni si manifestano dopo esposizione a dosi elevate o elevati ratei di dose (dosi ricevute per tempi prolungati)



Le informazioni ottenute da queste popolazioni esposte a dosi elevate devono essere scalate verso le basse dosi e/o bassi ratei di dose per stimare i rischi che si verificano nella popolazione in generale o in situazioni lavorative.

# EFFETTI SANITARI



Nel corpo umano la ionizzazione può causare fenomeni chimici come la rottura di catene molecolari, la formazione di radicali liberi ecc.

Tali fenomeni possono portare lesioni sia a livello cellulare che dell'organismo.

# EFFETTI SANITARI



Gli **effetti stocastici** sono caratterizzati da una **probabilità di accadimento** in funzione **della dose ricevuta** e **dall'assenza di qualsiasi valore di soglia** per la loro manifestazione.

Per essi, **non è possibile stabilire a livello individuale un nesso di causalità tra effetto osservato e dose ricevuta.**

Gli **effetti deterministici** si verificano soltanto quando la **dose eccede ben determinati valori** e la loro **gravità** dipende dalla **dose ricevuta.**

**I valori di soglia** dei vari effetti deterministici sono di norma sufficientemente **ben conosciuti** e sempre **piuttosto elevati** in confronto con i livelli di dose oggi riscontrabili nelle situazioni di maggior interesse pratico.

# EFFETTI SANITARI – MODELLO DI LINEARITÀ SENZA SOGLIA (LNT)

L'ipotesi di linearità senza soglia equivale a quella di ammettere che ogni dose, per quanto piccola, possa comportare effetti dannosi, anche gravi, per la salute degli individui esposti.

Alle ALTE DOSI -> EFFETTI DETERMINISTICI

Alle BASSE DOSI -> EFFETTI STOCASTICI  
(probabilistici)

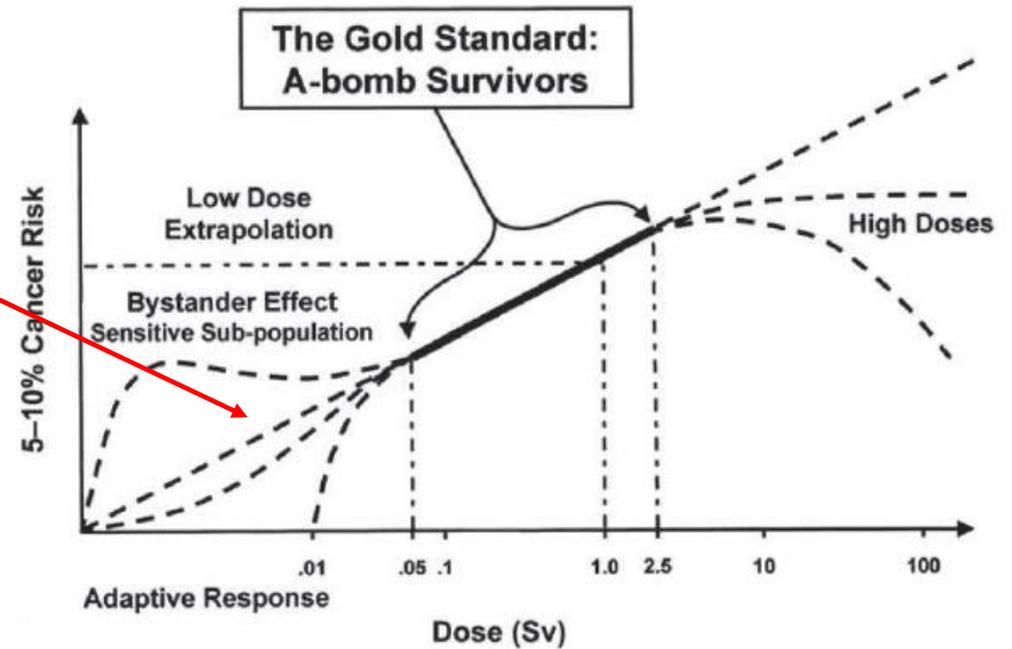


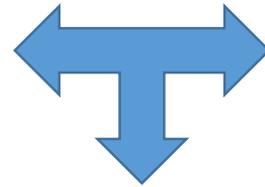
Figura 1: Curve di rischio che presentano i possibili andamenti del rischio di cancro in funzione della dose.

**La radioprotezione punta a limitare la probabilità di questi effetti (rischio) entro limiti accettabili**

# LA DOSE

Necessità di definire una grandezza in grado di mettere in relazione

l'**energia** rilasciata dalla radiazione nella materia



gli **effetti** radiobiologici prodotti nella materia stessa



**DOSE  
ASSORBITA**

E' la grandezza fisica più importante nell'esprimere gli effetti delle radiazioni

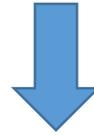
è definita come il rapporto tra l'energia ceduta in un volumetto di materia dalla radiazione e la massa dello stesso volumetto di materia

Dose assorbita       **$D = d\varepsilon / dm$     (J/kg = 1 Gray)**

$d\varepsilon$  = energia media ceduta dalla radiazione alla massa  $dm$

# LA DOSE EQUIVALENTE

I diversi tipi di radiazioni ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , X, neutroni, ecc.) -nell'interazione con la materia- non si comportano allo stesso modo. E' stato necessario quindi definire dei fattori di ponderazione sulla base della «qualità» della radiazione



Si utilizza un fattore di ponderazione  $w_R$  e dipende esclusivamente dal tipo della radiazione.

$$\text{Dose Equivalente: } H = w_R \cdot D \text{ (Sv)}$$

La radiazione alfa è quella che, a parità di dose assorbita, produce gli effetti biologici maggiori, quindi ha un fattore di ponderazione pari a 20.

La **dose equivalente** misura gli effetti biologici dell'assorbimento di radiazioni su un determinato organo o tessuto e tiene conto della diversa pericolosità dei vari tipi di radiazione.

**LA DOSE EQUIVALENTE NON E' UNA GRANDEZZA FISICA  
E' UNA GRANDEZZA RADIOPROTEZIONISTICA**

# FATTORI DI PONDERAZIONE $w_R$ IN BASE AL TIPO DI RADIAZIONE IONIZZANTE

Type of radiation, R	Energy range	Quality or weighting factor, $w_R$
Photons, electrons	All energies	1
Neutrons	<10 keV	5
	10–100 keV	10
	100 keV–2 MeV	20
	2–20 MeV	10
	>20 MeV	5
Protons	<20 MeV	5
Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei		20

# LA DOSE EFFICACE

A parità di dose assorbita o equivalente , non tutti i tessuti biologici riportano lo stesso danno, ma hanno reazioni molto disparate fra loro.

In radioprotezione si definisce la

Dose assorbita in un tessuto (T) o organo

$$D_T = \varepsilon_T / m_T \text{ (Sv)}$$

$\varepsilon_T$  = energia totale ceduta al tessuto (T) o all'organo

$m_T$  = massa del tessuto (T) dell'organo

# LA DOSE EFFICACE

La **DOSE EFFICACE** pondera la radiazione con un fattore che tiene conto della risposta di ciascun organo o tessuto alla data radiazione.

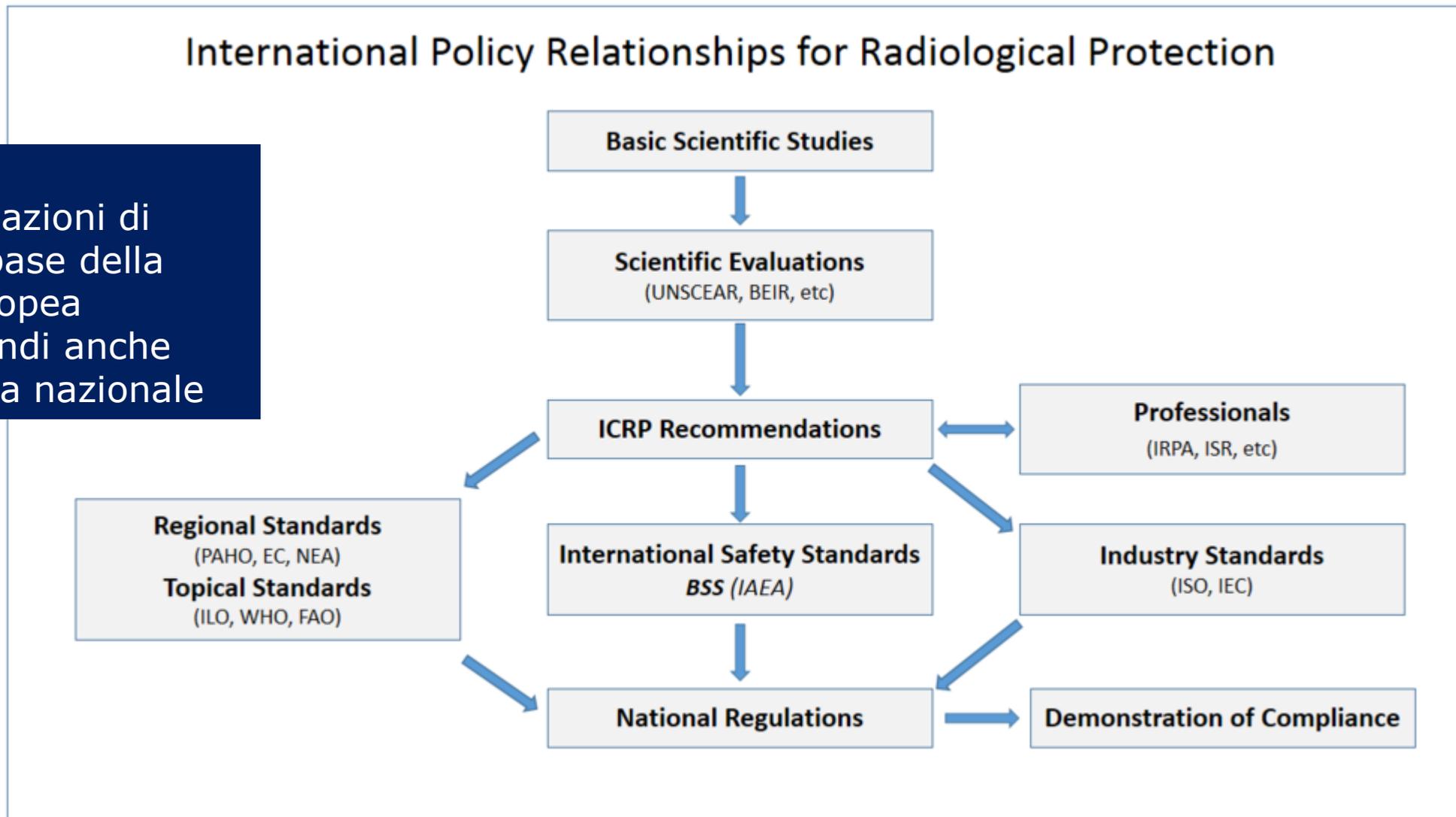
$$E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

Anche la dose efficace non è una grandezza fisica ma esclusivamente radioprotezionistica, che si determina a partire dalla dose assorbita e da fattori relativi alla capacità di penetrazione della radiazione e di suscettibilità dell'organo colpito.

Tissue	Weighting factors, $w_T$
Gonads	0.20
Red bone marrow	0.12
Colon	0.12
Lung	0.12
Stomach	0.12
Bladder	0.05
Breast	0.05
Liver	0.05
Oesophagus	0.05
Thyroid	0.05
Skin	0.01
Bone surface	0.01
Remainder	0.05

# SISTEMA INTERNAZIONALE DI RADIOPROTEZIONE

Nota:  
Le Raccomandazioni di ICRP sono la base della normativa europea (Direttive) quindi anche della normativa nazionale



# PRINCIPI GENERALI DELLA RADIOPROTEZIONE

**Il sistema di radioprotezione si basa su 3 principi enunciati dalla ICRP nel 1987:**

- a) il principio di giustificazione:** nessuna attività umana che comporta rischio da radiazioni deve essere accolta a meno che produca un beneficio netto e dimostrabile; beneficio > danno
- b) il principio di ottimizzazione:** ogni esposizione alle radiazioni deve essere tenuta tanto bassa quanto è ragionevolmente ottenibile, facendo luogo a considerazioni economiche e sociali;
- c) il principio di applicazione dei limiti di dose.** In particolare, la ICRP ha fissato due diversi limiti di dose per gli individui allo scopo di evitare gli effetti deterministici e ridurre a un livello convenientemente basso il rischio di effetti stocastici.

# Quando si applica questo sistema? In quali situazioni? (ICRP n.103 del 2007)

Possiamo distinguere diverse situazioni di esposizione alle radiazioni:

- **Situazione di esposizione pianificata (situazioni che comprendono l'introduzione e la gestione intenzionali di sorgenti)** ad es. esposizioni mediche, uso pacifico dell'energia nucleare, ecc.
- **Situazione di esposizione esistente (situazioni che già esistono quando deve essere presa una decisione sul controllo, comprese le situazioni di esposizione prolungata dopo le emergenze)** ad es. esposizioni a sorgenti naturali di radiazioni
- **Situazione di esposizione di emergenza (situazioni che possono scaturire dal verificarsi di una situazione prevista, o da un atto doloso, o da qualsiasi altra situazione inattesa e richiedono un'azione urgente che eviti o riduca le conseguenze indesiderabili)** ad es. incidenti nucleari

**A tutte queste situazioni si applicano i 3 principi fondamentali della radioprotezione**

# VINCOLI DI DOSE E LIVELLI DI RIFERIMENTO – DUE STRUMENTI OPERATIVI

Si introducono i concetti di ***vincolo di dose*** e di ***livello di riferimento*** sono utilizzati nell'ottimizzazione della protezione per limitare le dosi individuali.

L'intenzione è di non superare, o di rimanere a questi livelli, e l'obiettivo a cui si tende è di ridurre tutte le dosi a livelli che siano tanto bassi quanto ragionevolmente ottenibile, tenendo conto dei fattori economici e sociali.

Nelle situazioni programmate la limitazione delle dosi individuali è già in fase di progettazione, e si può prevedere che le dosi siano tali da assicurare che il vincolo non sia superato (obiettivo).

**Il valore del vincolo di dose o del livello di riferimento non rappresenta una delimitazione tra 'sicuro' e 'pericoloso'**

# LIVELLI DI RIFERIMENTO LdR Da ICRP 103

«In situazioni di emergenza o di esposizione esistente controllabile, i livelli di riferimento rappresentano il livello di dose o rischio, al di sopra del quale si ritiene **inappropriato** pensare di consentire il verificarsi delle esposizioni, e per il quale dunque dovrebbero essere programmate ed ottimizzate le azioni protettive. Il valore scelto per un livello di riferimento dipenderà dalle circostanze esterne...» ma l'ottimizzazione della protezione si applica anche al di sotto del LdR.

Il concetto di **livello di riferimento (LdR)** va a sostituire quello di **Livello di Azione (LdA)** definito come la dose o la concentrazione di attività oltre la quale è richiesto di intervenire per ridurre le esposizioni.

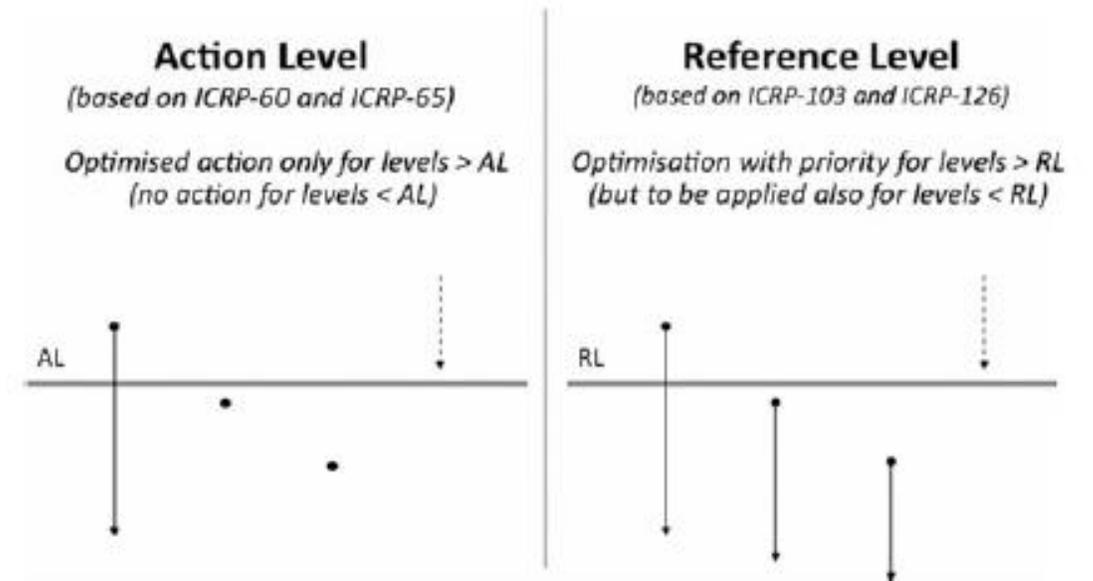


Figure 1. Visual comparison between concepts of action level (AL) and reference level (RL).

# SITUAZIONI DI ESPOSIZIONI ESISTENTI

Le situazioni di esposizione esistenti sono quelle già in corso nel momento in cui deve essere presa una decisione sul controllo.

Tra le situazioni esistenti:

- esposizione al radon nelle abitazioni o nei luoghi di lavoro;
- i materiali radioattivi di origine naturale (NORM).

Può anche risultare necessario prendere decisioni di radioprotezione riguardo a situazioni di esposizione esistenti determinate dalle attività umane, come nel caso di **residui nell'ambiente**, derivanti da emissioni radioattive prodotte da operazioni che non sono state condotte in conformità col sistema di protezione della Commissione, o che hanno **contaminato il suolo a seguito di un incidente o di un evento di natura radiologica**.

Ci sono anche esposizioni esistenti per le quali risulterà ovvio che non sono giustificate azioni per ridurre le esposizioni (ad esempio bonifica di aree contaminate da NORM)

# SITUAZIONI DI ESPOSIZIONI ESISTENTI

Tra le situazioni esistenti:

- esposizione al radon nelle abitazioni o nei luoghi di lavoro;
- i materiali radioattivi di origine naturale (NORM)

In questi casi come si agisce?  
Come si applica il sistema di radioprotezione?

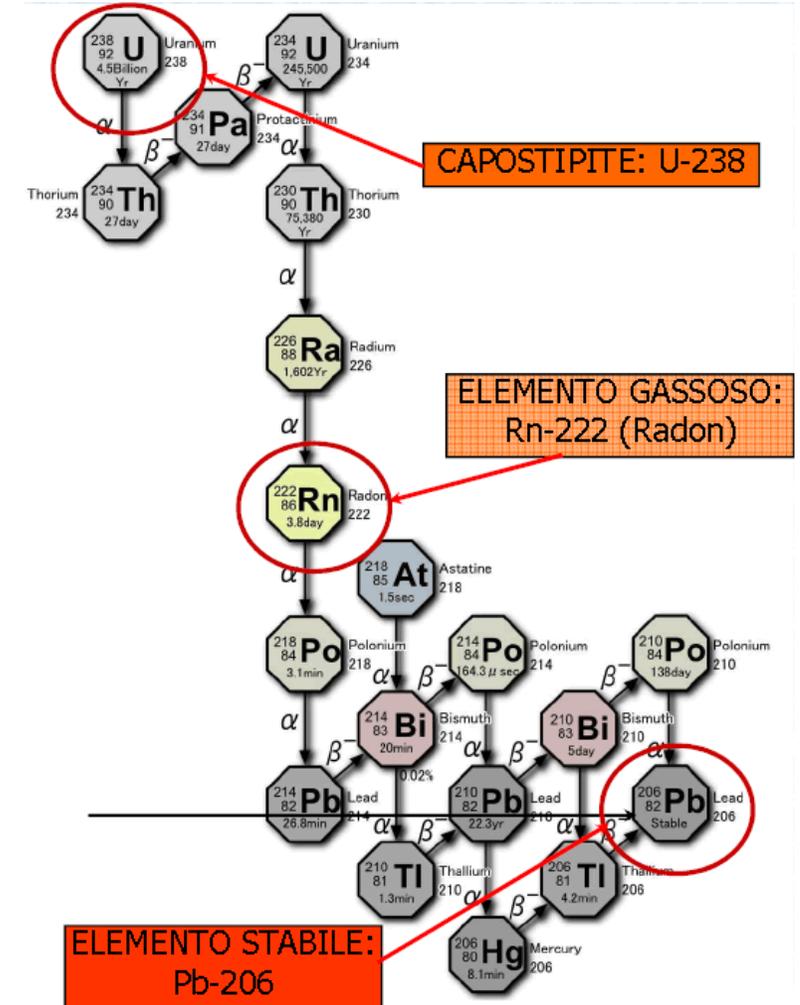
Facciamo un esempio concreto

Il radon come caso-studio

# IL RADON COME CASO-STUDIO

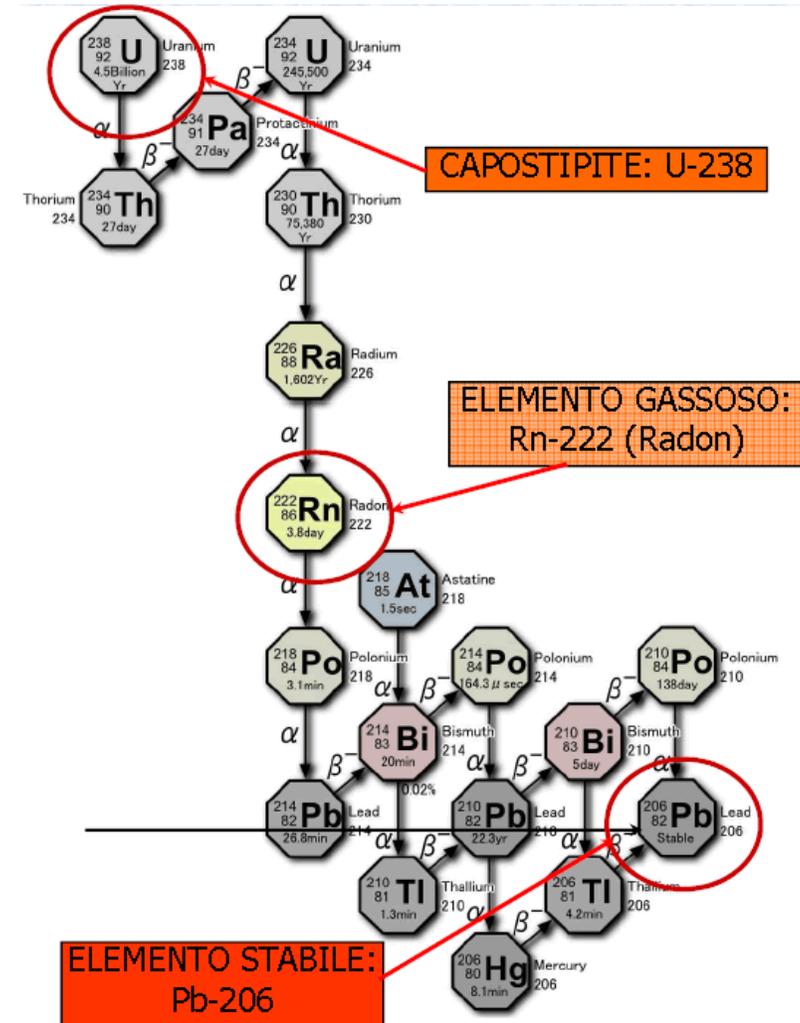
Il radon è data la sua estesa diffusione, è una situazione di esposizione alle radiazioni ionizzanti molto interessante

Vediamo come si applicano i principi della radioprotezione



# IL RADON: QUALCHE INFORMAZIONE GENERALE

- Il radon è un gas radioattivo, di origine naturale, che appartiene al gruppo dei gas nobili.
- E' presente in natura come gas monoatomico. Non può essere avvertito dai nostri sensi: è inodore, incolore.
- E' un elemento radioattivo: l'isotopo 222 (il più diffuso) è prodotto dal decadimento radioattivo del  $^{226}\text{Ra}$ , un elemento appartenente alla serie dell'  $^{238}\text{U}$  Uranio. Il radon è un emettitore  $\alpha$  con un tempo di dimezzamento di 3,82 giorni.
- Poiché il capostipite è presente in tutte le rocce o i suoli, anche il radon è un gas ubiquitario.
- Le rocce più ricche di  $^{238}\text{U}$  sono quelle di origine ignea, quindi le metamorfiche, infine le sedimentarie: questo è anche l'ordine di importanza quali sorgenti di radon.



# IL RADON: QUALCHE INFORMAZIONE GENERALE

- Il radon prodotto dalle rocce può allontanarsi fino a raggiungere l'aria aperta, ove si diluisce. Per una data litologia, il contenuto di uranio-238, la fratturazione, la permeabilità, la porosità ecc. sono caratteristiche geomorfologiche di notevole rilevanza.
- Il radon presente nel sottosuolo, in presenza di fessure o aperture può penetrare in un edificio. Negli ambienti confinati tende a concentrarsi; è considerato quindi un **inquinante tipicamente indoor**.



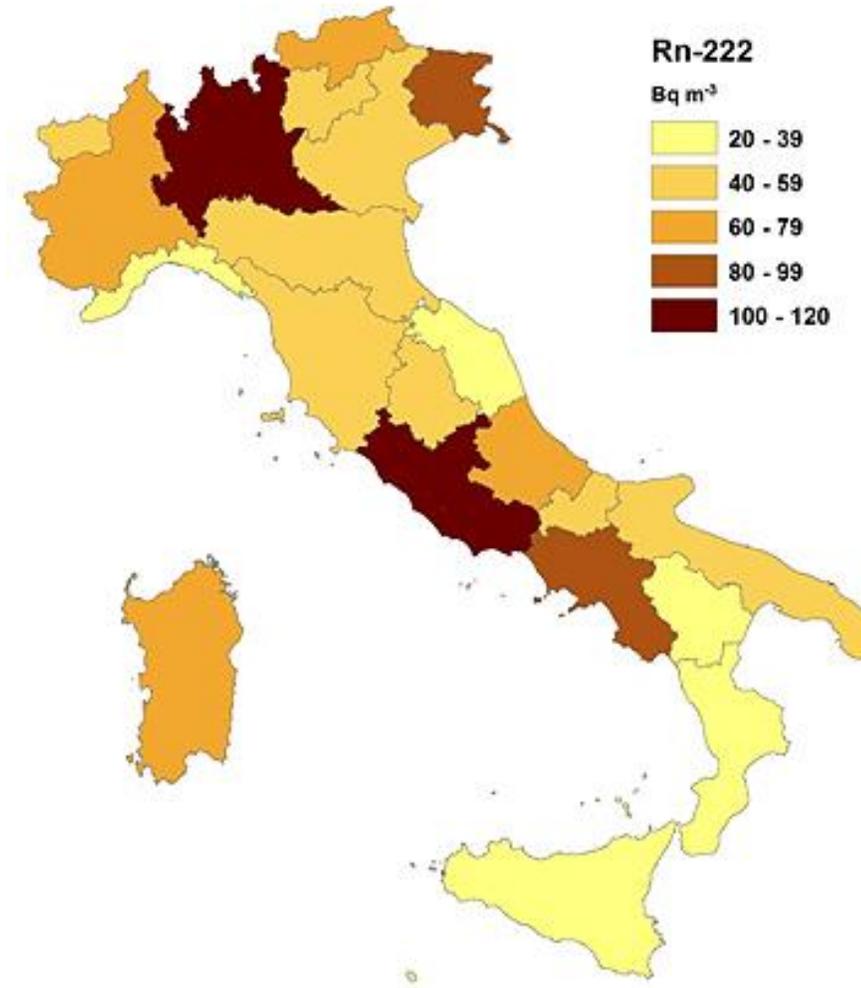
**La diffusione ubiquitaria dell'uranio  
giustifica la presenza del radon**

**negli ambienti di  
vita**

**negli ambienti di  
lavoro**

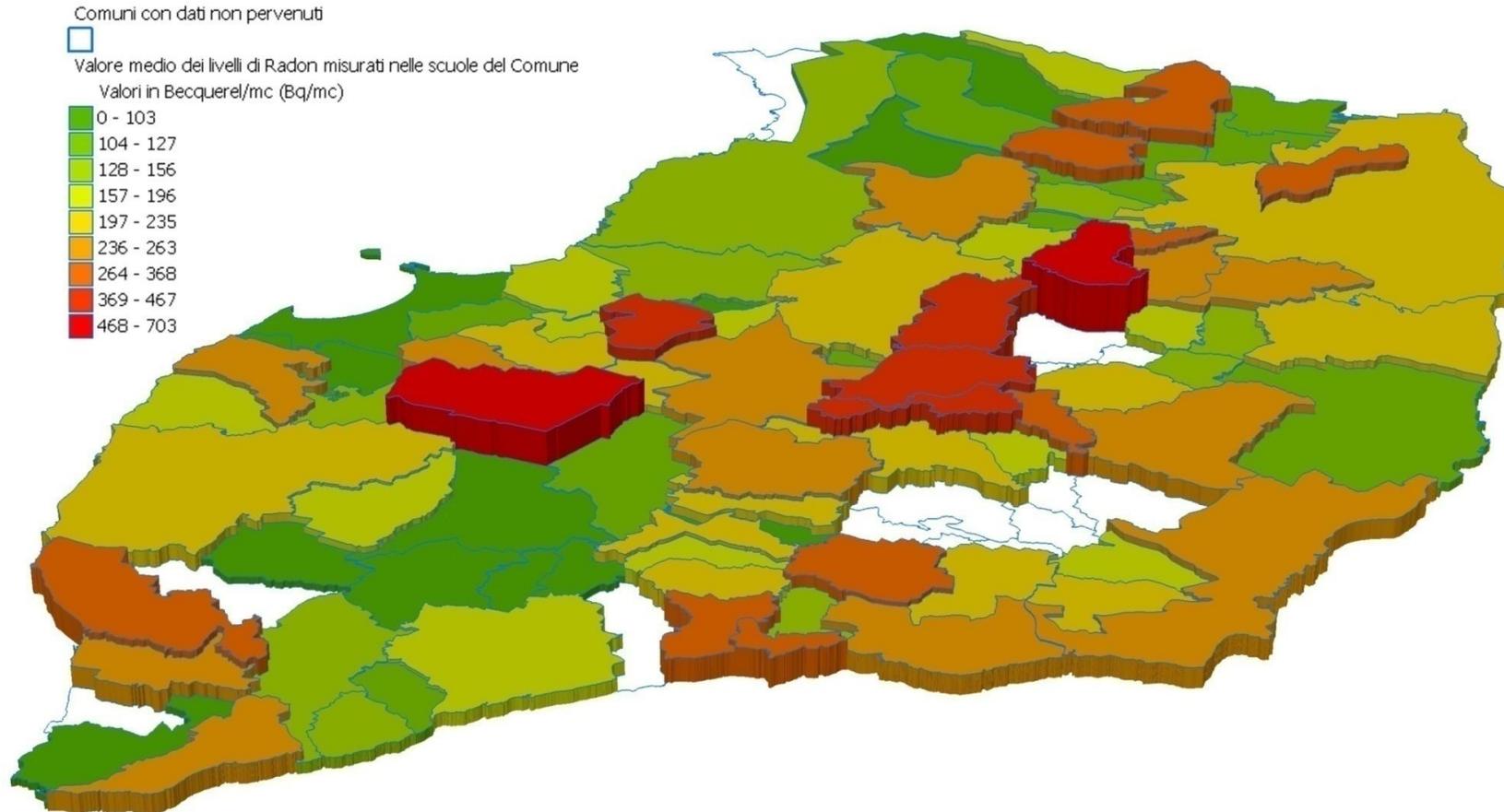
# CONCENTRAZIONI MEDIE DI RADON IN ITALIA

Risultati dell'indagine nazionale sull'esposizione al radon nelle abitazioni (1989-1994)



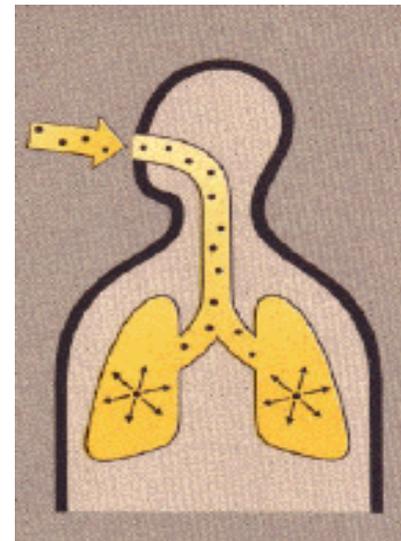
# CONCENTRAZIONI MEDIE DI RADON NELLE SCUOLE DEL SALENTO

MONITORAGGIO DELLE CONCENTRAZIONI DI RADON NELLE SCUOLE DELLA PROVINCIA DI LECCE



# EFFETTI SANITARI -1

- Allo stato attuale l'unico effetto sanitario associato all'esposizione al radon è un aumento di rischio di sviluppo del cancro polmonare: tale effetto è risultato evidente analizzando i dati epidemiologici della popolazione dei minatori delle miniere d'uranio, esposti a concentrazioni di radon molto elevate.
- Nel 1988 è stato classificato dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO/IARC) come un cancerogeno di gruppo 1.
- E' il secondo agente di rischio di tumore polmonare, dopo il fumo di tabacco.
- Il danno è dovuto all'irraggiamento del tessuto polmonare da parte delle particelle  $\alpha$  emesse dal radon e soprattutto dei suoi discendenti.

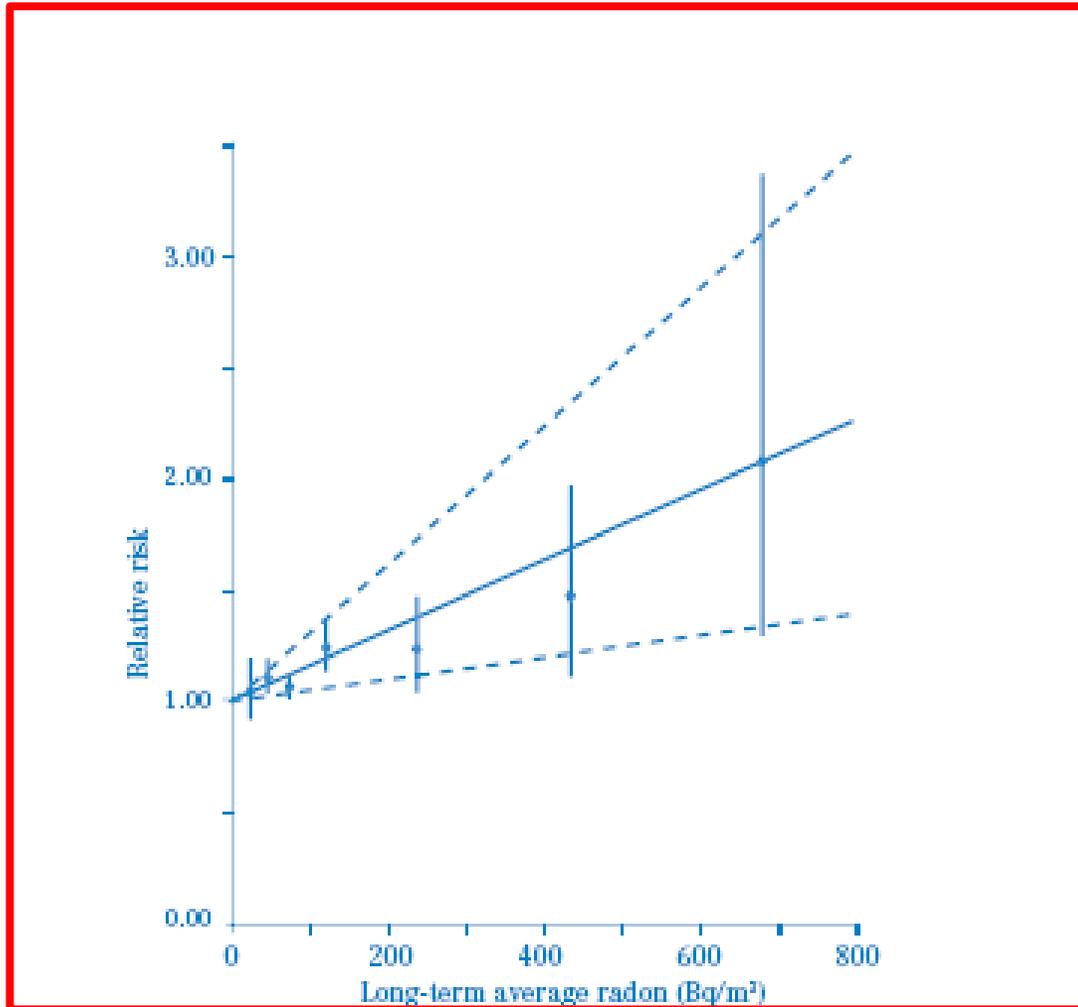


## EFFETTI SANITARI – 2

- Studi epidemiologici confermano che il radon indoor aumenta il rischio di cancro polmonare nella popolazione generale. Ad oggi **NON** sono stati osservati altri effetti.
- La proporzione di tumori polmonari attribuibili all'esposizione al radon si stima che sia tra il **3% e il 14%**.
- Il radon è la seconda causa di cancro al polmone, dopo il fumo di tabacco in molte nazioni. Il radon è molto più probabile che provochi un cancro nei fumatori, o in coloro che hanno fumato in passato, rispetto ai non-fumatori. E' la prima causa di cancro polmonare tra i non-fumatori.
- **NON** esiste un **valore-soglia** al di sotto del quale non vi sia un aumento di rischio. Anche basse concentrazioni di radon possono comportare un piccolo aumento del rischio relativo di cancro polmonare.
- Gran parte dei casi si verificano in Italia. In Italia (conc. media 70 Bq/m<sup>3</sup>), l'Istituto Superiore di Sanità ha stimato che il numero di casi di cancro al polmone attribuibili ogni anno all'esposizione residenziale al gas radon è da 1.500 a 5.500.

In Italia (conc. media 70 Bq/m<sup>3</sup>), l'Istituto Superiore di Sanità ha stimato che il numero di casi di cancro al polmone attribuibili ogni anno all'esposizione residenziale al gas radon è da 1.500 a 5.500.

# EFFETTI SANITARI – 3



Source: Darby et al. 2005

Relative risks and 95% confidence intervals are shown for categorical analyses and also best fitting straight line. Risks are relative to that at 0 Bq/m<sup>3</sup>.

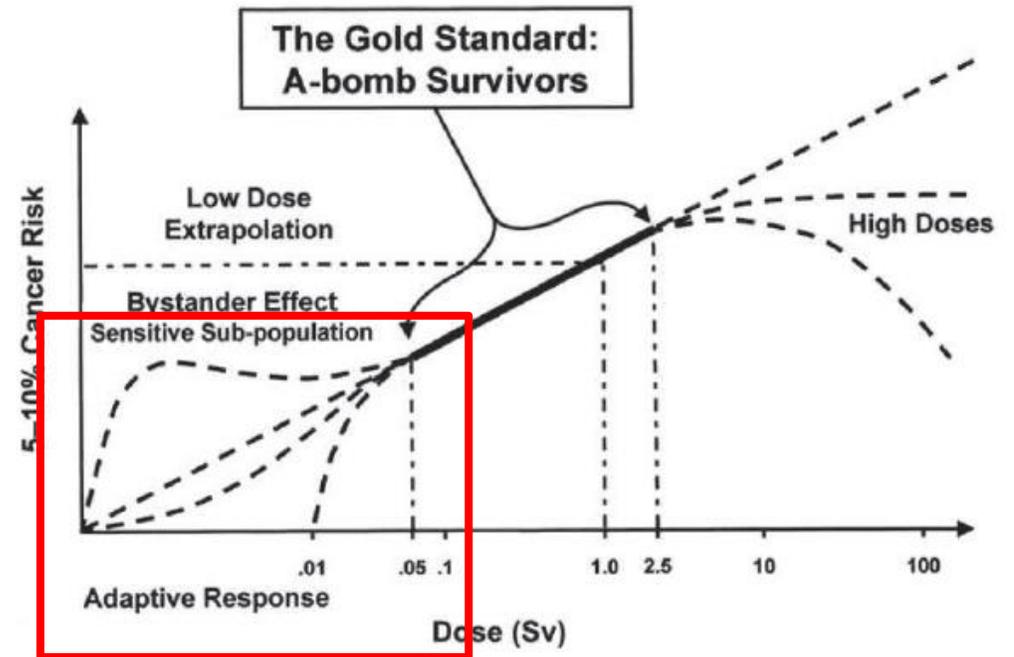
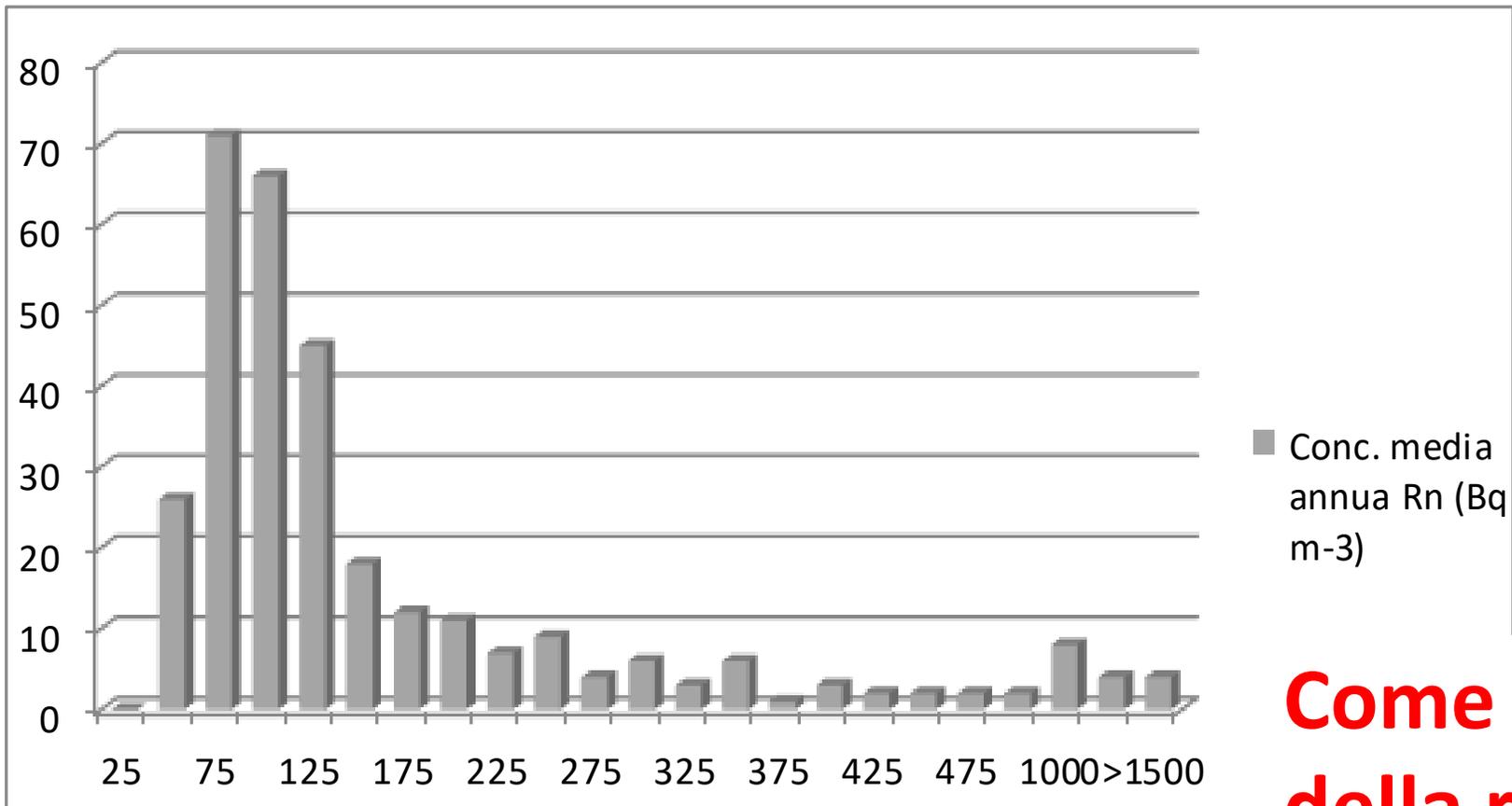


Figura 1: Curve di rischio che presentano i possibili andamenti del rischio di cancro in funzione della dose.

**Ad ogni incremento di 100 Bq/m<sup>3</sup> di conc. media di radon il rischio relativo aumenta del 16 %. Il rischio per i fumatori è 25 volte maggiore .**

Analisi pooled dei dati relativi ad indagini in 13 Paesi Europei: 7000 casi e 14000 controlli (Darby et al. 2005)

# DISTRIBUZIONE DEL RADON INDOOR



Gran parte dei casi dal radon si verifica a concentrazioni medio/basse, perché in generale è poca la % di popolazione esposta a livelli elevati di radon.

**Come applichiamo i principi della radioprotezione??**

**La distribuzione dei livelli di radon indoor è generalmente log-normale quindi la maggior parte degli ambienti ha valori medio-bassi.**

**Come risultato quindi la maggior parte dei tumori al polmone si sviluppa a seguito di esposizione a valori medio bassi di concentrazione di radon.**

# PROTEZIONE DAL RADON NEGLI AMBIENTI DI VITA

## Raccomandazione 90/143/Euratom:

RACCOMANDAZIONE DELLA COMMISSIONE del 21 febbraio 1990  
sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi

- Radon negli edifici esistenti

Livello di riferimento (LR): 400 Bq/m<sup>3</sup>  
(conc. media annua)

- Radon negli edifici di  
nuova costruzione

Livello di riferimento (LR): 200 Bq/m<sup>3</sup>  
(conc. media annua)

**Nota:** *Di fatto è stata applicata solo in qualche  
normativa regionale*

# PROTEZIONE DAL RADON NEGLI AMBIENTI DI LAVORO

## **Direttiva 96/29/Euratom:**

Titolo VII - art. 40 – esposizione alle sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti, tra le quali:

Radon nei luoghi di lavoro

Definizione di un livello di azione (LA) tra 500 – 1000 Bq/m<sup>3</sup> (conc. media annua di radon in aria)

## **Decreto Legislativo n.241/00:**

Capo III bis – art 10 bis

- Radon nelle attività lav. nei luoghi di lavoro sotterranei
- Radon nelle attività lav. nei luoghi di lavoro in *radon prone areas*

**livello di azione (LA)  
pari a 500 Bq/m<sup>3</sup>**

**Nota:** *Di fatto questo decreto è stato applicato solo alle attività lavorative nei luoghi di lavoro sotterranei*

# SINTESI

## **Decreto Legislativo 241/00**

Radon nei luoghi di lavoro

**Livello di azione (LA)  
pari a 500 Bq/m<sup>3</sup>**

## **Raccomandazione 90/143/Euratom:**

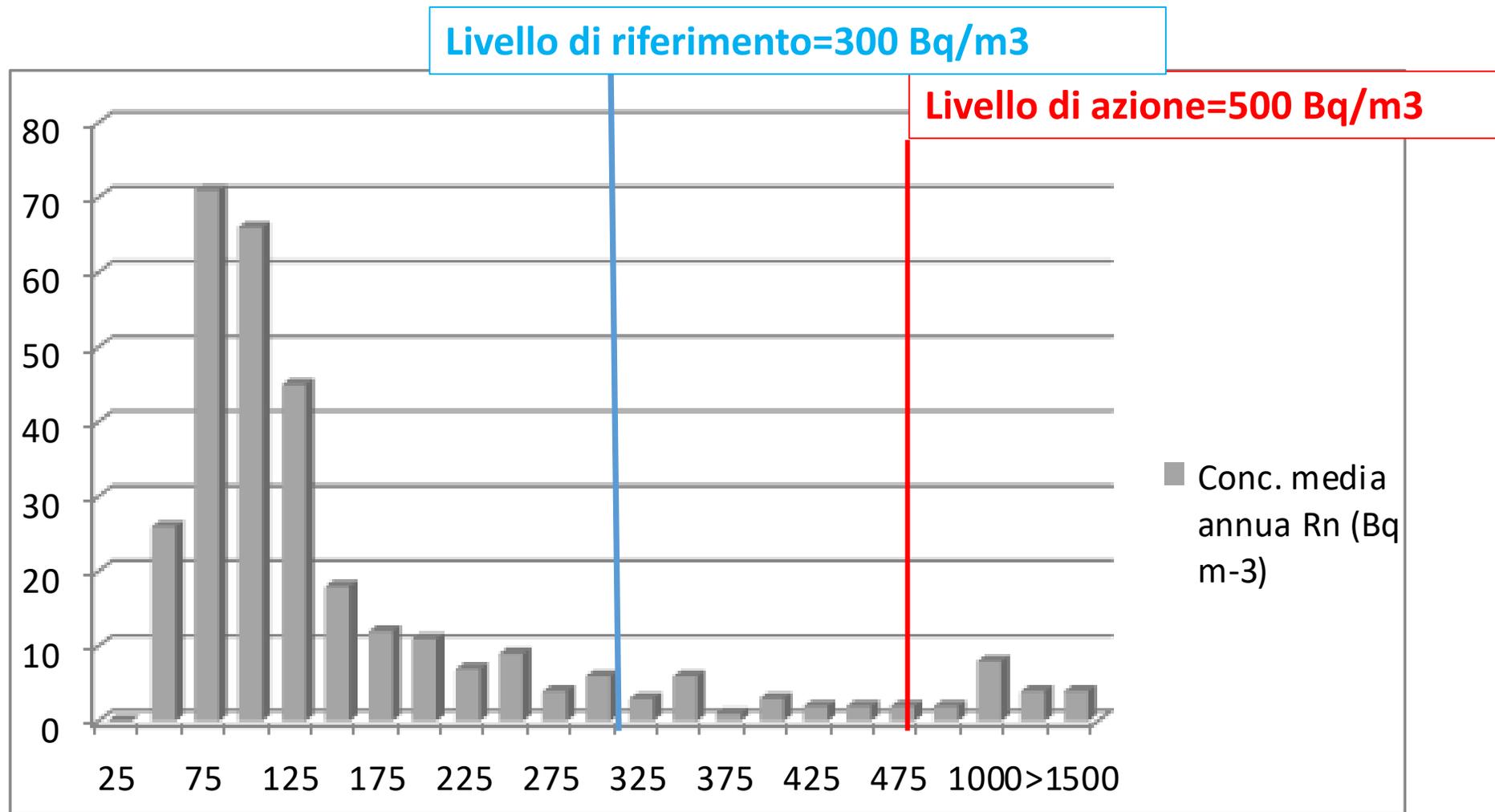
- Radon negli edifici esistenti

**Livello di riferimento  
(LR): 400 Bq/m<sup>3</sup> (conc.  
media annua)**

-Radon negli edifici di nuova costruzione

**Livello di riferimento  
(LR): 200 Bq/m<sup>3</sup>  
(conc. media annua)**

# EVOLUZIONE DELLA PROTEZIONE DALLA EXP AL RADON INDOOR



# PROSPETTIVE FUTURE

## **Direttiva 2013/59/EURATOM** (*Basic Safety Standards, BSS*)

### **Controllo dell'exp al Radon:** molte novità

- dal LdAz al **Livello di Riferimento** ( $LR=300 \text{ Bq/m}^3$ );
- applicazione del **principio di ottimizzazione della protezione**;
- **nuovi obblighi** per la protezione dal radon nei **luoghi di lavoro interrati e PT in zone individuate e in specifiche tipologie di** luoghi di lavoro;
- regolamentazione per controllo del radon negli **ambienti di vita** con lo stesso LdR;
- adozione di un Piano d'Azionale Nazionale per affrontare i rischi a lungo termine dovuti all'esposizione al radon negli ambienti di vita, edifici pubblici e luoghi di lavoro.

# Protezione dal radon nei luoghi di lavoro: PROSPETTIVE FUTURE

## Direttiva 2013/59/EURATOM (*Basic Safety Standards, BSS*)

Nel futuro articolato (modifica del vigente D.Lgs.230/95) sarà necessario introdurre nuovi obblighi secondo un **approccio graduale e flessibile** e il principio di **ottimizzazione della protezione**

- se **Conc Rn > LR = 300 Bq/m<sup>3</sup>**                      **obbligo di azioni di risanamento**
- Se **Conc Rn < LR = 300 Bq/m<sup>3</sup>**                      **ottimizzazione della protezione** (*raccomandare l'adozione di azioni di risanamento*)

**Alla base di questa richiesta vi è la consapevolezza che risanare gli edifici dal radon è possibile ed ha un costo sostenibile**

# POSSIBILI ATTIVITA' SUL RADON NELLE SCUOLE

Esistono molti metodi per misurare la concentrazione di radon in aria.

Molti metodi sono semplici ed economici

L'INFN con i progetti

❖ ENVIRAD

❖ ENVIRAD/SPLASH

❖ RADIOLAB

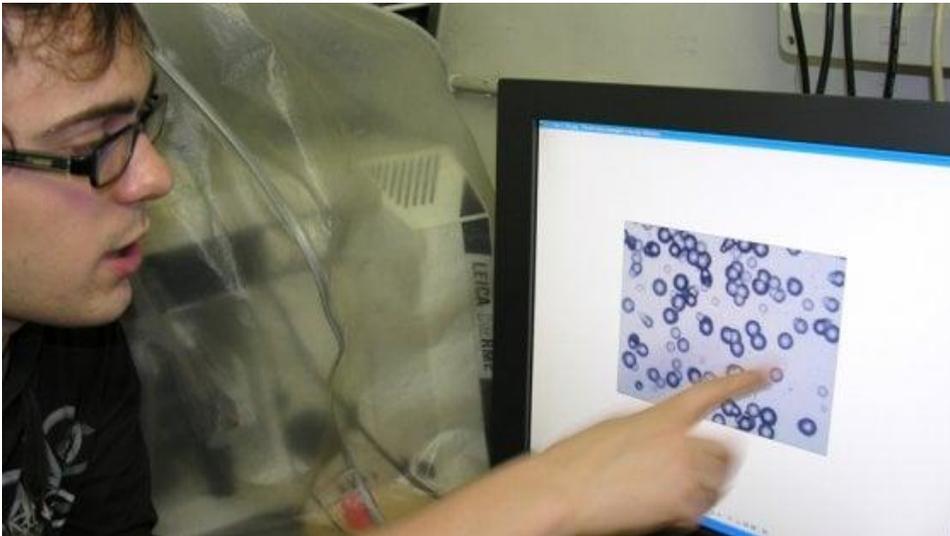
Ha coinvolto gli studenti delle scuole secondarie di secondo grado nella costruzione di semplici strumenti di misura che hanno utilizzato sia nelle scuole stesse che nelle loro abitazioni.

# POSSIBILI ATTIVITA' SUL RADON NELLE SCUOLE

Esistono molti metodi per misurare la concentrazione di radon in aria.

Molti metodi sono semplici ed economici:

- *Dispositivi di misura molto semplici da costruire*
- *Sistema di sviluppo che utilizza una **friggitrice***
- *Microscopio ottico per l'analisi*



**Grazie per l'attenzione**

# LIMITI DI DOSE

In ragione del tipo di attività lavorativa normalmente svolta, e delle esposizioni potenziali conseguenti a eventi anomali e a malfunzionamenti, i lavoratori sono classificati come **lavoratori esposti di categoria A** (quelli che **possono essere più esposti** alle radiazioni) e **di categoria B**.

I **limiti di dose** non devono essere superati in nessun caso durante le normali pratiche con impiego di radiazioni ionizzanti.

Grandezza	Limiti per i lavoratori esposti Cat. A (mSv/anno)	Limiti per i lavoratori esposti Cat. B (mSv/anno)	Limiti per la popolazione (mSv/anno)
Dose efficace singolo anno	20	6	1
Cristallino dell'occhio	150	45	15
Pelle	500	150	50
Mani e piedi	500	150	50