

# Giornata su Sicurezza e Prevenzione al Dipartimento di Fisica

## **Il rischio da radiazioni ionizzanti**

**Monica Sisti**

Esperto Qualificato del Dipartimento di Fisica  
Università degli Studi di Milano-Bicocca

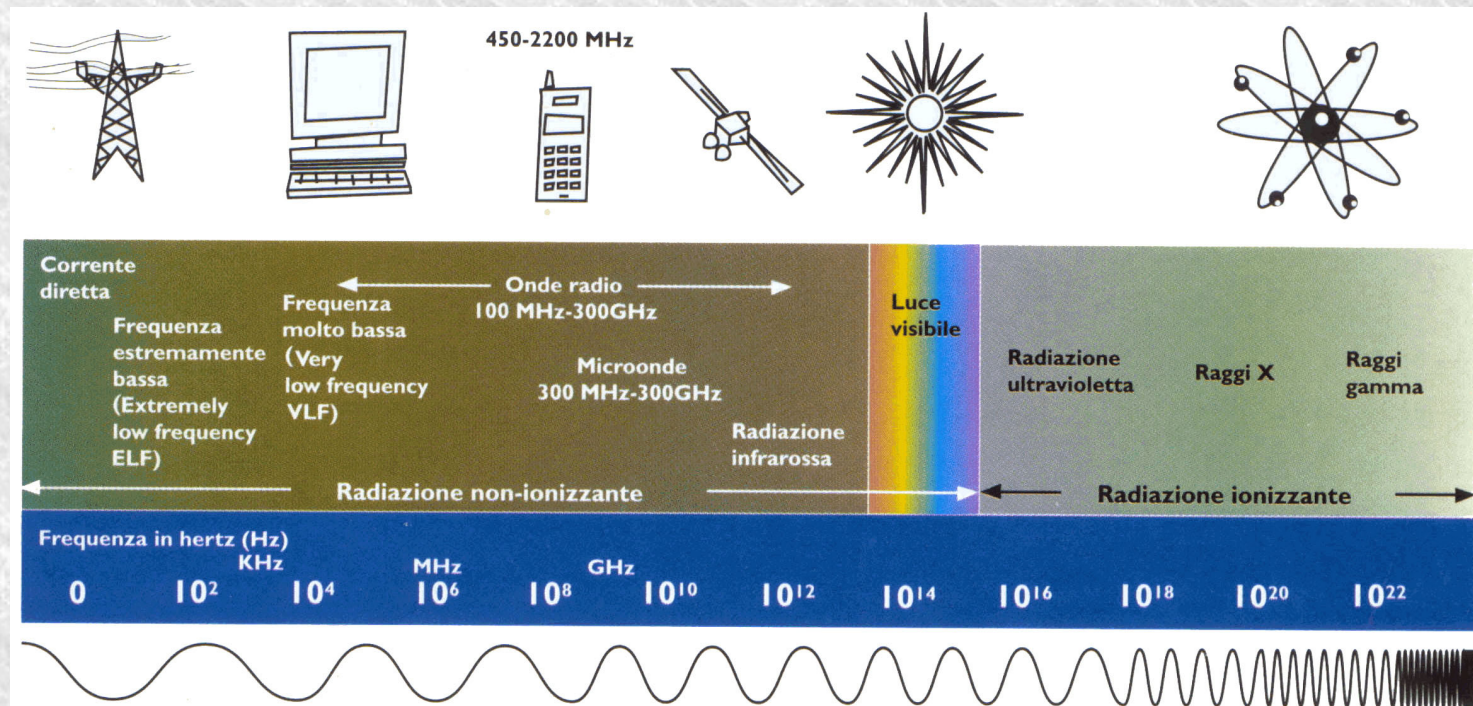
## Sommario

- Cosa sono le radiazioni ionizzanti
- Sorgenti di radiazioni ionizzanti
- Interazioni col corpo umano
- Effetti delle radiazioni ionizzanti
- Grandezze dosimetriche
- I principi fondamentali della radioprotezione
- Le sorgenti di radiazioni ionizzanti presso il Dipartimento di Fisica
- La legislazione in materia di radiazioni ionizzanti

# Radiazione

termine generalmente usato per descrivere fenomeni apparentemente assai diversi tra loro, quali l'emissione di luce da una lampada, di calore da una fiamma, etc.

→ sono tutte onde elettromagnetiche di diversa energia

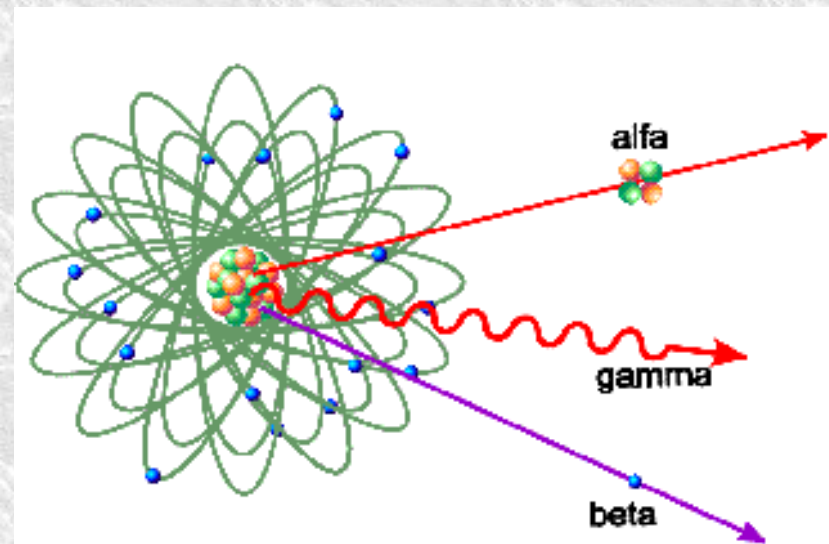


→ noi siamo interessati alle radiazioni ionizzanti

# La radioattività

Gli atomi e i loro nuclei sono la principale sorgente di radiazioni sia elettromagnetiche che corpuscolari.

Numerosi elementi esistenti in natura contengono atomi i cui nuclei sono energeticamente instabili. Il ritorno alla stabilità avviene con emissione di radiazione corpuscolare e/o elettromagnetica  
⇒ si parla di **decadimento radioattivo**.



## Radioattività

Processo attraverso il quale gli atomi instabili di un elemento emettono energia da parte dei nuclei trasformandosi in atomi di un diverso elemento o in stati energetici di minor energia dello stesso elemento.

# Legge fondamentale del decadimento radioattivo:

per ogni radionuclide deve trascorrere un tempo caratteristico (**tempo di dimezzamento**) affinché il numero di nuclei radioattivi presenti si dimezzi.



Si definisce **Attività** di un radionuclide il numero di disintegrazioni al secondo.

L'attività si misura in Bq:  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ dis/sec}$

L'Energia delle radiazioni si misura in eV (e multipli: keV, MeV)

## Radionuclide:

elemento radioattivo con un determinato numero di protoni e neutroni

**Isotopo:** atomo di un dato elemento (cioè con un determinato numero di protoni) ma con un diverso numero di neutroni

# Sorgenti di radiazioni ionizzanti/1

## 1) Sorgenti naturali

sono di gran lunga la fonte principale di radiazioni a cui è sottoposta la popolazione mondiale



origine extra-terrestre



➤ **radiazione cosmica**  
(protoni, particelle alfa, ...)



"bombardano"  
continuamente la terra

origine terrestre



- **radionuclidi vari incorporati**  
( $^{14}\text{C}$  -  $^{40}\text{K}$  -  $^{226}\text{Ra}$  -  $^3\text{H}$ )
- **radon** ( $^{222}\text{Rn}$ ) inalato
- **radioattività naturale**  
( $^{40}\text{K}$ , famiglie radioattive:  $^{238}\text{U}$  -  $^{232}\text{Th}$ )

↘ vite medie molto lunghe  
(maggiori delle migliaia di anni)

# Sorgenti di radiazioni ionizzanti/2

## 2) Sorgenti artificiali



sono prodotte dall'uomo per innumerevoli applicazioni: settore medico, settore industriale, produzione di energia, ricerca scientifica e tecnologica, settore ambientale, geologia, archeologia, settore della sicurezza, etc.



- **radionuclidi artificiali**
- **macchine radiogene**

Esempi: radiodiagnostica, radioterapia, reattori nucleari, sterilizzazione di derrate alimentari e di materiali sanitari, tecniche antiparassitarie e di fertilizzazione, monitoraggio inquinanti ambientali, datazione archeologica e mineraria, rivelatori di incendio, controlli di sicurezza, medicina legale, ...

# Sorgenti di radiazioni ionizzanti/3

Distinzione importante fra le varie sorgenti di radiazioni:

**Sorgenti radioattive (naturali ed artificiali):** composti solidi, liquidi o gassosi che contengono isotopi radioattivi e che emettono continuamente particelle alfa o elettroni o raggi x o raggi gamma o neutroni.

**Apparecchiature radiogene:** strumenti che, quando in funzione, producono raggi X, o raggi gamma o elettroni o neutroni (tubi a raggi X, acceleratori, etc).



# Sorgenti di radiazioni ionizzanti/4

Inoltre si distingue fra:

**ESPOSIZIONE ESTERNA:** esposizione di un individuo alle radiazioni emesse da macchine radiogene (es.: tubi a raggi X) o sorgenti radioattive esterne al proprio corpo.

**CONTAMINAZIONE RADIOATTIVA** di un individuo: introduzione di sostanze radioattive (per inalazione, per ingestione o attraverso a ferite) all'interno dell'organismo (contaminazione interna); deposizione di sostanze radioattive sulla superficie cutanea (contaminazione esterna).

# Radioattività interna

Anche nel corpo umano sono presenti piccole quantità di sostanze radioattive, ad es. introdotte attraverso la catena alimentare o per inalazione.

Esempio:

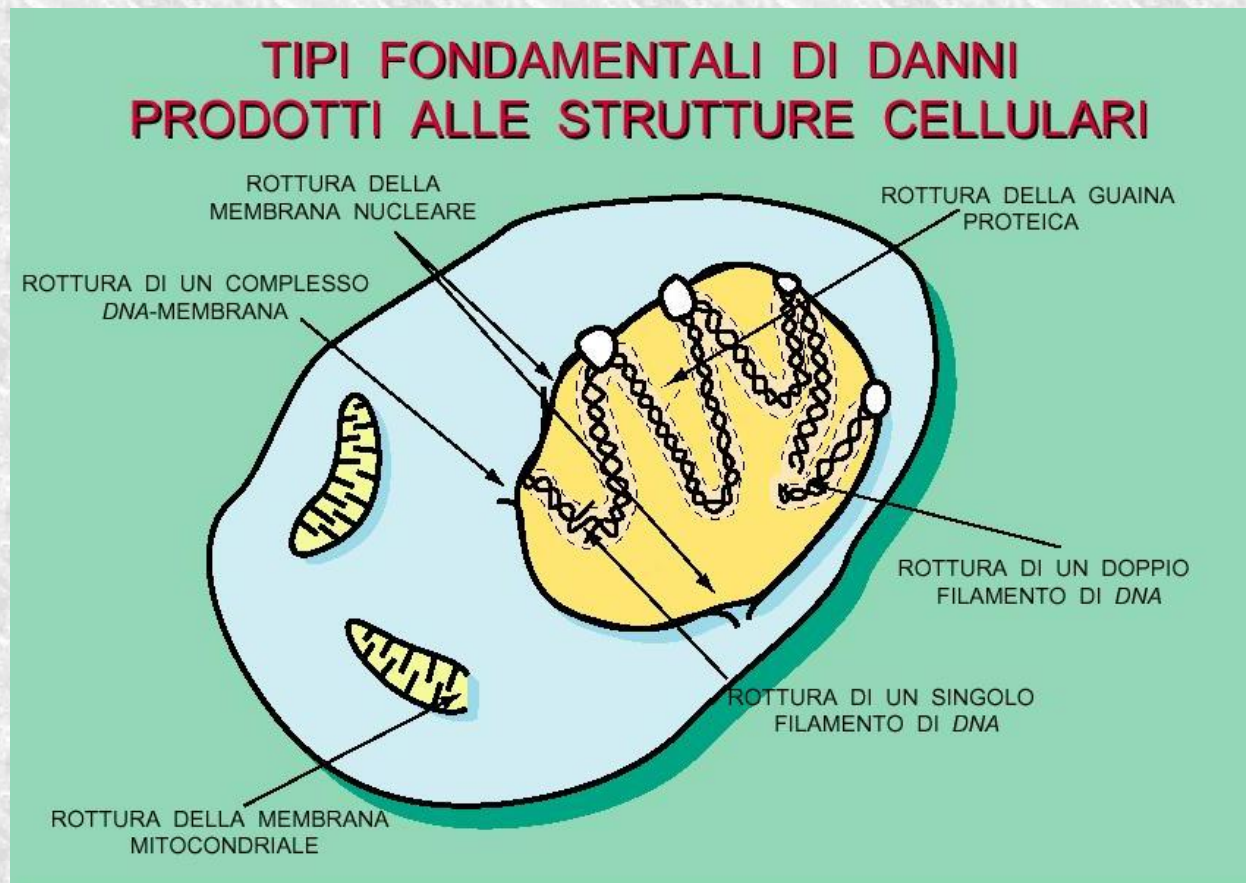
Il corpo umano contiene circa 12 kg di carbonio.

Di questi, circa 1 parte su  $10^{12}$  è  $^{14}\text{C}$ , isotopo radioattivo.

Il risultato è una dose efficace annuale di  $11 \mu\text{Sv}$ , da confrontare con la dose annuale naturale di  $2.4 \text{ mSv}$

# Irradiazione del corpo umano

Le radiazioni, corpuscolari ed elettromagnetiche, una volta emesse, interagiscono con la materia circostante (ad es. il corpo umano). Gli effetti biologici delle radiazioni ionizzanti dipendono dal tipo di radiazione e dalla quantità di energia ceduta.



**Radioprotezione:**  
si occupa della valutazione dei rischi sanitari derivanti dall'esposizione del corpo umano e dei suoi organi alle radiazioni ionizzanti.

# Grandezze usate in radioprotezione

DOSE ASSORBITA: energia assorbita per unità di massa (dE/dm).

Unità di misura: gray (1 Gy = 1 J/kg)

DOSE EQUIVALENTE : grandezza protezionistica che quantifica il rischio associato all'irradiazione di un singolo organo o tessuto, tenendo conto del tipo di radiazione.

Si ottiene moltiplicando la dose assorbita per un fattore di ponderazione  $w_R$ , (dipendente dal tipo di radiazione).

Unità di misura: sievert (1 Sv = 1 J/kg)

sottomultipli corrispondenti alle dosi nelle attività lavorative:  
mSv (1 mSv =  $10^{-3}$  Sv) -  $\mu$ Sv (1  $\mu$ Sv =  $10^{-6}$  Sv)

DOSE EFFICACE: grandezza protezionistica che quantifica il rischio complessivo per l'individuo combinando gli effetti di diverse dosi in diversi organi o tessuti.

Unità di misura: sievert (1 Sv = 1 J/kg)

# Dosi efficaci medie annue (in mSv) da sorgenti naturali ed artificiali in Italia

<b>Sorgenti naturali</b>	<b>2.38</b>
Raggi cosmici	0.30
Radioisotopi cosmogenici	0.01
Radiazione terrestre	
- esposizione esterna	0.48
- esposizione interna (escluso Rn)	0.29
- esposizione interna da Rn e suoi prodotti	1.30
<b>Sorgenti artificiali</b>	<b>1.03</b>
pratiche sanitarie, radiologia	1.00
viaggi aerei	0.002
fall-out di esperimenti nucleari	0.01
altre esposizioni di origine tecnologica	0.02
<b>TOTALE</b>	<b>3.41</b>

## Alcuni esempi di dosi

### Dose efficace agli individui dovuta al fondo naturale

- in Italia: 2,4 mSv/anno (2 ÷ 3,5)
- nel pianeta: sino a 25 mSv/anno

- Fumo di 15 sigarette/giorno : 3 mSv/anno
- RX-dentale : 0,13 mSv
- RX-torace : 0,08 mSv
- Acqua bevuta : 0,05 mSv/anno
- Volo Milano New York e rit. : 0.1 ÷ 0.2 mSv

# Effetti biologici delle radiazioni ionizzanti

Le radiazioni interagiscono con i tessuti biologici danneggiando i costituenti cellulari in genere e tra essi il DNA.

Gli effetti biologici delle radiazioni vengono classificati in base alla loro riconducibilità alle cause iniziali in:

- **Effetti deterministici**

- **Effetti stocastici**
  - Effetti somatici
  - Effetti genetici

# Effetti deterministici

Comprendono: radiodermite, cataratta, sterilità, sindrome acuta da radiazioni, ...

Si definiscono come **deterministici** gli effetti che si verificano in un organo/tessuto esposto **soltanto** se la dose assorbita è superiore a un **valore di soglia**, tipico per ogni specifico effetto, e la cui gravità è tanto maggiore quanto maggiore la dose



**Gradualità dell'effetto**

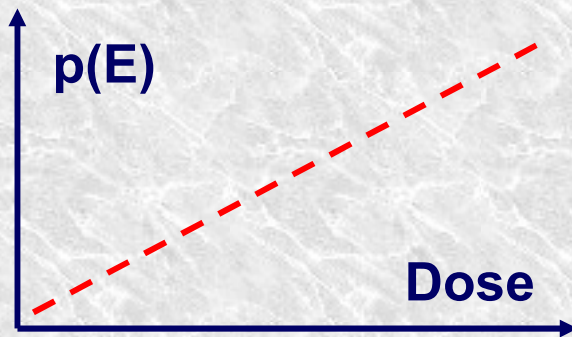
→ al superamento della dose-soglia l'insorgenza dell'effetto si manifesta su tutti gli irradiati



# Effetti stocastici o probabilistici

Comprendono: leucemie, tumori solidi, malattie ereditarie

Effetti la cui **probabilità di accadimento** dipende dalla dose assorbita, ovvero è tanto maggiore quanto più elevata è la dose. Per i soli scopi della radioprotezione e per le stime del rischio, si ipotizza una **relazione lineare fra la dose assorbita e la probabilità dell'effetto**



Aumentando la dose aumenta la probabilità dell'effetto ma non la sua gravità

Il tempo di latenza fra l'esposizione e la manifestazione dell'effetto varia fra qualche anno e qualche decina d'anni.

# Gli scopi della radioprotezione dei lavoratori/studenti e della popolazione

PREVENZIONE degli effetti deterministici

RIDUZIONE a un livello tanto basso quanto ragionevolmente ottenibile della probabilità di accadimento di effetti stocastici

## Legislazione di riferimento

Radioprotezione dei lavoratori e della popolazione:

D.lgs. 230/95

aggiornato dal D.lgs. 241/00 e dal D.lgs. 257/01

# Lavoratori esposti

Persone sottoposte, per l'attività che svolgono, ad un'esposizione che può comportare dosi superiori ai pertinenti limiti fissati per le persone del pubblico.

I lavoratori esposti possono essere classificati in categoria A oppure in categoria B.

## Limiti di dose (mSv in un anno solare) e classificazione dei lavoratori

Classificazione	Dose efficace	Cristallino	Pelle	Mani, avambracci, piedi e caviglie
CATEGORIA A	20	150	500	500
CATEGORIA B	6	50	150	150
NON ESPOSTO	1	15	50	50

# Zona classificata

Ambiente di lavoro sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione contro le radiazioni ionizzanti.

Le zone classificate possono essere zone controllate o zone sorvegliate.

È ZONA CONTROLLATA un ambiente di lavoro in cui possono essere superati in un anno solare i limiti di dose previsti per i lavoratori di categoria B e in cui l'accesso è segnalato e regolamentato; è ZONA SORVEGLIATA un ambiente di lavoro in cui può essere superato in un anno solare uno dei pertinenti limiti di dose fissati per le persone del pubblico, e che non è zona controllata.

# Garanzie/obblighi per il lavoratore

## SORVEGLIANZA FISICA



Esperto Qualificato

## SORVEGLIANZA MEDICA



### CATEGORIA A

Medico Autorizzato

(frequenza: semestrale)

### CATEGORIA B

Medico Autorizzato

o Competente

(frequenza: annuale)

# Sorgenti di radiazioni nella ricerca



**Sorgenti radioattive**



Esposizione a radiazione  
alfa, beta e gamma  
(eventualmente neutroni)

**Macchine radiogene**



Esposizione a  
neutroni e gamma

# Macchine radiogene

Sono sostanzialmente i tubi a raggi X e gli acceleratori di particelle.

Tre informazioni essenziali:

- ✓ Quando sono spente non emettono radiazioni (SALVO ATTIVAZIONE DEI MATERIALI)
- ✓ Quando sono accese producono flussi di radiazioni molto intensi e in direzioni ben precise: non basta stare distanti bisogna evitare di sostare nella direzione del flusso.
- ✓ Possono dare solo irradiazione esterna

# Sorgenti radioattive

Per un corretto utilizzo di sostanze radioattive è fondamentale la conoscenza del TIPO DI RADIAZIONE emessa, della ATTIVITÀ (cioè del numero di nuclei che ogni secondo si disintegrano) e del TEMPO DI DIMEZZAMENTO, cioè del tempo in cui il numero di nuclei radioattivi contenuti in una sorgente si dimezza. Questo può variare dalle migliaia di anni alle frazioni di secondo.

Importante: a parità di attività iniziale una sorgente a vita media lunga emette radiazioni (ed è quindi potenzialmente pericolosa) per molto tempo. Una sorgente a vita media breve si esaurisce rapidamente ma "concentra" l'emissione di radiazione in un tempo breve con possibilità di produrre danni rilevanti anche per esposizioni limitate nel tempo.



# Sorgenti radioattive/2

Si definiscono:

**Sorgente sigillata:** sorgente formata da materie radioattive solidamente incorporate in materie solide e inattive, o sigillate in un involucro inattivo, che presenti una resistenza sufficiente per evitare, in condizioni normali d'impiego, dispersione di materie radioattive superiore ai valori stabiliti dalle norme di buona tecnica applicabili.

**Sorgente non sigillata:** qualsiasi sorgente che non corrisponde alle caratteristiche o ai requisiti della sorgente sigillata.

# Rischio in radioprotezione

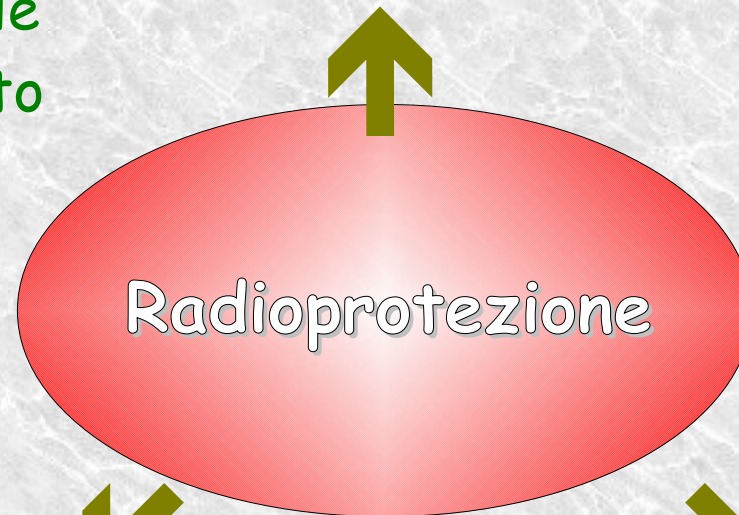
- ✓ Errore umano
- ✓ Mancanza di procedure operative specifiche
- ✓ Carenza di controlli
- ✓ Mancanza di formazione
- ✓ Mancanza di informazione

È fondamentale il ruolo di  
ciascun individuo coinvolto!!!

Seguire sempre le norme interne di sicurezza e le disposizioni dell'esperto qualificato

**+ distanza**

Doppia distanza  
=  
Un quarto di dose

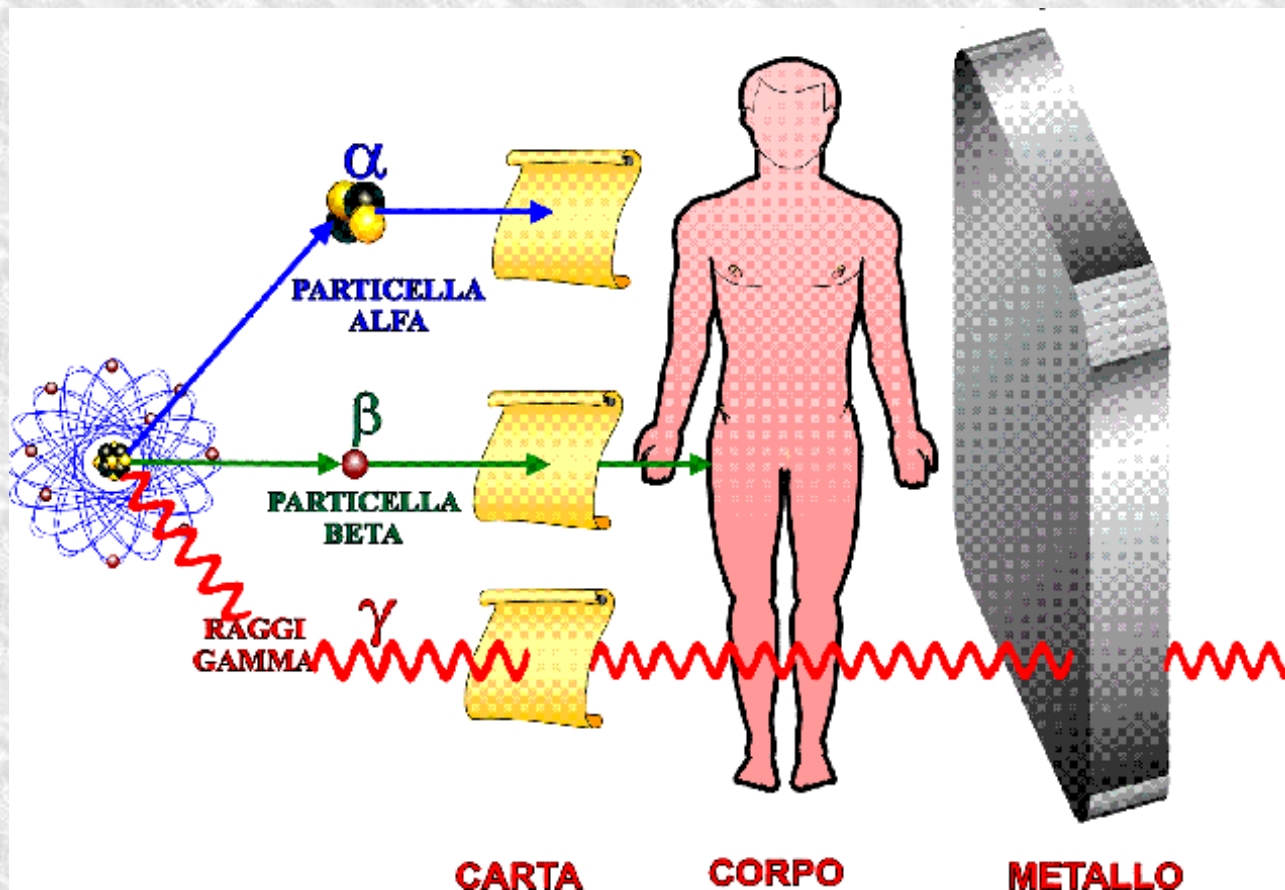


**schermatura  
ambienti e  
protezioni  
individuali**

**- tempo**

Metà tempo = Metà dose

# Schermature



alfa: pochi mm di materiale

beta: materiali "leggeri"

gamma: grossi spessori di materiali pesanti (Pb, calcestruzzo)

per i neutroni: materiali ad alto contenuto di idrogeno (paraffina borata)

# Dispositivi di protezione individuale



Uso di pinze per aumentare la distanza dalla sorgente

# Rivelatori per il controllo dell'esposizione esterna

- Film-badge
- Penna dosimetrica
- Dosimetri digitali
- Dosimetri TLD ( $^7\text{LiF}$ )
- Dosimetri TLD ad albedo ( $^6\text{LiF} + ^7\text{LiF}$ )



# SEGNALETICA



**RADIAZIONI  
IONIZZANTI**



**PERICOLO  
IRRADIAZIONE**

**PERICOLO  
CONTAMINAZIONE  
RADIOATTIVA**



**DOCCIA DI  
DECONTAMINAZIONE**

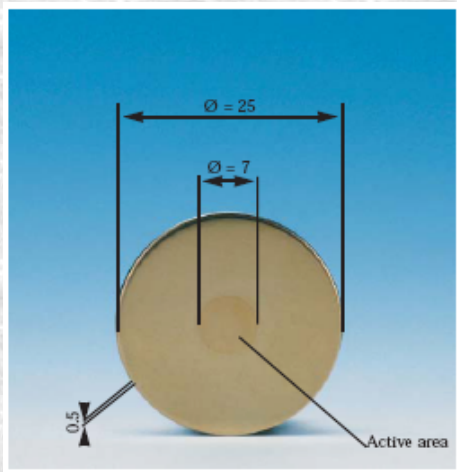


# Le sorgenti di radiazioni ionizzanti presso il Dipartimento di Fisica

Attualmente sono costituite da sorgenti radioattive sigillate (incapsulate) e non-sigillate non-dispersive (ad es. depositate) utilizzate per la calibrazione energetica di vari tipi di rivelatori.

Il rischio di **contaminazione** è praticamente nullo in condizioni normali di utilizzo.

Anche il rischio di **irradiazione esterna** è molto basso in quanto le attività in gioco sono piccole.



# Alcune precauzioni generali di utilizzo /1

- Le sorgenti devono sempre essere custodite all'interno dei loro contenitori quando non utilizzate
- La presenza di una sorgente in un laboratorio va sempre ben segnalata (etichetta sul contenitore o sullo strumento)
- Minimizzare il tempo trascorso nelle vicinanze di una sorgente
- Minimizzare il tempo di manipolazione della sorgente
- Le sorgenti vanno possibilmente manipolate utilizzando pinze o altri attrezzi simili



## Alcune precauzioni generali di utilizzo /2

- Non toccare mai la parte attiva di una sorgente con le dita
- Segnalare immediatamente l'eventuale smarrimento di una sorgente al responsabile del laboratorio
- In laboratorio le "Norme interne di radioprotezione" del Dipartimento devono essere sempre a disposizione di tutti

**SORGENTE:**  $^{22}\text{Na}$  (decadimento EC/ $\beta^+$ )

numero progressivo lista: 30  
 data di acquisizione: 01/04/09  
 attività all'acquisizione (Bq): 5.000E+06

**tempo di dimezzamento (y):** 2.6  
**attività odierna (Bq):** 4.091E+06

**Principali radiazioni emesse (energia in keV):**

	E1	E2
gamma:	511 (181%)	1275 (100%)
beta (E_max):	546 (90%)	

**Esposizione esterna:**

**dose efficace** al corpo intero a 30 cm dalla sorgente: 1.49E-02 mSv/h  
**dose equivalente** alle mani a 10 cm dalla sorgente ( $\gamma, X$ ): 1.34E-01 mSv/h  
**dose equivalente** alla pelle a 30 cm dalla sorgente ( $\beta, e$ ): 4.13E-01 mSv/h

**Schermature per beta (assorbimento totale):**

vetro	0.8	mm
plastica	1.4	mm

**Schermature per fotoni:**

	HVL (mm)	TVL (mm)	
piombo	10	37	HVL = spessore emivalente
acciaio	31	80	TVL = spessore decivalente

**Limiti di dose secondo la vigente normativa italiana in mSv per anno solare:**

Classificazione	Dose efficace	Dose equivalente		
		Cristallino	Pelle	Mani
<b>Persone del pubblico</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>Lavoratore non esposto</b>	<b>6</b>	<b>50</b>	<b>150</b>	<b>150</b>
Lavoratore esposto cat. B	6	50	150	150
Lavoratore esposto cat. A	20	150	500	500
Ore di esposizione con cui si raggiunge 1/3 del limite di legge per le persone del pubblico	22	-	40	124

Esempio di scheda di accompagnamento delle sorgenti del Dipartimento

## Gli studenti dei corsi di laboratorio...

- ... non devono MAI manipolare personalmente sorgenti radioattive, specialmente in assenza del responsabile del laboratorio
- ... devono esporre sempre qualsiasi dubbio o domanda relativi alle operazioni con sorgenti radioattive
- ... devono sempre fare riferimento al responsabile del laboratorio o al responsabile del gruppo di ricerca per una corretta informazione sui rischi specifici e sulle procedure di protezione da adottare.

# Decreto Legislativo 17 marzo 1995 n.230

## Obblighi dei lavoratori /1

### art. 68

1. I lavoratori devono:

- a) 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;
- b) usare secondo le specifiche istruzioni i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica predisposti o forniti dal datore di lavoro;
- c) 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 eventuali condizioni di pericolo di cui vengono a conoscenza;



# Decreto Legislativo 17 marzo 1995 n.230

## Obblighi dei lavoratori /2

### art. 68

d) non rimuovere né modificare, senza averne ottenuto l'autorizzazione, i dispositivi, e gli altri mezzi di sicurezza, di segnalazione, di protezione e di misurazione;

e) non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di loro competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza;

f) sottoporsi alla sorveglianza medica ai sensi del presente decreto.



# Decreto Legislativo 17 marzo 1995 n.230

## Obblighi dei lavoratori /3

### art. 68

2. I lavoratori che svolgono, per più datori di lavoro, attività che li espongano al rischio di radiazioni ionizzanti, devono rendere edotto ciascun datore di lavoro delle attività svolte presso gli altri, al fini di quanto previsto al precedente articolo 66. Analoga dichiarazione deve essere resa per eventuali attività pregresse. I lavoratori esterni sono tenuti ad esibire il libretto personale di radioprotezione all'esercente le zone controllate prima di effettuare le prestazioni per le quali sono stati chiamati.